

Análise da Redistribuição de Calor com Agentes Inalatórios, em Ratos Submetidos a Laparotomia e Pneumoperitônio, através da Termografia Infravermelha *

Analysis of Heat Loss Using Inhalation Agents in Rats Subjected to Laparotomy and Increased Intra-Abdominal Pressure, using Digital Infrared Thermal Image

Daniel Colman¹, Maria Célia Barbosa Fabrício de Melo, TSA², Marcos Leal Brioschi³, Fábio Silveira⁴, Mário Cimbalista Júnior⁵

RESUMO

Colman D, Melo MCBF, Brioschi ML, Silveira F, Cimbalista Jr M - Análise da Redistribuição de Calor com Agentes Inalatórios, em Ratos Submetidos a Laparotomia e Pneumoperitônio, através da Termografia Infravermelha

Justificativa e Objetivos - A Anestesiologia envolve o manuseio de situações inerentes ao ato anestésico e operatório que cursam com o desequilíbrio da homeostase térmica do paciente, ocasionando efeitos fisiológicos deletérios. O presente estudo objetiva qualificar e quantificar os fenômenos de redistribuição térmica em ratos submetidos à anestesia inalatória, durante a indução, e em situações cirúrgicas de laparotomia e pneumoperitônio.

Método - Foram utilizados 90 ratos, que foram submetidos à anestesia inalatória, distribuídos em três grupos, em que foram utilizados: halotano, isoflurano e sevoflurano. Em cada grupo houve divisão em outros três sub-grupos: I - controle, II - laparotomia mediana com exposição de alças intestinais; III - pneumoperitônio de 15 mmHg. A análise termodinâmica realizou-se de duas formas: através da temperatura central esofágica e da imagem digital térmica infravermelha.

Resultados - Não houve diferença significativa em relação aos anestésicos inalatórios entre os grupos I e II em relação a perda de calor. Em relação ao grupo III, houve diferença entre o

isoflurano e o sevoflurano, sendo o isoflurano o anestésico responsável pela maior perda de temperatura no animal.

Conclusões - O sevoflurano foi o agente anestésico inalatório que determinou menor perda de calor frente ao pneumoperitônio, em relação ao isoflurano e halotano.

UNITERMOS - ANESTÉSICOS, Volátil: halotano, isoflurano, sevoflurano; ANIMAL: rato; HIPOTERMIA; TÉCNICAS DE MEDIÇÃO: termografia infravermelha

SUMMARY

Colman D, Melo MCBF, Brioschi ML, Silveira F, Cimbalista Jr M - Analysis of Heat Loss Using Inhalation Agents in Rats Subjected to Laparotomy and Increased Intra-Abdominal Pressure, using Digital Infrared Thermal Image

Background and Objectives - Anesthesiology involves the handling of situations inherent to anesthetic and surgical procedures which lead to patients thermal homeostasis unbalance, with noxious physiological effects. This study aimed at qualifying and quantifying thermal redistribution in rats subjected to inhalation anesthesia, during induction and in surgical situations of laparotomy and increased intra-abdominal pressure.

Methods - The study involved 90 rats, submitted to inhalation anesthesia, which were distributed in three groups: halothane; isoflurane; sevoflurane. Each group was divided in subgroups: I - control; II - median laparotomy with bowel exposure; III - 15 mmHg Increase in intra-abdominal pressure. Heat loss was measured by an esophageal probe and infrared thermal image.

Results - There were no significant differences among inhalation anesthetics regarding heat loss between groups I and II. In group III, there was a difference between isoflurane and sevoflurane and isoflurane was responsible for the highest heat loss.

Conclusions - Sevoflurane was the inhalation agent determining the lowest heat loss in the presence of increased intra-abdominal pressure, as compared to isoflurane and halothane.

KEY WORDS - ANESTHETICS, Volatile: halothane, isoflurane, sevoflurane; ANIMAL: rat; HYPOTHERMIA; MEASUREMENT TECHNIQUES: digital infrared thermal image

* Recebido do (Received from) Grupo de Pesquisa em Biotermodinâmica (CNPq). Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Laboratório de Lesões Medulares e Trauma Experimental de Curitiba, PR
Trabalho vencedor do Prêmio Carlos Parsloe- Abbot/SBA - 2001

1. ME do CET da Santa Casa de Misericórdia de Curitiba, PR
2. Doutora em Clínica Cirúrgica pela Universidade Federal do Paraná. Co-responsável pelo CET/SBA da Santa Casa de Misericórdia de Curitiba; Professora auxiliar da Disciplina de Anestesiologia da Pontifícia Universidade Católica do Paraná
3. Mestre em Princípios da Cirurgia - Faculdade Evangélica de Medicina do Paraná; Professor auxiliar da Disciplina de Anatomia Médica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná e Universidade Federal do Paraná; Presidente da Sociedade Internacional de Termografia (UKTA/ITA)
4. Doutorando em Medicina na Pontifícia Universidade Católica do Paraná
5. Engenheiro Eletricista, Diretor Técnico Thermotronics ST Ltda - PR. Membro do IEEE - Engineering in Medicine an Biology Society

Apresentado (Submitted) em 15 de agosto de 2001
Aceito (Accepted) para publicação em 30 de outubro de 2001

Correspondência para (Mail to):
Dr. Fábio Silveira
Al. Prudente de Moraes, 36/11
80340-220 Curitiba, PR

© Sociedade Brasileira de Anestesiologia, 2002

INTRODUÇÃO

O ambiente cirúrgico, as técnicas anestésicas e operatórias podem, isoladamente ou em combinação, provocar profundas alterações na temperatura do paciente¹. O anesthesiologista deve se inteirar dos processos de produção de calor e da manutenção da homeostase térmica, pois essa entidade, uma vez em desequilíbrio, acarreta graves alterações fisiológicas no paciente².

A temperatura corporal é normalmente mantida dentro de um estreito limite, em um organismo homeotérmico não anestesiado³. Para que o metabolismo mantenha-se em taxa basal constante, o organismo dispõe de mecanismos de compensação para sustentar um gradiente térmico entre o meio interno e o meio ambiente: o tônus vasomotor, o tremor termogênico, o tremor não termogênico nos recém-nascidos e lactentes⁴, sudorese e a resposta comportamental, por exemplo, uso de agasalhos. É importante ressaltar que durante a indução anestésica ocorrem alterações em tais mecanismos, conhecidos como o fenômeno da redistribuição térmica, havendo fluxo de calor central para a periferia, o que pode levar à perda de calor corpóreo⁴.

A hipotermia acidental está relacionada diretamente com coagulopatia e acidose metabólica⁵. O tremor termogênico aumenta as taxas de consumo de oxigênio do organismo, podendo levar à sobrecarga do aparelho cardiorrespiratório⁵. Ocorre aumento dos níveis de catecolaminas, que causam vasoconstrição, podendo induzir sobrecarga cardíaca por aumento de pós-carga. A vasoconstrição impede a chegada de nutrientes para os fibroblastos e também prejudica a ação dos macrófagos⁶. Como consequência, ocorrem maior dificuldade de cicatrização e maior predisposição para infecção da ferida pós-operatória. Tais fatores relacionam-se diretamente com a maior morbidade e mortalidade no pós-operatório.

Os anestésicos inalatórios podem interferir na homeostase térmica, uma vez que os efeitos destes agentes podem depender de diversos fatores: depressão miocárdica direta, inibição do tônus autonômico, bloqueio dos receptores beta-adrenérgicos, inibição adrenal (liberação de catecolaminas), sensibilização dos barorreceptores, diminuição do limiar de resposta ao frio.

O presente estudo tem por objetivo qualificar e quantificar os fenômenos de redistribuição térmica em ratos submetidos à anestesia inalatória com sevoflurano, halotano e isoflurano durante a indução, e em situações cirúrgicas de laparotomia e pneumoperitônio.

MÉTODOS

O protocolo experimental utilizado neste estudo foi aprovado pelo Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (CCBS-PUCPR) e conduzido segundo os princípios éticos do Colégio Brasileiro de Experimentação Animal.

Foram utilizados 90 ratos machos da linhagem Wistar (*Rattus norvegicus albinus*, *Rodentia mammalia*), com idades entre 120 e 153 dias (média de 135,9 dias). No pré-operatório forneceram-se ração padronizada e água *ad libitum*, até 12 horas antes da anestesia.

O experimento foi realizado no Laboratório de Lesão Medular e Trauma Experimental da PUC/PR. Admitiu-se mínima variação térmica, com temperatura ambiental mantida em 20 °C e umidade relativa do ar em 75%. As mesmas foram verificadas com termo-higrômetro de bulbo seco e úmido (Incoterm, Br). As perdas de calor por convecção foram minimiza-

das, mantendo-se portas e janelas fechadas e mínima movimentação ao redor dos animais. O fluxo de ar foi controlado com um anemômetro digital de pás rotativas, modelo HHF 300A (Omega Engineering, Inc), a uma distância de 10 cm do animal, mantendo-se a velocidade do fluxo de ar menor que 0,2 m.s⁻¹. Este é o valor de transição entre a perda de calor por convecção livre e forçada⁷.

A anestesia foi induzida e mantida com agente inalatório a ser pesquisado, administrado através de um cone facial com oxigênio a 100% e uso de vaporizador universal com fluxo de admissão de gases 1 L.min⁻¹.

Os animais foram mantidos em plano anestésico nível III⁸. A monitorização realizada foi a observação da presença de reflexos, a frequência respiratória e a coloração das mucosas⁹.

Os animais foram induzidos de acordo com agente inalatório a ser usado: A - Halotano; B - Isoflurano; C - Sevoflurano, conforme a tabela I.

Tabela I - Delineamento Experimental da Pesquisa

A - Halotano	Grupo IA (n=10): controle
	Grupo IIA (n=10): laparotomia
	Grupo IIIA (n=10): pneumoperitônio
B - Isoflurano	Grupo IB (n=10): controle
	Grupo IIB (n=10): laparotomia
	Grupo IIIB (n=10): pneumoperitônio
C - Sevoflurano	Grupo IC (n=10): controle
	Grupo IIC (n=10): laparotomia
	Grupo IIIC (n=10): pneumoperitônio

Após a indução anestésica, iniciou-se o estudo do comportamento térmico durante 10 minutos. A seguir, os animais foram divididos em três grupos, conforme tabela I.

- Grupo I - *Controle* (n=30): os animais foram mantidos em plano anestésico nível III durante mais 20 minutos;
- Grupo II - *Laparotomia exploradora* (n=30): realizada laparotomia xifopúbica com exposição máxima das alças intestinais, seguida do estudo do comportamento térmico por mais 20 minutos;
- Grupo III - *Pneumoperitônio* (n=30): A indução do pneumoperitônio foi realizada através do método de Eleftheriadis¹⁰ após os 10 minutos iniciais. Para a realização do pneumoperitônio, com pressão intra-abdominal de 15 mmHg, punccionou-se a cavidade peritoneal com cateter de teflon 18G conectado a um sistema de anerômetro (Welch Allyn, Tycos®, Arden, North Carolina, USA) previamente calibrado. Após a indução do pneumoperitônio seguiu-se o estudo do comportamento térmico por mais 20 minutos.

Realizou-se a medida da temperatura central com um termistor colocado no terço inferior do esôfago, a 5 cm do dente incisivo do animal, através de um termistor (sensores semicondutores) de alta precisão do tipo YSI44004, Bead I (Re-

sistência de 2,250 Ohms a 25 °C), com erro intrínseco de 0,05 °C e faixa de trabalho de -80 °C a 120 °C (Precision Thermistor, interchangeability ± 0,2 °C, USA). Os animais foram pesados com uma balança eletrônica (Marte AS500, Br) com precisão de 0,01 g. O fluxo total de calor, Q, foi mensurado, considerando-se a massa e o calor específico do rato (3,8 kJ/kg °C) dividida pelo intervalo total de tempo do experimento ¹¹:

$$Q = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{\Delta t}$$

em que:

Q- fluxo total de calor [W];

m - massa do animal [kg];

c - calor específico do animal [J/(kg °C)];

ΔT - diferença entre as temperaturas inicial e final [°C];

Δt - intervalo de tempo de cada experimento [s].

A obtenção da imagem digital térmica infravermelha foi realizada pelo uso de um termovisor Agema[®] 550 (Flir Co, USA), com resolução de 320 X 240 pixels, possibilitando o mapeamento digital térmico infravermelho da superfície exposta do animal.

O espectro da radiação infravermelha é de 8-12 μm, sendo emitida naturalmente da superfície corporal. Tal radiação é convertida em sinal elétrico por um detector de nitrogênio líquido, de faixa espectral de 2,5 a 5,5 μm. As imagens são exibidas em cores em um monitor de vídeo e os termogramas assim obtidos foram processados por um programa de computador específico (Flir Research 2000, Boston, USA).

Para comparação estatística foram utilizadas a análise univariada ANOVA ¹² e o teste paramétrico de Tukey ¹³.

Em todos os testes fixou-se 0,05 ou 5% (p < 0,05) como nível de rejeição da hipótese nula e assinalou-se com asterisco os valores significativos ¹⁴.

RESULTADOS

Os grupos mostraram-se homogêneos em relação ao peso (Tabela II).

Tabela II - Delineamento Experimental da Pesquisa (Média ± DP)

Grupo	Peso (g)
Grupo A (halotano)	243,10 ± 32,64
Grupo B (isoflurano)	254,41 ± 17,79
Grupo C (sevoflurano)	250,25 ± 22,53

Durante os 10 minutos iniciais (indução anestésica), não houve diferença significativa do perfil térmico (temperatura inicial ; temperatura final) e perda de calor (Watts) entre os três agentes halogenados (Tabela III).

Tabela III - Variação de Temperatura e Perda de Calor Durante a Indução Anestésica (Média ± DP)

	Grupo A	Grupo B	Grupo C
T ₁ (°C)	37,46 ± 0,57	37,15 ± 0,38	37,04 ± 0,49
T ₂ (°C)	35,93 ± 0,58	35,81 ± 0,32	35,83 ± 0,37
Potência (watts)	2,35 ± 0,58	2,15 ± 0,32	1,91 ± 0,37

ANOVA: T₁ = temperatura inicial (°C), T₂ = temperatura final (°C). Onde T₁ corresponde ao tempo zero e T₂ ao tempo de 10 minutos

O grupo controle não demonstrou diferença estatística em relação ao perfil térmico entre os três grupos de halogenados (Tabela IV).

Tabela IV - Variação de Temperatura Central e Perda de Calor no Grupo Controle (Média ± DP)

	Grupo I - Controle			
	IA	IB	IC	p
T ₁ (°C)	34,68 ± 0,80	35,81 ± 0,61	35,10 ± 0,90	0,083
T ₂ (°C)	32,93 ± 0,70	33,64 ± 0,88	33,20 ± 0,80	0,252
Perda de calor (watts)	1,39 ± 0,41	1,68 ± 0,10	1,50 ± 0,35	0,252

ANOVA. T₁ = temperatura inicial (°C), T₂ = temperatura final (°C). Onde T₁ corresponde ao tempo de 10 min e T₂ ao tempo de 30 minutos; p = significância estatística

Análise da temperatura central no grupo II, submetidos a laparotomia e exposição máxima de alças intestinais, não demonstrou diferença significativa entre o perfil térmico dos três grupos de halogenados (Tabela V).

Tabela V - Variação de Temperatura Central e Perda de Calor no Grupo II (Média ± DP)

	IIA	IIB	IIC
T ₁ (°C)	35,10 ± 0,72	35,61 ± 0,72	35,38 ± 0,21
T ₂ (°C)	31,94 ± 0,89	32,39 ± 0,70	32,19 ± 0,35
Potência (watts)	2,35 ± 0,34	2,54 ± 0,31	2,64 ± 0,25

ANOVA - T₁ = temperatura inicial (°C), T₂ = temperatura final (°C). Onde T₁ corresponde ao tempo de 10 min e T₂ ao tempo de 30 minutos

No grupo III, com pneumoperitônio de 15 mmHg, observou-se um comportamento térmico semelhante entre o grupo A (halotano) e o grupo B (isoflurano). O grupo C (sevoflurano) apresentou uma perda de energia térmica significativamente menor (Tabela VI).

Tabela VI - Variação de Temperatura Central e Perda de Calor no Grupo III (Média ± DP)

	IIIA	IIIB	IIIC
T ₁ (°C)	35,57 ± 0,55	35,32 ± 0,38	35,64 ± 0,50
T ₂ (°C)	33,68 ± 0,40	33,07 ± 0,35	33,80 ± 0,39
Potência (watts)	1,48 ± 0,24	1,85 ± 0,18 *	1,38 ± 0,24 *

ANOVA - T₁ = temperatura inicial (°C), T₂ = temperatura final (°C). Onde T₁ corresponde ao tempo de 10 min e T₂ ao tempo de 30 minutos

Analisando-se as imagens termográficas, representativas da temperatura externa do animal, obtiveram-se dados que corroboram os dados obtidos na temperatura central.

No grupo I (controle), observou-se uma perda homogênea da temperatura cutânea durante todo o tempo do experimento, em todos os grupos de halogenados, conforme elucidado na figura 1.

No grupo II, na imagem termográfica observou-se a perda de temperatura central na área de exposição peritoneal (área demarcada), conforme observado na figura 2.

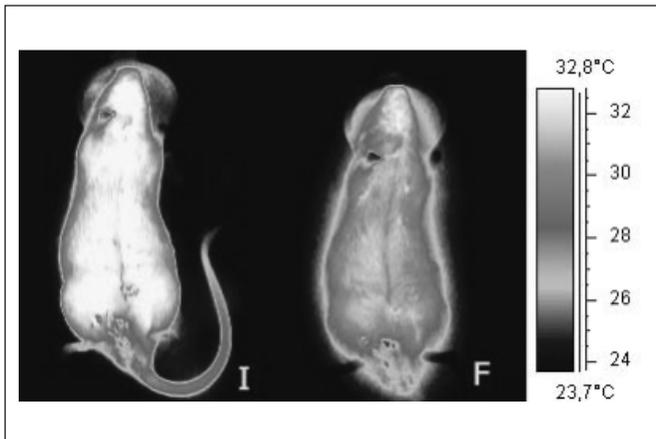


Figura 1 - Termograma do Grupo Controle
I = Início do experimento (tempo zero); F= Término do experimento (30 minutos). Observe a perda homogênea de temperatura da superfície

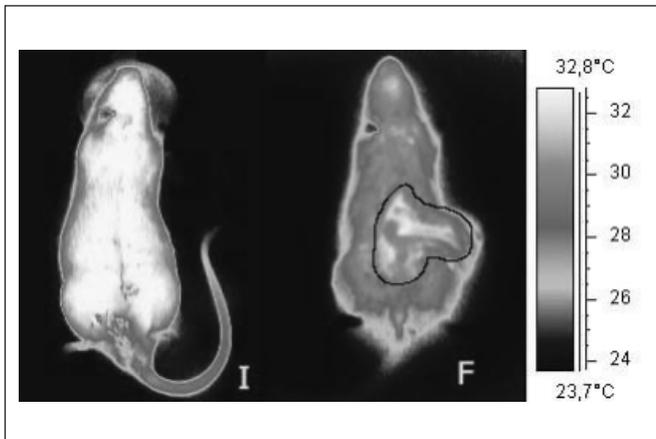


Figura 2 - Termograma do Grupo Laparotomia (II)
I = Início do experimento (tempo zero); F= Término do experimento (30 minutos). A área demarcada representa a área de superfície peritoneal exposta

A área demarcada indica uma área de temperatura maior (correspondente à graduação de temperatura à direita), pois representa a exposição ao ambiente da temperatura interna do animal.

A análise do termograma correspondente ao Grupo III (pneumoperitônio) evidencia uma área de perda de calor mais acentuada da região torácica em direção caudal (Figura 3).

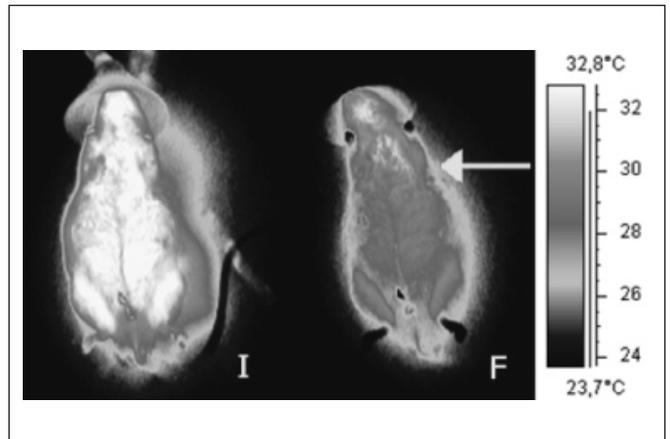


Figura 3 - Termograma do Grupo Pneumoperitônio (III)
I = Início do pneumoperitônio (10min); F= Término do experimento (30 minutos). A seta indica a separação das áreas de maior (direção caudal) e menor (direção cefálica) perda de energia térmica

DISCUSSÃO

A perda de energia térmica é determinada por leis físicas (evaporação, condução, radiação, convecção) e não por diferenças entre espécies¹⁵. Dessa forma, pode-se supor que a perda de temperatura de um paciente cirúrgico se daria de forma semelhante, tanto em magnitude como em distribuição, àquela observada nos ratos. Porém é necessário corrigir os achados com o peso, o metabolismo basal e a pelagem do animal.

Foi comprovado que durante a laparotomia não houve diferença entre os três halogenados estudados, pois o fenômeno de perda de energia térmica ocorre principalmente devido à exposição da superfície úmida peritoneal ao ar ambiente^{16,17}. A água tem como característica uma alta entalpia de vaporização (ou calor latente de vaporização). Cada grama de água evaporada corresponde a uma perda de energia de cerca de 2400J ou 576 calorias, quando o processo ocorre a uma temperatura próxima a do corpo dos animais homeotérmicos (36,5 °C). Tal fato foi demonstrado através do mapeamento de imagem térmica infravermelha da área de exposição peritoneal.

Em relação ao pneumoperitônio, houve diferença entre o grupo anestesiado com isoflurano e sevoflurano, sendo que o sevoflurano foi o que menos perdeu temperatura.

Do ponto de vista modelamento, realizado pelos próprios autores¹⁸, a cavidade abdominal, durante o processo de hipertensão, pode ser considerada como uma esfera que será insuflada por um fluido, representado por 3 compartimentos, conforme figura 4.

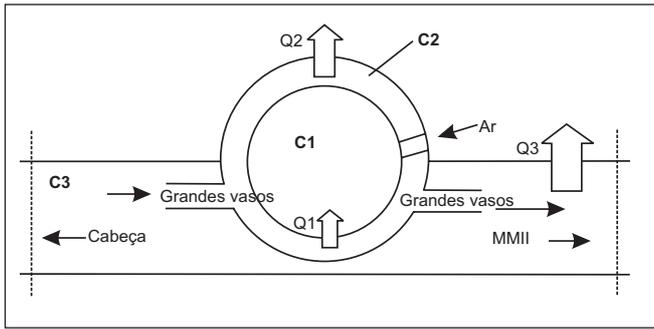


Figura 4 - Esquema da Cavidade Abdominal Humana ou de Animal, Dividida em Três Compartimentos
C1 = compartimento 1; C2 = compartimento 2; C3 = compartimento 3. Q1 = Troca de calor intra-cavitária (interações peritônio-ar) Q2 = Troca de calor nos tecidos adjacentes em expansão (criação de um gradiente de pressão, compressão de grandes vasos) Q3 = Troca de calor com o restante do corpo (estase venosa - vasodilatação membros inferiores)

O aumento da pressão intra-abdominal (PIA) pode ser responsável por diminuição do fluxo arterial pela compressão de estruturas vasculares que, juntamente com a vasoconstrição desencadeada pelas catecolaminas em resposta metabólica ao trauma, resfriam os membros inferiores¹⁹. Isto resulta de um menor aporte de sangue aquecido das regiões centrais do corpo para os membros, além de alterações hemodinâmicas nos músculos, que são também responsáveis pela termogênese. A compressão venosa, principalmente de veia cava inferior, leva a uma estase venosa e vasodilatação e conseqüente perda de calor em membros inferiores. Tal modelamento foi comprovado pela imagem termográfica, em que se observa perda de calor mais intensa da região abdominal em sentido caudal após a instalação do pneumoperitônio. Uma vez que o isoflurano é considerado o mais potente agente vasodilatador, promovendo hipotensão arterial por intensa diminuição da resistência vascular periférica e aumento do território de capacitância, com conseqüente diminuição do retorno venoso^{20,21}, justifica-se ter perdido mais temperatura.

Conclui-se que o sevoflurano foi o agente inalatório que menos perdeu calor frente ao pneumoperitônio.

Estudos estão sendo concluídos pelos autores que permitirão, através de modelamento termodinâmico, simular a resposta térmica humana ou animal em procedimentos de pneumoperitônio, analisando diversas variáveis físicas e operatórias envolvidas na cirurgia laparoscópica, como: pressão intra-abdominal, raio de distensão máxima abdominal, temperatura do fluido injetado e do ar ambiente, superfície exposta do animal e coeficiente de troca de calor.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a dedicação do médico veterinário Indalécio Sutil do Biotério Central da Pontifícia Universidade Católica do Paraná e a Dra. Elizabeth M. Tambara, TSA, que gentilmente auxiliou na revisão do texto final.

Analysis of Heat Loss Using Inhalation Agents in Rats Subjected to Laparotomy and Increased Intra-Abdominal Pressure, using Digital Infrared Thermal Image

Daniel Colman, M.D., Maria Célia Barbosa Fabrício de Melo, TSA, M.D., Marcos Leal Brioschi M.D., Fábio Silveira M.D., Mário Cimbalista Júnior M.D.

INTRODUCTION

Surgical environment, anesthetic and surgical techniques may, isolated or in combination, determine severe changes in patients temperature¹. Anesthesiologists must understand heat production and thermal homeostasis maintenance processes because, when unbalanced, homeostasis may determine severe physiological changes².

Body temperature is in general maintained within a narrow limit in a non-anesthetized body³. For the metabolism to remain in a constant baseline rate, body has compensation mechanisms to support the thermal gradient between internal and external environment: vasomotor tone, thermogenic shivering, non-thermogenic shivering in neonates and infants⁴, sweating and behavioral response, such as wearing warm clothing. It is important to highlight that during anesthetic induction there are changes in such mechanisms, known as heat loss, with central heat flowing to periphery eventually leading to body heat loss⁴.

Accidental hypothermia is directly related to coagulopathy and metabolic acidosis⁵. Thermogenic shivering increases oxygen consumption rates and may lead to cardiopulmonary overload⁵. Increased catecholamines induce vasoconstriction and may cause heart overload by afterload increase. Vasoconstriction prevents nutrients to reach fibroblasts and also impair macrophages action⁶. As a consequence, healing is delayed with a higher predisposition for postoperative wound infection. Such factors are directly related to higher postoperative morbidity and mortality.

Inhalation anesthetic may interfere in thermal homeostasis because their effects depend on several factors: direct myocardial depression, autonomic tone inhibition, beta-adrenergic receptors blockade, adrenal inhibition (catecholamine release), baroreceptors sensitization, decreased response to cold threshold.

This study aimed at qualifying and quantifying heat loss in rats submitted to inhalation anesthesia with sevoflurane, halothane and isoflurane, during induction and in surgical situations of laparotomy and increased intra-abdominal pressure.

METHODS

The experimental protocol used in this study was approved by the Biological and Health Sciences Center, Pontifícia Universidade Católica do Paraná (CCBS-PUCPR) and was performed in compliance with the ethical principles of the Brazilian College of Animal Experiments.

The study involved 90 male Wistar (*Rattus norvegicus albinos*, *Rodentia mammalia*) rats, aged between 120 and 153 days (mean 135.9 days). Animals received standardized feed and water *ad libitum* until 12 hours before anesthesia.

The experiment was performed in the Spinal Cord Injury and Experimental Trauma Laboratory, PUC/PR. A minimum thermal variation was admitted, with room temperature maintained in 20 °C and relative air humidity in 75%. Measurements were checked with a dry and wet bulb thermo-hygrometer (Incotherm, Br). Convective heat losses were minimized, keeping door and windows closed and minimum movement around animals. Air flow was controlled with a digital anemometer with rotating blades model HHF 300 A (Omega Engineering, Inc) placed 10 cm apart from the animal and with an air flow speed lower than 0.2 m.s⁻¹. This is the transition value between free and forced convective heat loss⁷.

Anesthesia was induced and maintained with the volatile agent to be analyzed, administered through facial cone and 100% oxygen using a universal vaporizer with 1 L.min⁻¹ gases admission flow.

Anesthesia was maintained at level III⁸. Monitoring consisted of observing the presence of reflexes, respiratory rate and mucosal color⁹.

Animals were induced according to the volatile anesthetics to be investigated: A - Halothane; B - Isoflurane; C - Sevoflurane, as shown in table I.

Table I - Research Experimental Outline

A - Halothane	Group IA (n=10): control
	Group IIA (n=10): laparotomy
	Group IIIA (n=10): increased intra-abdominal pressure
B - Isoflurane	Group IB (n=10): control
	Group IIB (n=10): laparotomy
	Group IIIB (n=10): increased intra-abdominal pressure
C - Sevoflurane	Group IC (n=10): control
	Group IIC (n=10): laparotomy
	Group IIIC (n=10): increased intra-abdominal pressure

Thermal behavior was studied for 10 minutes after anesthetic induction. Then, animals were divided in three sub-groups, as shown in table I.

- Group I - Control (n=30): animals were maintained in anesthetic depth level III for additional 20 minutes;
- Group II - Exploratory laparotomy (n=30): xyphopubic laparotomy with maximum bowel exposure, followed by thermal behavior observation for additional 20 minutes;
- Group III - Increased intra-abdominal pressure (n=30). Increased intra-abdominal pressure was induced by the Eleftheriadis' method¹⁰ after 10 initial minutes. To increase intra-abdominal pressure to 15 mmHg, peritoneal cavity was punctured with an 18G teflon catheter con-

nected to a previously gaged anerometer system (Welch Allyn, Tycos®, Arden, North Caroline, USA). After intra-abdominal pressure increase induction, thermal behavior was studied for additional 20 minutes.

Central temperature was measured with a high precision YSI44004, Bead I (2.250 Ohms resistance at 25 °C) thermistor (semiconductor sensors) with an intrinsic error of 0.05 °C and working range of -80 °C to 120 °C (Precision Thermistor, interchangeability ± 0.2 °C, USA), which was placed in the lower third of the esophagus at 5 cm of the incisive tooth.

Animals were weighed with an electronic scale (Marte AS500, Br) with 0.01 g precision.

Total heat flow, Q, was measured considering rats specific mass and heat (3.8 kJ/kg °C) divided by total experiment time¹¹:

$$Q = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{\Delta t}$$

Where:

Q - total heat flow [W];

m - animal's mass (kg);

c - specific animal's heat [J/(kg °C)];

ΔT - difference between initial and final temperature [°C];

Δt - time interval for each experiment [s].

Infrared digital thermal image was obtained with an Agema® 550 (Flir Co, USA) with a resolution of 320 x 240 pixels, allowing for the digital thermal infrared mapping of the exposed surface of the animal.

Infrared radiation spectrum is 8-12 μm and is naturally emitted from body surface. Such radiation is translated into an electrical signal by a liquid nitrogen detector with a spectrum range of 2.5 to 5.5 μm. Images are displayed in colors on a video monitor and thermograms thus obtained are processed by a specific computer program (Flir Research 2000 Boston, USA).

Univariate analysis ANOVA¹² and Tukey's parametric test¹³ were used for statistical analysis.

Null hypothesis rejection level was established as 0.05 or 5% (p < 0.05) for all tests and significant values are highlighted with a star (*)¹⁴.

RESULTS

Groups were homogeneous regarding weight (Table II).

Table II - Research Experimental Outline (Mean ± SD)

Group	Weight (g)
Group A (halothane)	243.10 ± 32.64
Group B (isoflurane)	254.41 ± 17.79
Group C (sevoflurane)	250.25 ± 22.53

ANALYSIS OF HEAT LOSS USING INHALATION AGENTS IN RATS SUBJECTED TO LAPAROTOMY AND INCREASED INTRA-ABDOMINAL PRESSURE, USING DIGITAL INFRARED THERMAL IMAGE

There have been no significant differences in thermal profile (initial temperature; final temperature) and heat loss (Watts) among the three halogenate agents during the first 10 minutes (anesthetic induction) (Table III).

Table III - Temperature Changes and Heat Loss During Anesthetic Induction (Mean ± SD)

	Group A	Group B	Group C
T ₁ (°C)	37.46 ± 0.57	37.15 ± 0.38	37.04 ± 0.49
T ₂ (°C)	35.93 ± 0.58	35.81 ± 0.32	35.83 ± 0.37
Potency (watts)	2.35 ± 0.58	2.15 ± 0.32	1.91 ± 0.37

ANOVA: T₁ = initial temperature (°C), T₂ = final temperature (°C). Where T₁ corresponds to time zero and T₂ to 10 minutes

Control group did not show statistical difference in thermal profile as compared to other groups (Table IV)

Table IV - Central Temperature Changes and Heat Loss in the Control Group (Mean ± SD)

	Group I - Control			p
	IA	IB	IC	
T ₁ (°C)	34.68 ± 0.80	35.81 ± 0.61	35.10 ± 0.90	0.083
T ₂ (°C)	32.93 ± 0.70	33.64 ± 0.88	33.20 ± 0.80	0.252
Heat loss (watts)	1.39 ± 0.41	1.68 ± 0.10	1.50 ± 0.35	0.252

ANOVA. T₁ = initial temperature (°C), T₂ = final temperature (°C). Where T₁ corresponds to 10 min and T₂ to 30 minutes; p = statistical significance

Central temperature analysis in group II, submitted to laparotomy and maximum bowel exposure, has not shown significant differences among the three halogenate groups (Table V).

Table V - Central Temperature Changes and Heat Loss in Group II (Mean ± SD)

	IIA	IIB	IIC
T ₁ (°C)	35.10 ± 0.72	35.61 ± 0.72	35.38 ± 0.21
T ₂ (°C)	31.94 ± 0.89	32.39 ± 0.70	32.19 ± 0.35
Potency (watts)	2.35 ± 0.34	2.54 ± 0.31	2.64 ± 0.25

ANOVA - T₁ = initial temperature (°C), T₂ = final temperature (°C). Where T₁ corresponds to 10 min and T₂ to 30 minutes

In group III, with 15 mmHg increase in intra-abdominal pressure, there has been a similar behavior between group A (halothane) and group B (isoflurane). Group C (sevoflurane) had a significantly lower heat loss (Table IV).

Table VI - Central Temperature Variation and Heat Loss in Group III (Mean ± SD)

	IIIA	IIIB	IIIC
T ₁ (°C)	35.57 ± 0.55	35.32 ± 0.38	35.64 ± 0.50
T ₂ (°C)	33.68 ± 0.40	33.07 ± 0.35	33.80 ± 0.39
Potency (watts)	1.48 ± 0.24	1.85 ± 0.18 *	1.38 ± 0.24 *

ANOVA - T₁ = initial temperature (°C), T₂ = final temperature (°C). Where T₁ corresponds to 10 min and T₂ to 30 minutes

Thermographic images representing animals external temperature have confirmed data obtained with central temperature.

In group I (control), thermographic images have shown homogeneous skin heat loss during the whole experiment in all halogenate groups, as shown in figure 1.

In group II, thermographic images have shown loss of central temperature in the peritoneal exposure area (marked area), as shown in figure 2.



Figure 1 - Control Group Thermogram
I = Beginning of experiment (time zero); F= End of experiment (30 minutes). Note the homogeneous surface temperature loss



Figure 2 - Laparotomy Group (II) Thermogram
I = Beginning of experiment (time zero); F= End of experiment (30 minutes). The marked area represent exposed peritoneal surface

The marked area indicates a region with higher temperature (corresponding to temperature graduation to the right), because it represents the exposure to environment of the animal's internal temperature.

Group III thermogram (increased intra-abdominal pressure), shows a more predominant heat loss in the thoracic region, caudally (Figure 3).

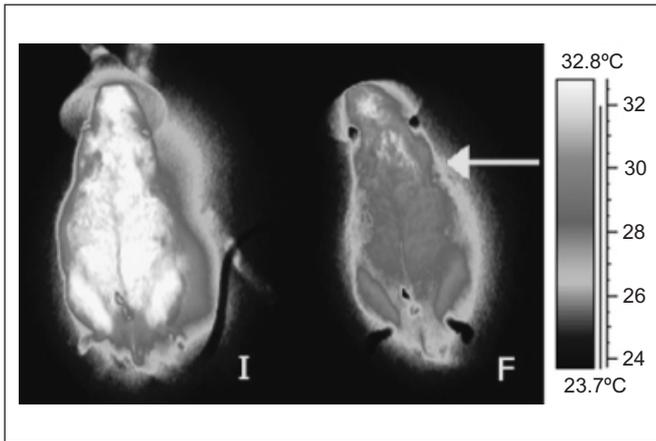


Figure 3 - Increased Intra-Abdominal Pressure Group (III) Thermogram
I = Beginning of IAP (10 min); F= End of experiment (30 minutes). The arrow indicates the separation of areas with more (caudal) or less (cephalad) heat loss

DISCUSSION

Heat loss is determined by physics (evaporation, conduction, radiation, convection) and not by differences among species¹⁵. So, one may assume that heat loss in surgical patients would be similar to that observed in rats, both in magnitude and distribution. However, it is necessary to correct findings with animal's weight, basal metabolism and fur.

It has been shown that there have been no differences among the three halogenate agents during laparotomy because heat loss is predominantly caused by the exposure of wet peritoneal surface to room air^{16,17}. Water has a high vaporization enthalpy (or latent vaporization heat). Each gram of evaporated water corresponds to an energy loss of approximately 2400 J or 576 calories, when the process occurs at a temperature close to the temperature of homothermal animals body (36.5 °C). This has been shown through the infrared thermal image mapping of the peritoneal exposure area. There have been differences in increased intra-abdominal pressure between the isoflurane group and the sevoflurane group, which had the lowest heat loss.

According to the modeling performed by the authors¹⁸, abdominal cavity during the hypertension process may be considered a sphere which will be inflated by a fluid and which is represented by 3 compartments, as shown in figure 4.

Intra-abdominal pressure (IAP) increase may be responsible for a decrease in arterial flow caused by compression of vascular structures which, together with catecholamine-triggered vasoconstriction in metabolic response to trauma, cool lower limbs¹⁹. This results from less heated blood transportation from central body regions to the limbs, in addition to hemodynamic changes in muscles, which are also involved in thermogenesis. Venous compression, especially of inferior vena cava, leads to a venous stasis and vasodilation with a consequent lower limb heat loss.

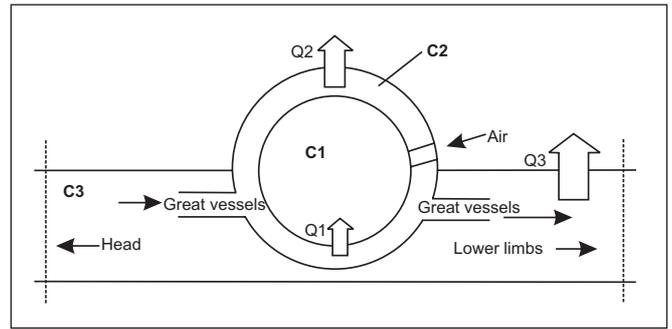


Figure 4 - Human or Animal Abdominal Cavity Schematics Divided in Three Compartments
C1 = compartment 1; C2 = compartment 2; C3 = compartment 3. Q1 = Intracavitary heat exchange (peritoneum-air interactions) Q2 = Heat exchange in expanding adjacent tissues (pressure gradient development, great vessels compression) Q3 = heat exchange with remaining body (venous stasis - lower limbs vasodilation)

This modeling was confirmed by the thermographic image where it can be seen a more severe heat loss from the abdominal region caudally after increasing intra-abdominal pressure. Since isoflurane is considered the most potent vasodilating agent, promoting hypotension by massive peripheral vascular resistance decrease and capacitance territory increase, with a consequent venous return decrease^{20,21}, more heat loss is justifiable.

The conclusion was that sevoflurane was the inhalation agent with less heat loss during increased intra-abdominal pressure.

The same authors are finishing other studies which will allow, via thermodynamic modeling, to simulate human or animal thermal response in increased intra-abdominal pressure procedures, analyzing different physical and surgical variables involved in laparoscopic surgeries, such as: intra-abdominal pressure, maximum abdominal distention radius, temperature of injected fluids and room air, animal's exposed surface and heat exchange coefficient.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge the dedication of the veterinarian Indalécio Sutil, from Biotério Central, Pontifícia Universidade Católica, Paraná and Elizabeth M. Tambara, TSA, M.D., who kindly helped in reviewing the final text.

REFERÊNCIAS - REFERENCES

- Steinemann S, Shackford SR, Davis JW - Implications of admission hypothermia in trauma patients. *J Trauma*, 1990;30: 200-202.
- Vanni SMD, Braz JRC - Hipotermia perioperatória: novos conceitos. *Rev Bras Anestesiol*, 1999;49:360-367.
- Little RA - Heat production after injury. *Br Med Bull*, 1985;41: 226-231.

04. Sessler D - Central thermoregulatory inhibition by general anesthesia. *Anesthesiology*, 1991;75:557-559.
05. Hirshberg A, Mattox KL - Cirurgia emergencial controlada: controle do dano cirúrgico. *Clin Cirur Am Norte*, 1997;4:773-776
06. Kim PK, Deutschman CS - Inflammatory responses and mediators. *Surg Clin North Am*, 2000;80:885-894.
07. Gagge AP, Nishi Y - Heat Exchange between Human Skin Surface and Thermal Environment, em: Lee D - Handbook of Physiology. Reactions to Environmental Agents. American Physiological Society, 1977;69-92.
08. Hecker BR, Lake CL, Difazio CA - The decrease of the minimum alveolar of the alveolar anesthetic concentration produced by sufentanil in rats. *Anesth Analg*, 1983;62:987-990.
09. Dripps RD - Evaluation of the Response to Anesthetics: the Signs and Stages, em: Introduction to Anaesthesia. The Principle of Safe Practice. 5th Ed, WB Saunders Company, 1977:233.
10. Eleftheriadis E, Kotzampassi K, Papanotas K et al - Gut ischemia, oxidative stress, and bacterial translocation in elevated abdominal pressure in rats. *World J Surg*, 1996;20:11-16.
11. Bejan A - Advanced Engineering Thermodynamics, 2nd Ed, New York, John Wiley & Sons, 1997; Chapter 1.
12. Spjotvoll E, Stolone MR - An extension of the T-method of multiple comparison to include the cases with unequal sample sizes. *JASA*, 1973;68:976-978.
13. Brownlee KA - Statistical Theory and Methodology in Science and Engineering, 2nd Ed, New York: Krieger Publishing Company, 1960.
14. ASQC/AIAG - Measurement systems analysis reference manual. Troy, MI: AIAG, 1990.
15. English MJ, Papenberg R, Farias E et al - Heat loss in an animal experimental model. *J Trauma*, 1991;31:36-38.
16. Burch JM, Denton JR, Noble RD - Physiologic rationale for abbreviated laparotomy. *Surg Clin North Am*, 1997;77:779-782.
17. Roe CF - Effect of bowel exposure on body temperature during surgical operations. *Am J Surg*, 1971;122:13-15.
18. Brioschi ML, Colman D, Vargas JVC et al - Determinação da taxa de transferência de calor do compartimento central em ratos submetidos ao aumento da pressão intra-abdominal. *Arquivos de Medicina da Pontifícia Universidade Católica do Paraná*, 2000;2:71-76.
19. Nishi Y, Gagge AP - Effective temperature scale useful for hypo- and hyperbaric environments. *Aviat Space Environ Med*, 1977;48:97-107.
20. Pagel PS, Kampine JP, Schmeling WT et al - Comparison of the systemic and coronary hemodynamic actions of desflurane, isoflurane, halothane, and enflurane in the chronically instrumented dog. *Anesthesiology*, 1991;74:539-551
21. Souza ML - Anestesia em Pediatria, em: Yamashita AM, Takaoka F, Auler Jr JOC et al - Anestesiologia - Sociedade de Anestesiologia do Estado de São Paulo, 5^a Ed, São Paulo, Editora Atheneu, 2001;566-577,945-970.

RESUMEN

Colman D, Melo MCBF, Brioschi ML, Silveira F, Cimalista Jr M - Análisis de la Redistribución de Calor con Agentes Inhalatorios, en Ratones Sometidos a Laparotomía y Pneumoperitonio, a través de Termografía Infrarroja

Justificativa y Objetivos - La Anestesiología envuelve el manejo de situaciones inherentes al acto anestésico y operatorio que cursan con el desequilibrio de la homeóstasis térmica del paciente, ocasionando efectos fisiológicos deletéreos. El presente estudio objetiva calificar y cuantificar los fenómenos de redistribución térmica en ratones sometidos a anestesia inhalatoria, durante la inducción, y en situaciones quirúrgicas de laparotomía y pneumoperitonio.

Método - Fueron utilizados 90 ratones, sometidos a anestesia inhalatoria, distribuidos en tres grupos, en que fueron utilizados: halotano, isoflurano y sevoflurano. En cada grupo hubo división en otros tres sub-grupos: I - control, II - laparotomía mediana con exposición de alzas intestinales; III - pneumoperitonio de 15 mmHg. La análisis termodinámica se realizó de dos formas: a través de la temperatura central esofágica y de la imagen digital térmica infrarroja.

Resultados - No hubo diferencia significativa en relación a los anestésicos inhalatorios entre los grupos I y II en relación a la pérdida de calor. En relación al grupo III, hubo diferencia entre el isoflurano y el sevoflurano, siendo el isoflurano el anestésico responsable por la mayor pérdida de temperatura en el animal.

Conclusiones - El sevoflurano fue el agente anestésico inhalatorio que determinó menor pérdida de calor frente al pneumoperitonio, en relación al isoflurano y halotano.