

Distribuição da pressão durante a terapia de feridas por pressão negativa em um modelo experimental suíno de síndrome compartimental abdominal

Adrienn Csiszkó , Klaudia Balog , Zoltán Attila Godó , Gyula Juhász , Katalin Peto[†] , Ádám Deák , Mariann Berhész , Norbert Németh , Zsolt Bodnár ,* and Zsolt Szentkereszty

Resumo: ⁽¹⁾ Introdução: A terapia de feridas por pressão negativa (TFPN) é um tratamento de abdome aberto (OA) frequentemente aplicado. Existem apenas alguns dados experimentais que suportam este

método e descrevem as configurações ideais e distribuição de pressão na cavidade abdominal durante este procedimento. O objetivo do nosso estudo foi avaliar os valores pressóricos em diferentes pontos da cavidade abdominal durante a TFPN em modelo animal experimental de síndrome compartimental abdominal (SCA); ⁽²⁾ Métodos: Neste estudo (permissão nº 13/2014/UDCAW), 27 porcos Hungahib (15,4–20,2 kg) foram operados. A SCA foi gerada pela implantação de uma bolsa plástica no abdome por meio de minilaparotomia e preenchida com 2100–3300 mL de solução salina (37 °C) até uma pressão intra-abdominal (PIA) de 30 mmHg. Após 3 h, foi aplicado TFPN (Vivano Med® Abdominal Kit, Paul Hartmann AG, Alemanha) ou uma bolsa de Bogotá. O grupo TFPN foi dividido em grupos de sucção -50, -100 e -150 mmHg.

A distribuição de pressão para a cavidade abdominal foi monitorada em 6 pontos diferentes do abdome por meio de um sistema de monitoramento de pressão multicanal; ⁽³⁾ Resultados: Os níveis de pressão absoluta foram significativamente maiores acima do que abaixo da camada protetora. Os valores da pressão foram semelhantes na linha média e lateralmente. Entre os intestinos, os valores pressóricos variavam periodicamente entre 0 e -12 mmHg, o que pode ser causado por movimentos peristálticos; ⁽⁴⁾ Conclusões: O modelo suíno do presente estudo parece ser bem aplicável para investigar SCA e TFPN. Foi possível fornecer informações valiosas para os médicos. A pressão foi bem distribuída pela camada protetora para

as partes laterais do abdome e esse fenômeno não se alterou consideravelmente durante a terapia.

Palavras-chave: pressão intra-abdominal; síndrome do compartimento abdominal; sensor de pressão; terapia de ferida de ressurreição negativa ; abdômen aberto

1. Introdução

A hipertensão intra-abdominal (HAI) e a síndrome compartimental abdominal (SCA) são achados comuns em pacientes críticos. Embora as diretrizes diagnósticas e terapêuticas tenham sido descritas pela The Abdominal Compartment Society (WSACS), a controvérsia ainda envolve o tratamento. O tratamento da HIA/SCA é basicamente conservador e semi conservador (intervenção minimamente invasiva). A intervenção cirúrgica é necessária quando essas opções de tratamento falham. A abordagem cirúrgica básica é a terapia de abdome aberto (AO) ^[1,2]. Na compreensão dos eventos fisiopatológicos subjacentes, vários modelos animais experimentais têm sido usados. Modelos de pequenos animais são úteis para investigar alterações fisiopatológicas. Modelos animais de grande porte são particularmente vantajosos para avaliar técnicas cirúrgicas e seus efeitos. O modelo animal de grande porte mais comumente usado é o modelo suíno ^[3]. A terapia de feridas por pressão negativa (TFPN) é um método cada vez mais aplicado de terapia de abdome aberto em condições clínicas, embora existam dados experimentais limitados que apoiem sua eficácia e descrevam seus possíveis efeitos adversos ^[4-6]. Os autores usaram um modelo porcino para síndrome compartimental abdominal experimental e terapia de OA, enfatizando a TFPN e descrevendo suas configurações ideais. A síndrome do compartimento abdominal foi induzida em porcos e a distribuição da pressão dentro da cavidade abdominal foi medida durante a terapia de feridas por pressão negativa.

2. Materiais e métodos

Este estudo foi realizado no Departamento de Técnicas Operatórias e Pesquisa Cirúrgica, Faculdade de Medicina, Universidade de Debrecen, Hungria. Foi aprovado pelo comitê institucional local de pesquisa animal (permissão nº 13/2014/UDCAW).

Vinte e seis porcos Hungahib (15,4–20,2 kg) foram mantidos em condições padrão (22–23 °C) antes do experimento. As operações foram realizadas sob anestesia geral com administração intramuscular de 15 mg/bwkg de cetamina e 1 mg/bwkg de xilazina. Os animais foram ventilados por traqueostomia com ventilação assistida de ar e oxigênio. Um cateter venoso central foi colocado na veia jugular esquerda. A artéria femoral esquerda foi utilizada como ponto de acesso arterial. Um cateter urinário foi introduzido suprapubicamente para medir o débito urinário.

Após a indução da anestesia, um saco plástico foi implantado no abdome através de minilaparotomia (incisão na linha média de 30 mm) e preenchido com 2100–3300 mL de solução salina pré-aquecida (37 °C) até uma pressão intra-abdominal (PIA) de 30 mmHg foi atingido. A parede abdominal foi fechada temporariamente de forma hermética por duas camadas de suturas contínuas. O balão também foi usado para monitorar o IAP. A temperatura corporal, débito urinário, parâmetros hemodinâmicos, incluindo frequência cardíaca, saturação periférica de oxigênio, pressão arterial, pressão arterial média (PAM), pressão venosa central (PVC) foram monitorados durante todo o experimento.

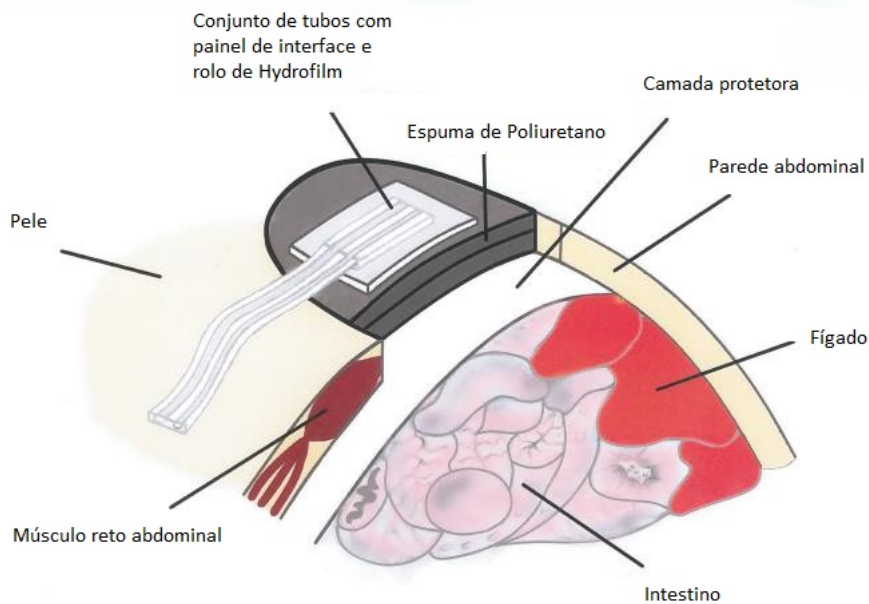
Após 3 h, a bolsa foi desinflada e removida por laparotomia total da linha média e a terapia de abdome aberto foi iniciada. O abdome foi temporariamente fechado com bolsa de Bogotá e um cateter urinário foi inserido com suturas nas bordas da ferida em seis animais (suínos não tratados de dados históricos). No caso dos outros 20 porcos foi aplicado TFPN (Vivano Med® Abdominal Kit, PAUL HARTMANN AG, Hamburgo, Alemanha). Uma camada microestruturada de proteção do órgão foi colocada no intestino delgado sob o peritônio parietal, que foi coberto por um curativo de espuma e uma camada autoadesiva na parte superior. O conjunto foi então conectado a um dispositivo especial (Unidade VivanoTec®, PAUL HARTMANN AG, Alemanha) para reduzir a pressão dentro da cavidade abdominal.

O princípio da TFPN é a transmissão constante de pressão negativa para o abdômen aberto. No sistema hermeticamente fechado a transmissão de sucção contínua para a cavidade abdominal é proporcionada pela aplicação especial de espuma de poliuretano. Os intestinos são cobertos por uma camada protetora para evitar o contato direto entre os órgãos abdominais e a espuma de poliuretano. A pressão negativa é fornecida por um dispositivo elétrico (Figura 1).

O grupo TFPN foi dividido em três subgrupos. Em sete animais foi aplicada sucção de -50 mmHg; outros porcos sete foram incluídos no grupo -100 mmHg e seis no grupo -150 mmHg. Durante o processo de desenho do experimento, encontramos dificuldades no monitoramento da pressão intra-abdominal em diferentes níveis da cavidade abdominal. O sistema de sensor de pressão multicanal baseado em microcontrolador (MBMPSS), projetado por nosso grupo de trabalho, resolveu esse problema. É capaz de medir os níveis de pressão relativa em seis pontos diferentes do abdômen. A medida de pressão fornecida por este sistema foi referenciado à pressão atmosférica. Cada sensor foi coberto por uma espuma especial protegendo a parede intestinal do contato direto.

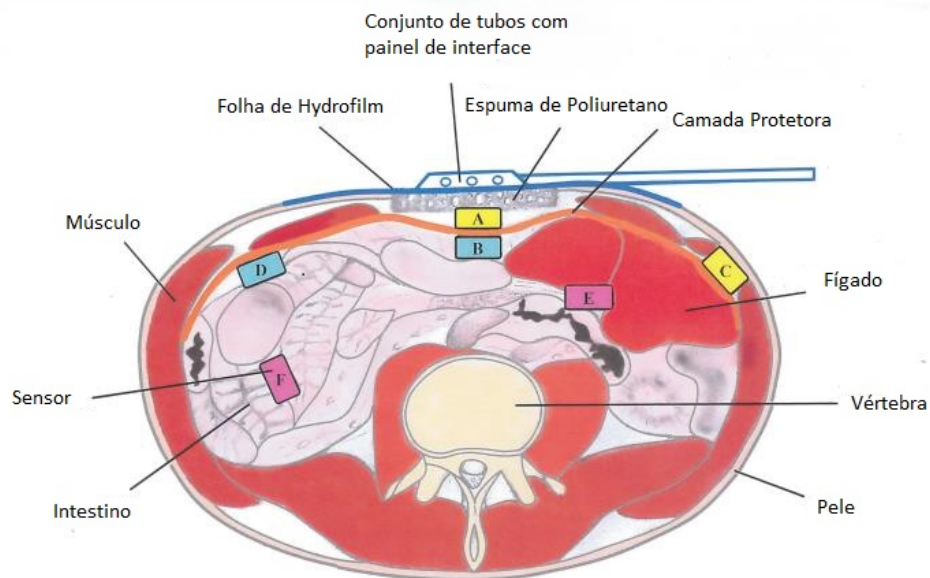
Dois sensores foram colocados lateralmente (8 cm do lado lateral da borda da ferida), outros dois na linha média acima e abaixo da camada protetora. Finalmente, dois outros sensores foram colocados entre os intestinos delgado (Figura 2). Esses seis pontos do sensor tiveram significado clínico específico em nosso experimento. Queríamos obter informações sobre como a pressão gerada pelo dispositivo é conduzida para as regiões laterais e mais profundas do abdome, para observar a eficácia desse sistema TFPN.

O dispositivo mediu a pressão a cada 10 s durante todo o intervalo de tratamento de pressão de 120 min (720 dados/cada sensor)



Osella Fialho 2018

Figura 1. Sistema de terapia de feridas por pressão negativa no manejo de abdome aberto. No sistema hermeticamente fechado a sucção contínua é transmitida para a cavidade abdominal pela aplicação de uma espuma especial de poliuretano. Os intestinos são cobertos por uma camada protetora para evitar contato direto entre os órgãos abdominais e a espuma. A pressão negativa é fornecida por um dispositivo elétrico.



Osella Fialho 2018

Figura 2. Imagem esquemática do posicionamento estratégico de seis sensores de pressão na cavidade abdominal utilizados para medição da pressão intra-abdominal em modelo animal experimental. R: linha média, acima da camada; B: linha média, abaixo da camada; C: lateralmente, acima da camada; D: lateralmente, sob a camada; E: linha média, entre os intestinos; F: lateralmente, entre os intestinos.

Os resultados são expressos como média +/- SD. Cada ponto de tempo de medição nas tabelas e diagramas apresentados representa a soma de 10 valores medidos a cada 5 min de cada animal desde o início (0 ponto) da TFPN. A relação entre o resumo dos sensores medidos (50 medições de cada sensor em cada nível de pressão) foi analisada pelo método de análise de correlação. A avaliação da análise de correlação está resumida na Tabela 1.

Tabela 1. Coeficiente de correlação (Guilford, 1950).

Coeficiente de correlação	Nível de correlação
0	sem relações lineares
0–0.2 (–0.2–0)	correlação insignificante com relação irrelevante
0.2–0.4 (–0.4––0.2)	baixa correlação, relação definida mais pequena
0.4–0.7 (–0.7––0.4)	correlação moderada, com relacionamento significativo
0.7–0.9 (–0.7––0.9)	correlação alta com forte relacionamento
0.9–1 (–1––0.9)	correlação muito alta com forte relacionamento confiável

3. Resultados

A correlação entre os pontos de medição de TFPN - 50, -100 e -150 mmHg está representada nas Figuras 3–5. No grupo 50 mmHg TFPN, entre os sensores A e F a correlação foi uma relação moderada e significativa, entre os sensores A e B, e B e F a correlação foi alta com uma relação forte e entre os sensores A e C, A e sensores E, B e D, B e E a correlação foi pequena, quase insignificante. Entre os sensores A e D não houve relação linear (Figura 3).

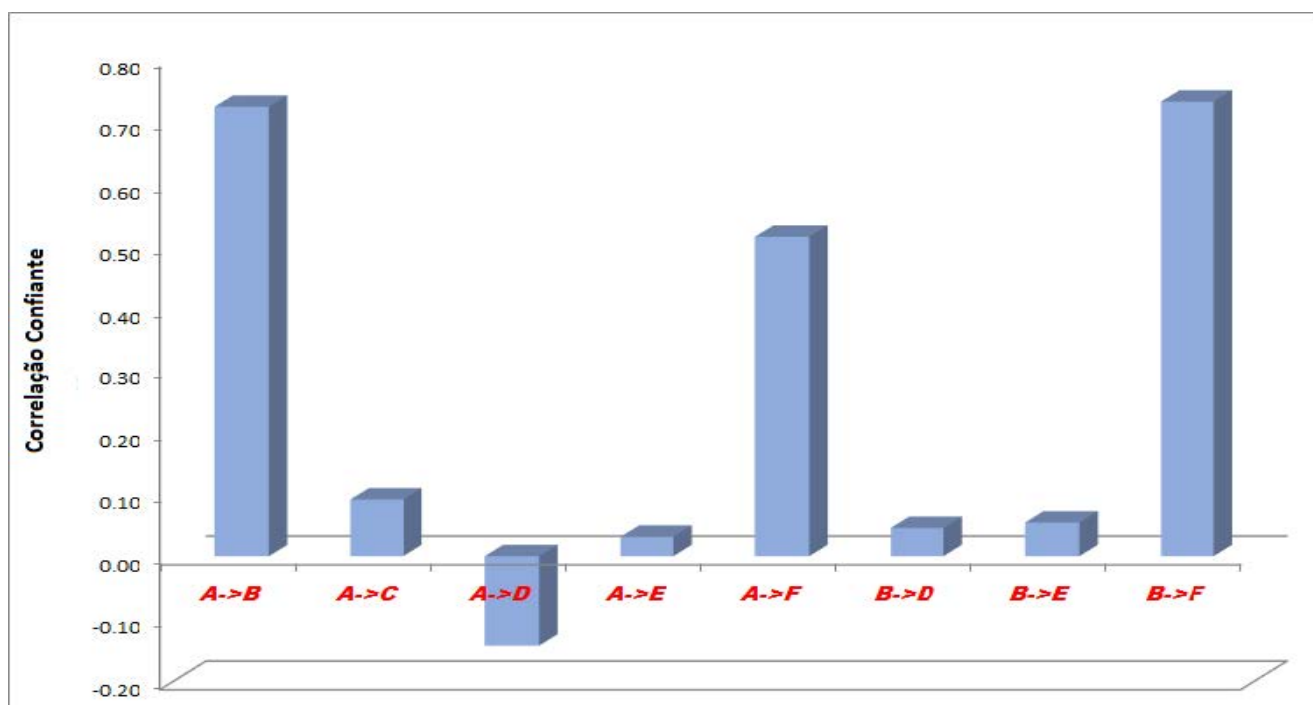


Figura 3. Resultados da análise estatística (correlação) entre os diferentes pares de sensores durante Terapia de feridas por pressão negativa (TFPN) aplicando a sucção de 50 mmHg. Os sensores representam exatamente pontos de medição na cavidade abdominal. A: linha média, acima da camada; B: linha média, abaixo da camada; C: lateralmente, acima da camada; D: lateralmente, sob a camada; E: linha média, entre os intestinos; F: lateralmente, entre os intestinos.

No grupo TFPN -100 mmHg, entre os sensores B-E a correlação foi baixa com um relação irrelevante, entre os sensores A e B, A e C, A e D, A e F e B e F o a correlação foi alta com uma relação forte e entre os sensores B e D a correlação foi muito alto com uma forte relação de confiança. Não houve relação linear entre A e Sensores E (Figura 4).

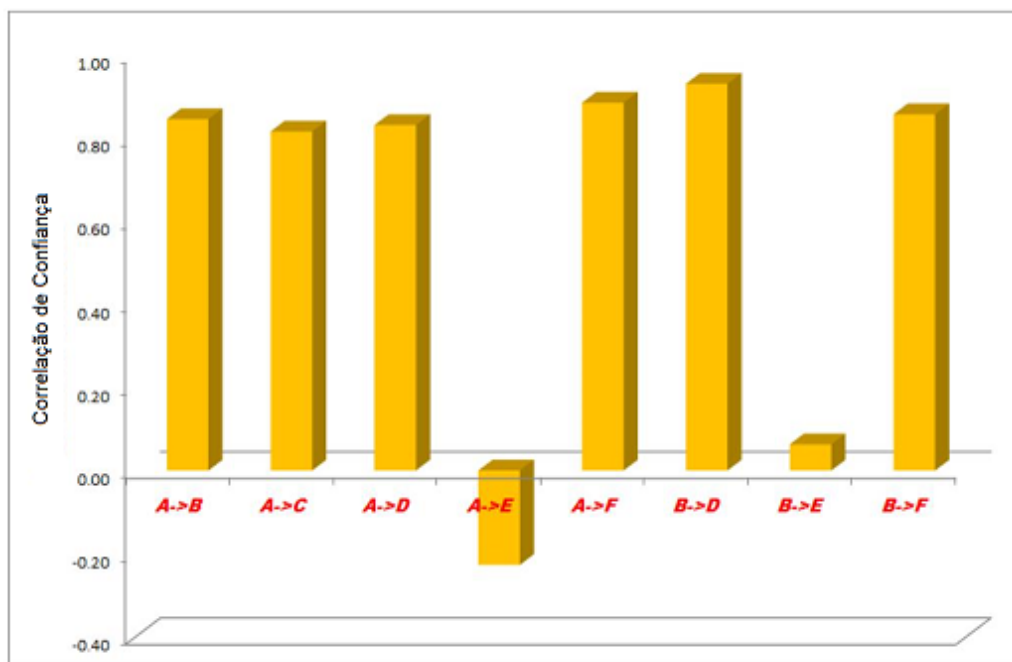


Figura 4. Resultados da análise estatística (correlação) entre os diferentes pares de sensores durante a TFPN aplicando a 100 mmHg de sucção. Os sensores representam pontos de medição exatos na cavidade abdominal. A: linha média, acima da camada; B: linha média, abaixo da camada; C: lateralmente, acima da camada; D: lateralmente, sob a camada; E: linha média, entre os intestinos; F: lateralmente, entre os intestinos.

No grupo TFPN -150 mmHg , entre os sensores A e D a correlação foi baixa com uma relação irrelevante , entre os sensores A e E e A e F a correlação foi moderada com uma relação significativa , entre A e C a correlação foi muito alto com um forte relacionamento confiável. Uma correlação baixa, mas uma relação definida, foi comprovada entre os sensores A e B, B e E, B e F. Entre B e D não houve relação linear (Figura 5).

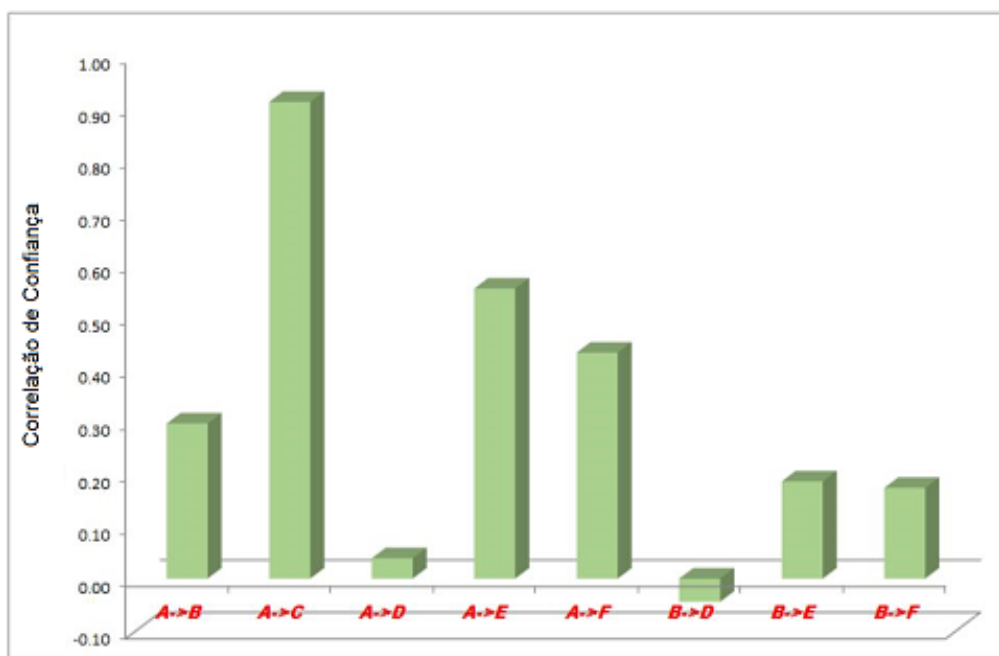


Figura 5. Resultados da análise estatística (correlação) entre os diferentes pares de sensores durante a TFPN aplicando a 150 mmHg de sucção. Os sensores representam pontos de medição exatos na cavidade abdominal. A: linha média, acima da camada; B: linha média, abaixo da camada; C: lateralmente, acima da camada; D: lateralmente, sob a camada; E: linha média, entre os intestinos; F: lateralmente, entre os intestinos.

Em cada grupo, houve uma boa correlação entre os sensores no meio e o lateral posições, em contraste com a baixa correlação entre os sensores posicionados superficialmente e profundamente.

Além disso, a pressão absoluta em todos os três grupos entre os intestinos foi significativamente menor do que abaixo ou acima da camada protetora. Nas posições lateral e medial os níveis de pressão foram aproximadamente o mesmo (Figuras 6–8).

Sensores 2018, 18, x PARA REVISÃO PEER 6 de 11 abaixo ou acima da camada protetora. Nas posições lateral e medial os níveis de pressão eram aproximadamente os mesmos (Figuras 6-8).

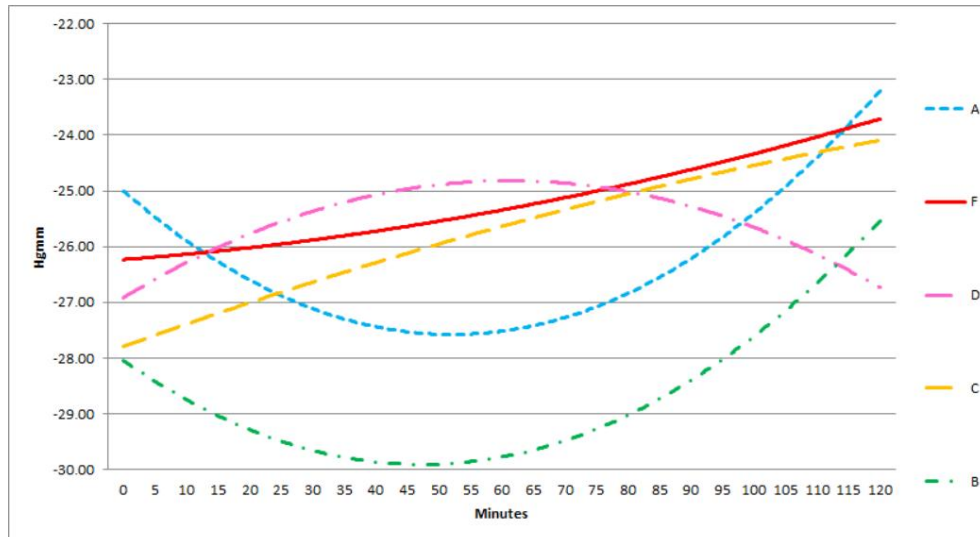


Figura 6. Resultados da análise estatística (correlação) entre os diferentes pares de sensores durante a TFPN aplicando na sucção de 50 mmHg. Os valores de pressão e suas mudanças no tempo foram medidos por sensores diferentes em -50 mmHg TFPN. Os sensores representam pontos de medição exatos no abdômen cavidade. (As pressões nos sensores A–F são apresentadas também ampliadas. A: linha média, acima da camada; B linha média, sob a camada; C: lateralmente, acima da camada; D: lateralmente, sob a camada; E: linha média, entre os intestinos; F: lateralmente, entre os intestinos.)

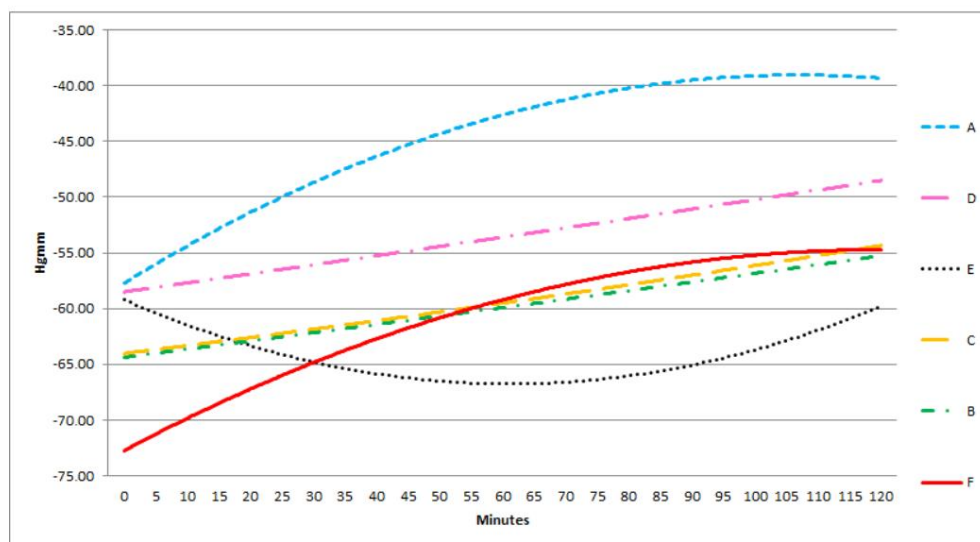


Figura 7. Resultados da análise estatística (correlação) entre os diferentes pares de sensores durante a TFPN aplicando a 100 mmHg de sucção. Os valores de pressão e suas mudanças no tempo foram medidos por sensores diferentes em TFPN de 100 mmHg. Os sensores representam pontos de medição exatos no abdômen cavidade. (As pressões nos sensores A–F são apresentadas também ampliadas. A: linha média, acima da camada; B: linha média, sob a camada; C: lateralmente, acima da camada; D: lateralmente, sob a camada; E: linha média, entre os intestinos; F: lateralmente, entre os intestinos.)

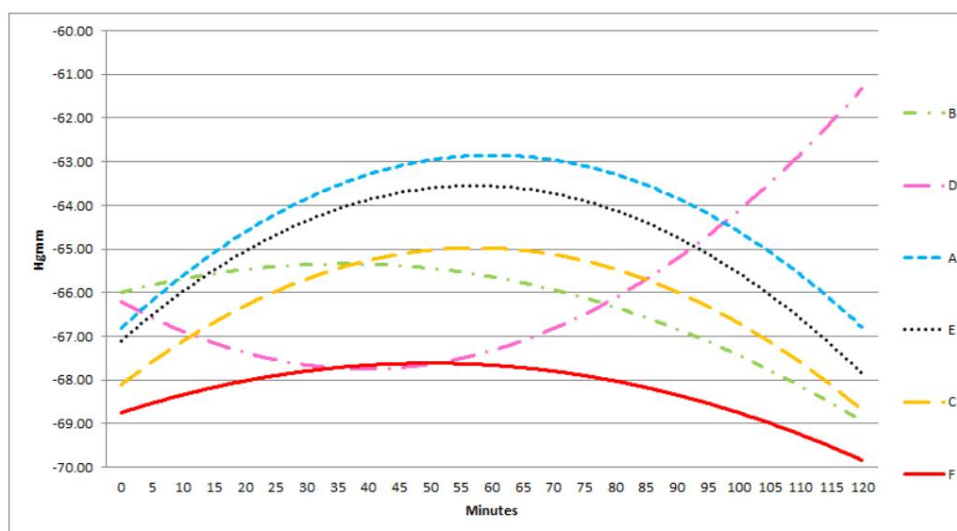


Figura 8. Resultados da análise estatística (correlação) entre os diferentes pares de sensores durante a TFPN aplicando a 150 mmHg de sucção. Os valores de pressão e suas mudanças no tempo foram medidos por sensores diferentes em TFPN de 150 mmHg. Os sensores representam pontos de medição exatos no abdômen cavidade. (As pressões nos sensores A–F são apresentadas também ampliadas. A: linha média, acima da camada; B: linha média, sob a camada; C: lateralmente, acima da camada; D: lateralmente, sob a camada; E: linha média, entre os intestinos; F: lateralmente, entre os intestinos;

Durante a TFPN os níveis de pressão medidos não mostraram diferença significativa no tempo. (Figuras 6-8). No nível de pressão de -50 mmHg, A e B são convexas, D é uma curva côncava, C e F são funções lineares, E é uma curva monotonicamente decrescente. A monotonicidade das funções A, B, D muda após 50-60 min do ponto 0 do experimento. Em -100 mmHg, a monotonia da curva A permanece inalterada durante o experimento. A e F são côncavos. A função E muda para uma curva côncava. B é uma função linear, D é uma função aparentemente linear. No nível de pressão de -150 mmHg, A, C, E, F, são convexas e mudam de monotonia após 60 min. B é uma curva côncava, D é uma curva convexa. A monotonicidade das curvas é a mais equalizada em -100 mmHg

4. Discussão

A SCA é definida como uma elevação sustentada da PIA acima de 20 mmHg (com ou sem pressão de perfusão abdominal (PPA) < 60 mmHg) associada a uma nova disfunção/falência orgânica [1]. A SCA é uma condição com risco de vida e deixá-la sem tratamento leva à falência de múltiplos órgãos e à morte. Quando a PIA está consistentemente acima de 20 mmHg apesar do tratamento conservador e existe disfunção orgânica, a intervenção cirúrgica é obrigatória. O objetivo da intervenção cirúrgica é controlar o sangramento, prevenir a contaminação da cavidade abdominal e descomprimi-la. Existem muitas técnicas de fechamento abdominal temporário (TAC), como suturas apenas na pele, aplicação de telas absorvíveis, bolsa de Bogotá, sistemas de zíper, Wittmann Patch e os diferentes métodos de TFPN. As complicações do abdome aberto (AA) são bem conhecidas e incluem formação de fístula entero-atmosférica, perda de líquidos e proteínas, catabolismo, aderências na cavidade abdominal, retração fascial entre muitas outras [1-3,7,8]. De acordo com as diretrizes da WSACS, a TFPN é recomendada no tratamento da SCA, pois fornece resultados superiores às técnicas simples de empacotamento [1]. A TFPN está sendo cada vez mais usada em cenários clínicos, embora haja dados experimentais limitados demonstrando seus efeitos e complicações. Há uma falta de recomendações baseadas em evidências sobre as configurações ideais para TFPN.

É amplamente publicado que animais de grande porte, especialmente suínos, são adequados para investigar o efeito da SCA na hemodinâmica, função orgânica, circulação e avaliar procedimentos conservadores e cirúrgicos e opções de tratamento, devido à sua anatomia e fisiopatologia serem relativamente próximas aos humanos [9-14]. Antes de iniciar o desenho do estudo, o excelente trabalho experimental de Andrew Kirkpatrick em porcos foi extensivamente estudado entre muitos outros [15].

Como não havia nenhum trabalho anterior de alterações fisiológicas relacionadas à cirurgia laparoscópica (hipertensão intra-abdominal artificial) na ausência de peso, Kirkpatrick estudou porcos anestesiados em voo parabólico fornecendo dados importantes para futuros procedimentos cirúrgicos laparoscópicos realizados no espaço em seres humanos. A literatura disponível suporta amplamente que os resultados de um modelo experimental porcino são bem/melhor aplicáveis às condições humanas. A definição de SCA em um modelo animal pode ser estabelecida se uma PIA aumentada artificialmente leva a insuficiência circulatória, renal ou respiratória [3]. No nosso modelo suíno, 3 h de HIA (30 mmHg) foram suficientes para que as consequências da SCA acima mencionadas aparecessem.

Todos os ex-modelos animais de SCA mostraram que a descompressão oportuna reduz a mortalidade, tem efeito favorável nas alterações induzidas pela SCA na hemodinâmica e na função do órgão [16,17]. A TFPN foi considerada superior a outros métodos de TAC por autores que investigaram as diferentes técnicas de TAC [4,18]. No entanto, Benninger et al. aconselham a usar a bolsa ou o sistema de zíper primeiro e usar a TFPN apenas alguns dias depois para evitar a recorrência de HIA/SCA [19].

Há dados limitados na literatura com relação à distribuição da pressão na cavidade abdominal durante a TFPN. O presente estudo demonstra a distribuição da pressão nas regiões laterais e entre os intestinos. O significado clínico desses resultados é importante para entender a distribuição da pressão na cavidade abdominal e projetar outros métodos para o controle ideal da pressão durante a TFPN. Tentamos descobrir as posições ideais para os sensores de pressão, bem como o nível de pressão mais eficaz e equilibrado. Sabe-se da experiência clínica que durante o manejo da AA (pancreatite necrosante aguda, peritonite fecal, sepse intra-abdominal, paciente politraumatizado), é fundamental manter um nível estável e satisfatório de pressão negativa nas camadas profundas da cavidade peritoneal. O sistema AbThera® é uma excelente opção para suprir essas necessidades nas partes superficial e lateral da cavidade abdominal; no entanto, a zona central ainda permanece uma parte oculta. A ideia de projetar um sistema de medição de pressão previsto para cada parte da cavidade peritoneal enraizada nisso. Neste estudo foram avaliadas três configurações de pressão negativa: a de 50 mmHg, a de 100 mmHg e a de 150 mmHg. O nível de 100 mm Hg parecia ser ideal porque em quase todos os parâmetros investigados por nós os melhores resultados foram experimentados na aplicação da TFPN na sucção de 100 mmHg. Nesse nível de pressão, o efeito de sucção parecia bem equilibrado e forte o suficiente em cada parte da cavidade abdominal.

De acordo com os dados clínicos e experimentais disponíveis, a TFPN aumenta a perfusão tecidual, a produção de colágeno, a granulação e a angiogênese, o que ajuda na cicatrização de feridas. Proporciona tração medial evitando a lateralização da parede abdominal ou deiscências. As taxas de fechamento fascial são estimadas em torno de 35% a 92%. Garante drenagem eficaz para prevenir a formação de abscessos [5,6, 8,18,20]. O Kit Abdominal Vivano Med é composto por três camadas. A primeira camada é uma folha de polietileno perfurada (camada de interface) para cobrir os órgãos abdominais que reduz aderências, protege os intestinos e diminui a taxa de fístula. A segunda camada é uma espuma de poliuretano a ser colocada dentro das bordas da ferida, a fim de proporcionar tração medial e auxiliar na drenagem do fluido. A terceira camada é um filme adesivo, que fecha a ferida hermeticamente na superfície, evitando a perda de fluido e calor e contaminação externa. O sistema é conectado a uma fonte de vácuo usando um conjunto de tubulação especial. A taxa de complicações é menor, no entanto, há dados experimentais mínimos disponíveis sobre as configurações ideais e o nível de pressão recomendado ideal ainda permanece desconhecido. Durante o estudo, tentamos desenvolver as posições ideais do sensor para fornecer monitoramento de pressão eficiente e identificar o nível de pressão ideal. A zona mais desafiadora da cavidade peritoneal para a colocação do sensor é a parte central, que requer não apenas um método especial de colocação do sensor “amigável ao intestino”, mas também requer um dispositivo especial, que não causa lesões e/ou formação de fístulas. O sistema de sensor de pressão multicanal baseado em microcontrolador (MBMPSS), projetado por nós, resolveu esse problema. É capaz de medir os níveis de pressão relativa em seis pontos diferentes do abdômen. Esses seis pontos sensores tiveram um significado clínico crucial em nosso experimento. Queríamos saber como a pressão é conduzida para as regiões laterais e mais profundas do abdômen; sobre a possível lesão da parede intestinal e formação da fístula.

Queríamos saber o diferenças entre os pontos de medição e suas mudanças no tempo para observar a eficácia do Terapia TFPN.

Supõe-se que a pressão negativa conduzida ao intestino delgado pode elevar o risco de formação de fístula, diminui a microcirculação tecidual e causa isquemia [4,21]. Dados clínicos mostram que o risco de formação de fístula é em torno de 0-15% [7,8]. O efeito da TFPN na superfície intestinal dificilmente foi investigado e, de acordo com dados limitados da literatura, a TFPN pode reduzir o sangue da parede do intestino delgado fluxo, especialmente próximo à camada protetora visceral [21,22]. Esta complicação pode ser mais grave com a pressão negativa aplicada [22]. Bjarnason et al. investigou a distribuição de pressão de TFPN no abdômen e forneceu dados em que a espuma conduz 75% da pressão aplicada para abdome [6]. A pressão negativa é significativamente reduzida na superfície do intestino, mas a pressão aplicada não reduz ainda mais a pressão nos intestinos [4,6]. Em nosso modelo, independentemente da sucção aplicada (-50, -100, -150 mmHg) houve valores significativamente mais baixos de pressão negativa que pode ser medido entre o intestino delgado na camada profunda em comparação com perto da camada protetora Folha. Sob a folha de proteção, os valores de pressão negativa são significativamente mais baixos do que acima dela.

Bjarnason et al. descobriu que fora da camada interna a pressão negativa diminui [6]. Isto é semelhantes aos nossos dados. As pressões foram semelhantes nas regiões média e lateral do abdome, apoiando a teoria de que a camada visceral fornece excelente distribuição de pressão.

A pressão negativa é conduzida bem para a área abaixo da folha protetora na linha média e para a região lateral superficial da cavidade abdominal. A pressão distribuída com boa eficácia para o espaço inter-intestinal na linha média e lateralmente também. Esses achados foram mais pronunciados com aplicação de pressão negativa de 100 mmHg.

5. Conclusões

A distribuição da pressão em diferentes pontos do abdome pode ser avaliada durante a TFPN, que ajuda os médicos a escolher as configurações ideais. A camada de proteção do órgão oferece excelente distribuição de pressão na cavidade abdominal. A extensa cobertura dos órgãos abdominais com este camada é altamente recomendado. O efeito favorável do Kit Abdominal Vivano Med foi comprovado em este modelo animal.

Contribuições dos Autores: AC, KP, NN e ZS conceberam e projetaram os experimentos; AC, KB, KP, Á.D.,MB e ZS realizaram os experimentos; ZAG, GJ, AC e ZS analisaram os dados; AC, ZS e ZB escreveram.

Conflitos de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse. “Os patrocinadores fundadores não tiveram nenhum papel no design fazer estudo; na coleta, análise ou interpretação dos dados; na redação do manuscrito e na decisão de publicar os resultados”.

Abreviaturas

TFPN	terapia de feridas por pressão negativa
AA	abdômen aberto
ACS	síndrome do compartimento abdominal
IAP	pressão intra-abdominal
IAH	hipertensão intra-abdominal
bwkg	peso corporal quilograma
MAPA	pressão arterial média
CVP	pressão venosa central
Sistema de sensor de pressão multicanal baseado em microcontrolador MBMPSS	
Desvio padrão SD	
WSACS	A Sociedade do Compartimento Abdominal
APLICATIVO	pressão de perfusão abdominal
TAC	fechamento abdominal temporário

Referências

1. Kirkpatrick, A.W.; Roberts, D.J.; Jaeschke, R.; De Waele, J.J.; De Keulenaer, B.L.; Duchesne, J.; Bjorck, M.; Leppäniemi, A.; Ejike, J.C.; Sugrue, M.; et al. Methodological background and strategy for the 2012–2013 updated consensus definitions and clinical practice guidelines from the abdominal compartment society. *Anaesthesiol. Intensive Ther.* 2015, 47, 63–77. [CrossRef] [PubMed]
2. Coccolini, F.; Biffi, W.; Catena, F.; Ceresoli, M.; Chiara, O.; Cimbanassi, S.; Fattori, L.; Leppaniemi, A.; Manfredi, R.; Montori, G.; et al. The open abdomen, indications, management and definitive closure. *World J. Emerg. Surg.* 2015, 10, 32. [CrossRef] [PubMed]
3. Demetriades, D.; Salim, A. Management of the open abdomen. *Surg. Clin. N. Am.* 2014, 94, 131–153. [CrossRef] [PubMed]
4. Atema, J.J.; Gans, S.L.; Boermeester, M.A. Systematic review and meta-analysis of the open abdomen and temporary abdominal closure techniques in non-trauma patients. *World J. Surg.* 2015, 39, 912–925. [CrossRef] [PubMed]
5. Huang, Q.; Li, J.; Lau, W.Y. Techniques for Abdominal Wall Closure after Damage Control Laparotomy: From Temporary Abdominal Closure to Early/Delayed Fascial Closure—A Review. *Gastroenterol. Res. Pract.* 2016, 2016, 2073260. [CrossRef] [PubMed]
6. Bruhin, A.; Ferreira, F.; Chariker, M.; Smith, J.; Runkel, N. Systematic review and evidence based recommendations for the use of negative pressure wound therapy in the open abdomen. *Int. J. Surg.* 2014, 12, 1105–1114. [CrossRef]
7. Lessing, M.C.; James, R.B.; Ingram, S.C. Comparison of the Effects of Different Negative Pressure Wound Therapy Modes—Continuous, Noncontinuous and With Instillation—on Porcine Excisional Wounds. *Eplasty* 2013, 13, e51. [PubMed]
8. Yoshino, O.; Quail, A.; Oldmeadow, C.; Balogh, Z.J. The interpretation of intra-abdominal pressures from animal models: The rabbit to human example. *Injury* 2012, 43, 169–173. [CrossRef] [PubMed]
9. Schachtrupp, A.; Wauters, J.; Wilmer, A. What is the best animal model for ACS? *Acta Clin. Belg.* 2007, 62 (Suppl. S1), 225–232. [CrossRef] [PubMed]
10. Otto, J.; Afify, M.; Jautz, U.; Schumpelick, V.; Tolba, R.; Schachtrupp, A. Histomorphologic and ultrastructural lesions of the pancreas in a porcine model of intra-abdominal hypertension. *Shock* 2010, 33, 639–645. [CrossRef] [PubMed]
11. Olofsson, P.H.; Berg, S.; Ahn, H.C.; Brudin, L.H.; Vikström, T.; Johansson, K.J. Gastrointestinal microcirculation and cardiopulmonary function during experimentally increased intra-abdominal pressure. *Crit. Care Med.* 2009, 37, 230–239. [CrossRef] [PubMed]
12. Ke, L.; Ni, H.B.; Tong, Z.H.; Li, W.Q.; Li, N.; Li, J.S. The importance of timing of decompression in severe acute pancreatitis combined with abdominal compartment syndrome. *J. Trauma Acute Care Surg.* 2013, 74, 1060–1066. [CrossRef] [PubMed]
13. Skoog, P.; Hörer, T.M.; Nilsson, K.F.; Norgren, L.; Larzon, T.; Jansson, K. Abdominal hypertension and decompression: The effect on peritoneal metabolism in an experimental porcine study. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2014, 47, 402–410. [CrossRef] [PubMed]
14. Ke, L.; Tong, Z.H.; Ni, H.B.; Ding, W.W.; Sun, J.K.; Li, W.Q.; Li, N.; Li, J.S. The effect of intra-abdominal hypertension incorporating severe acute pancreatitis in a porcine model. *PLoS ONE* 2012, 7, e33125. [CrossRef] [PubMed]

- 15.** Kirkpatrick, A.W.; Keaney, M.; Hemmelgarn, B.; Zhang, J.; Groleau, M.; Tyssen, M.; Keyte, J.; Campbell, M.; Kmet, L.; McBeth, P.; Broderick, T.J. Intra-abdominal pressure effects on porcine thoracic compliance in weightlessness: Implications for physiologic tolerance of laparoscopic surgery in space. *Crit Care Med* 2009, 37, 591–597. [CrossRef] [PubMed]
- 16.** Elvevoll, B.; Husby, P.; Ovrebo, K.; Haugen, O. Acute elevation of intra-abdominal pressure contributes to extravascular shift of fluid and proteins in an experimental porcine model. *BMC Res. Notes* 2014, 20, 738. [CrossRef] [PubMed]
- 17.** Correa-Martín, L.; Castellanos, G.; García-Lindo, M.; Díaz-Güemes, I.; Sánchez-Margallo, F.M. Tonometry as a predictor of inadequate splanchnic perfusion in an intra-abdominal hypertension animal model. *J. Surg. Res.* 2013, 184, 1028–1034. [CrossRef] [PubMed]
- 18.** Benninger, E.; Laschke, M.W.; Cardell, M.; Keel, M.; Seifert, B.; Trentz, O.; Menger, M.D.; Meier, C. Intra-abdominal pressure development after different temporary abdominal closure techniques in a porcine model. *J. Trauma* 2009, 66, 1118–1124. [CrossRef] [PubMed]
- 19.** Suh, H.; Lee, A.Y.; Park, E.J.; Hong, J.P. Negative Pressure Wound Therapy on Closed Surgical Wounds With Dead Space: Animal Study Using a Swine Model. *Ann. Plast. Surg.* 2014, 76, 717–722. [CrossRef] [PubMed]
- 20.** Bjarnason, T.; Montgomery, A.; Hlebowicz, J.; Lindstedt, S.; Petersson, U. Pressure at the bowel surface during topical negative pressure therapy of the open abdomen: An experimental study in a porcine model. *World J. Surg.* 2011, 35, 917–923. [CrossRef] [PubMed]
- 21.** Hlebowicz, J.; Hansson, J.; Lindstedt, S. Microvascular blood flow response in the intestinal wall and the omentum during negative wound pressure therapy of the open abdomen. *Int. J. Colorectal Dis.* 2012, 27, 397–403. [CrossRef] [PubMed]
- 22.** Lindstedt, S.; Malmjö, M.; Hlebowicz, J.; Ingemansson, R. Comparative study of the microvascular blood flow in the intestinal wall, wound contraction and fluid evacuation during negative pressure wound therapy in laparostomy using the V.A.C. abdominal dressing and the ABThera open abdomen negative pressure therapy system. *Int. Wound J.* 2015, 12, 83–88. [PubMed]