

Nuno Vasco de Vasconcelos França Miguel

**Validação biofísica do método transvesical para
medição da Pressão Intra-abdominal**

Orientador: Professor Doutor Pedro Faisca

Co-Orientador: Mestre António Martinho

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Faculdade de Medicina Veterinária

Lisboa

2016

Nuno Vasco de Vasconcelos França Miguel

**Validação biofísica do método transvesical para
medição da Pressão Intra-Abdominal**

Dissertação apresentada para a obtenção do Grau de Mestre em
Medicina Veterinária no curso de Mestrado Integrado em
Medicina Veterinária conferido pela Universidade Lusófona
de Humanidades e Tecnologias

Presidente: Prof. Dr. João Requicha em representação da Prof.^a
Dra. Laurentina Pedroso
Arguente: Prof. Dr. Henrique Armés
Orientador: Prof. Dr. Pedro Faísca
Co-orientador: Dr. António Martinho

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Faculdade de Medicina Veterinária

Lisboa

2016

*Se vi mais longe, foi porque me ergui sobre
os ombros de gigantes.*

(Isaac Newton)

Agradecimentos

Começo por agradecer a toda a equipa do Hospital Escolar da Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologia, por me terem recebido na realização do estágio curricular e por me terem feito sentir parte da equipa, bem como a todos os professores com quem me cruzei neste percurso pela transmissão de conhecimentos e a todos os funcionários da Universidade Lusófona que tornaram a passagem pela Universidade mais agradável.

Agradeço especialmente ao meu Orientador Dr. Pedro Faísca e co-orientador Mestre António Martinho por todo o apoio disponibilizado para a realização deste estudo e à Dra. Ângela Martins cuja contribuição para a realização desta tese foi indispensável.

Agradeço aos meus pais, sem os quais a realização deste curso não teria sido possível, ao meu irmão e a toda a minha família pelo apoio incondicional prestado em todas as ocasiões e pela transmissão de ensinamentos e valores que moldaram a pessoa que sou actualmente.

À minha namorada, Andreia Lagarelos, por todo o apoio incondicional tanto na vida académica como na vida pessoal.

A todos os colegas de curso pela partilha de conhecimentos e momentos de descontração.

Aos meus grandes amigos Igor Lopes, Carla de Sousa, Isabella Lambusta, Túlio Portugal e Aléssio Alfama pela preocupação e apoio tanto a nível académico como a nível pessoal.

Agradeço particularmente à Dra. Lisa Mestrinho, Dr. Joaquim Henriques, Dr. Fausto Brandão, Dr. João Ribeiro, Dr. Pedro Parreira e Dr. Pedro Almeida por me inspirarem diariamente pela forma de excelência com que exercem a arte da Medicina Veterinária.

Resumo

O aumento da Pressão Intra-Abdominal (PIA) é um fenómeno bem documentado cujas repercussões fisiopatológicas podem levar a alterações em todos os sistemas de órgãos, aumentando a morbidade e mortalidade de doentes em cuidados intensivos.

Embora a medição deste parâmetro em Medicina Veterinária (MV) ainda não seja frequentemente utilizado na monitorização dos doentes, em Medicina Humana (MH), a monitorização da PIA tem-se revelado um importante indicador de prognóstico em doentes com diversas condições clínicas. Uma vez que os métodos de medição directa da PIA, para além de invasivos, são também dispendiosos, geralmente recorre-se a métodos indirectos na sua mensuração, tal como a manometria intra-gástrica ou transvesical.

Embora o tema da fiabilidade dos métodos de medição indirecta da PIA, ainda se encontre envolto em controvérsia, o método de eleição tanto em MH como em MV continua a ser o método transvesical.

O presente estudo tem como objectivo a validação do método transvesical através da aplicação de conceitos biofísicos, abrindo desta forma portas para uma melhor compreensão, aplicação e interpretação dos resultados obtidos.

O estudo foi realizado num modelo de cadáver animal da cavidade abdominal, de forma a erradicar algumas das variáveis passíveis de alterar a medição da PIA. A PIA foi medida por dois métodos diferentes numa população de 29 cadáveres de cão. Todas as componentes físicas envolvidas na formação da PIA foram determinadas, tal como o peso, Área de Superfície da Cavidade Abdominal (ASCA) e a força exercida pelas estruturas abdominais. Através dos princípios da física clássica e da mecânica de fluidos desenvolveu-se uma sobreposição de princípios biofísicos. Esta formulação permitiu a substituição dos valores determinados em cadáveres de forma a determinar a PIA por métodos físicos. Os valores calculados foram posteriormente comparados com os valores da PIA obtidos pelo método directo por sensor e pelo método transvesical.

A comparação dos valores calculados pela formulação biofísica com os valores determinados pelo método directo e pelo método transvesical não revelaram diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,05$). Deste modo pode-se concluir que o método transvesical apresenta um nível de precisão adequado à sua utilização na prática clínica.

Palavras-chave: Pressão Intra-abdominal, Hipertensão Abdominal, Síndrome de Compartmentalização Abdominal, Método Transvesical, Mecânica de Fluidos.

Abstract

The increase in the Intra-Abdominal Pressure (IAP) is a well-documented phenomenon whose pathophysiological repercussions can lead to changes in all organic systems, increasing the morbidity and mortality of patients in intensive care.

Although the measurement of this parameter in Veterinary Medicine (VM) is still not frequently used while monitoring patients, in Human Medicine (HM), its assessment has shown to be an important prognostic factor in patients with several clinical conditions. Given the methods for direct measurement of the IAP are, besides being of an invasive character, of high cost, it is common practice to use indirect methods in its measurement, such as the intra-gastric manometry and the transvesical method.

Even though the reliability of the IAP measurement using indirect methods is still a controversial issue, the most applied and considered the gold standard in both VM and HM is still the transvesical method.

This study's main goal is the validation of the transvesical method by applying biophysical concepts, providing this way a better understanding, application and interpretation of the obtained results.

The study was performed in an animal model of the abdominal cavity, in order to eradicate some of the variables which could alter the IAP measurement. The IAP was measured using three different methods throughout a population of 29 dog cadavers. All the physical components involved in the IAP development were determined, as well as the weight, Abdominal Cavity Surface Area (ACSA) and the force exerted by the abdominal structures. Using classic physics' and Fluids Mechanics' principles, an overlap of bio-physical principles was developed. This formulation allowed replacing data obtained in cadavers in order to determine the IAP using physical methods. The calculated values were further compared with IAP values obtained using the direct method with sensor and with the transvesical method.

The comparison between the values obtained using the bio-physical formulation and the values determined by the direct method and the transvesical method did not reveal statistically significant differences ($P < 0.05$). By this, one can conclude that the transvesical method presents an adequate accuracy level which allows its usage in clinical practice.

Keywords: Intra-abdominal pressure, Abdominal Hypertension, Abdominal Compartment syndrome, Transvesical Method, Fluids Mechanics.

Índice Geral

Agradecimentos	II
Resumo	III
Abstract	IV
Índice de Tabelas	VII
Índice de Figuras	VIII
Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos	IX
Publicações	XI
1. Introdução.....	1
1.1. Anatomofisiologia	2
1.2. Pressão intra-abdominal, Hipertensão abdominal e Síndrome de compartimentalização abdominal	5
1.2.1. Alterações fisiopatológicas	9
1.2.1.1. Alterações hemodinâmicas	10
1.2.1.2. Alterações respiratórias	11
1.2.1.3. Alterações renais	12
1.2.1.4. Alterações gastro-intestinais.....	12
1.2.1.5. Alterações neurológicas	13
1.3. Métodos de medição da PIA	13
1.3.1. Métodos directos	14
1.3.2. Métodos indirectos.....	15
1.3.3. Variáveis que influenciam as medições.	19
1.4. Tratamento	21
1.5. Biofísica envolvida no método transvesical	22
1.6 Objectivos	23
2. Material e Métodos.....	24
2.1. População estudada	Error! Bookmark not defined.
2.2. Medição da PIA por método directo	24
2.3. Medição da PIA pelo método transvesical.....	25
2.4. Características morfométricas.....	26
2.5. Determinação da área vesical	26
2.6. Determinação da área de superfície da cavidade abdominal	28
2.7. Mecânica de fluidos	29
2.8. Estatística.....	29
3. Resultados	31

3.1. Caracterização da população	31
3.2. Medição da PIA pelo método directo	33
3.3. Medição da PIA pelo método transvesical	33
4. Discussão	39
5. Conclusão	43
6. Referências Bibliográficas	44

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Factores de risco para o desenvolvimento de hipertensão abdominal e síndrome de compartimentalização abdominal. Adaptado de Bersani et al. (2009).	8
Tabela 2 - Alterações causadas pelo aumento da PIA. Adaptado de Andrade (1998). .	11
Tabela 3 - Valores do limite inferior, superior, média e desvio padrão das variáveis utilizadas no cálculo da PIA.	35
Tabela 4 – Classificação dos valores de pressão no centro da bexiga (P_1) e pressão na coluna de fluídos (P_2) e PIA determinada pelo método directo somada à pressão atmosférica de acordo com limite inferior, superior, média e desvio padrão.....	37

Índice de Figuras

Figura 1 - Imagem ilustrativa de plano transverso de canídeo evidenciando as cavidades torácica, abdominal e pélvica. Adaptado de Aspinall, 2004.	2
Figura 2 - Cistometrograma humano. Adaptado de Guyton & Hall, 1996.	4
Figura 3 - Implicações patofisiológicas da HA. Adaptado de Cheatham (2009).	9
Figura 4 - Representação esquemática do sistema utilizado no método transvesical. Adaptado de Malbrain (2004).	16
Figura 5 - Representação esquemática do MT de medição da PIA utilizado no presente estudo.	26
Figura 6 - Imagem digital da bexiga transformada num ficheiro binário, permitindo assim o cálculo da área de superfície.	28
Figura 7 - Representação gráfica da amostra relativamente ao género.	31
Figura 8 - Representação gráfica da amostra relativamente à raça.	31
Figura 9 - Representação gráfica da amostra relativamente às diferentes raças do grupo dos animais com raça definida.	32
Figura 10 – Distribuição do peso dos animais em estudo.	33
Figura 11 - Ficheiro final da determinação da área da bexiga utilizando o software Matlab.	35
Figura 12 - Representação esquemática das forças envolvidas no método transvesical.	36

Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

ASCA – Área de Superfície da Cavidade Abdominal

cmH₂O – Centímetros de água

F - Força

FiO₂ – Fracção inspirada de oxigénio

g – aceleração gravítica

HA – Hipertensão Abdominal

IRA – Insuficiência Renal Aguda

kg - Quilograma

LCR – Líquido Cefalo-raquidiano

m - Massa

MG – Manometria Intra-Gástrica

MH – Medicina Humana

mmHg – Milímetros de Mercúrio

MT – Método Transvesical

MV – Medicina Veterinária

N – Newton

P₀ – Pressão Atmosférica

P₁ – Pressão no centro da bexiga

P₂ – Pressão na coluna de fluídos

Pa – Pascal

PaO₂ – Pressão parcial de Oxigénio arterial

P_c – Pressão exercida pelo conteúdo abdominal

PIA – Pressão Intra-Abdominal

PIC – Pressão Intra-Craniana

PIT – Pressão Intra-Torácica

P_m – Pressão exercida pela musculatura abdominal e pele

P_o – Pressão exercida pelos ossos

POAP – Pressão de Oclusão da Artéria Pulmonar

PPA – Pressão de Perfusão Abdominal

PPC – Pressão de Perfusão Cerebral

PVC – Pressão Venosa Central

SCA – Síndrome de Compartimentalização Abdominal

SIRA – Síndrome de Insuficiência Respiratória Aguda

SPSS – Statistical Package for the Social Science

SRIS – Síndrome de Resposta Inflamatória Sistêmica

TFG – Taxa de Filtração Glomerular

VEF1 – Volume Expiratório Forçada num segundo

VRF – Volume Residual Funcional

WSACS – Sociedade Mundial da Síndrome de Compartimentalização Abdominal (do Inglês, *World Society of the Abdominal Compartment Syndrome*)

Publicações

O trabalho realizado no âmbito desta Dissertação de Mestrado resultou nas publicações listadas em baixo:

Revistas internacionais com arbitragem:

Lopes AM, Morgado M, Niza MMRE, França N, Mestrinho L, Félix N, Dourado A. “ Biophysical validation of intra-abdominal pressure and transurethral method.” Vet Sci Med Diagn 2016, 5:3 <http://dx.doi.org/10.4172/2325-9590.1000196>

Apresentações sob a forma de poster:

Lopes AM, França N, Niza MMRE, Mestrinho L, Morgado M, Félix N, Dourado A. “Classic Physics for validation of intra-abdominal pressure and transurethral method.” III Jornadas de Engenharia Física do Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2 e 3 de Março de 2016

1. Introdução

A associação entre o aumento da Pressão Intra-Abdominal (PIA) e a consequente disfunção orgânica está descrita há mais de 150 anos, contudo apenas nas últimas duas décadas se verificou um interesse crescente na investigação das implicações patofisiológicas associadas à Hipertensão Abdominal (HA) e à Síndrome de Compartimentalização Abdominal (SCA) (Cheatham, 2009).

A PIA pode ser definida como um estado de pressão no interior da cavidade abdominal que por sua vez é determinado pelo índice de massa corporal, posição, actividade muscular da parede abdominal e pela respiração, dependendo directamente do volume dos órgãos, conteúdo da cavidade abdominal e capacidade de distensão da parede abdominal (Castellanos *et al.*, 2007).

Em cães, apesar da discrepância nos valores de referência mencionados por diversos autores, estima-se que a Pressão Intra-Abdominal normal varie entre os 0 e os 7,4 milímetros de mercúrio (mmHg) (Smith & Sande, 2012).

A crescente investigação na área da PIA verificada nas últimas duas décadas estabeleceu uma segura evidência de que a HA começa por causar ligeiros distúrbios locais de perfusão tecidual em casos menos graves, podendo progredir para a Síndrome de Compartimentalização Abdominal (SCA). Esta síndrome pode conduzir o doente a um quadro de disfunção orgânica grave e consequente falha multiorgânica que frequentemente culmina em morte (Cheatham, 2009).

Encontram-se descritas várias técnicas de medição da PIA, sendo que podemos classificá-las em métodos directos e métodos indirectos. Dadas as desvantagens da utilização dos métodos de medição directa, como os custos associados e a própria natureza invasiva do procedimento, a utilização de métodos indirectos sobrepõe-se em larga escala à utilização de métodos directos na prática clínica, sendo o método transvesical considerado a técnica de eleição (Malbrain, 2004).

O conceito de pressão é utilizado em diversas áreas da ciência como sendo uma medida escalar de avaliação da acção de uma ou mais forças distribuídas de forma uniforme numa determinada área de superfície (Ikai & Fukunaga, 1968).

Uma vez que o método transvesical de medição da PIA é baseado exclusivamente em colunas de fluidos, a sua validação, interpretação e explicação científica tem necessariamente que se basear em princípios físicos fundamentais da mecânica de fluidos.

1.1. Anatomofisiologia

O abdômen corresponde à região do tronco que contém a cavidade abdominal e que se estende a partir do diafragma até à pélvis (figura 1). Divide-se em três regiões distintas denominadas região abdominal cranial, região abdominal média e região abdominal caudal (Evans & De Lahunta, 2013).

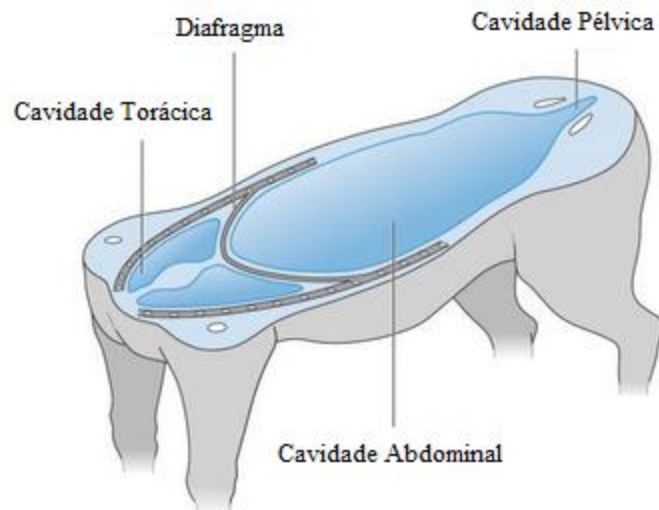


Figura 1 - Imagem ilustrativa de plano transverso de canídeo evidenciando as cavidades torácica, abdominal e pélvica. Adaptado de Aspinall, 2004.

A cavidade abdominal representa um espaço anatómico delimitado por uma parede de distensibilidade limitada que depende da rigidez do peritôneo, da distensibilidade dos elementos que a compõem e da relação dinâmica entre volume e pressão (Castellanos *et al.*, 2007).

Cranialmente, a cavidade abdominal é limitada pelo diafragma, sendo que aí se encontram três vias de acesso de elementos anatómicos entre a cavidade torácica e a cavidade abdominal:

- Hiato aórtico – ventral à coluna vertebral, entre os pilares diafragmáticos esquerdo e direito;
- Hiato esofágico – entre as porções ventrais do pilar diafragmático direito;
- Forâmen da veia cava – no centro tendinoso do diafragma. (Koning & Liebich, 2008).

Caudalmente, a cavidade abdominal continua-se com a cavidade pélvica. A linha de demarcação entre a cavidade pélvica e a cavidade abdominal é denominada de linha terminal e é formada dorsalmente pela base do sacro, lateralmente pelas linhas iliopectíneas e ventralmente pelas bordas craniais dos ossos púbicos (Sisson, 1986).

As paredes laterais são formadas pelos músculos abdominais oblíquos e transversos, pela fáscia abdominal, porções craniais dos ílios, músculos ilíacos e pelas costelas caudais (Sisson, 1986).

A parede ventral, também denominada de soalho, é composta pelos dois músculos rectos abdominais, aponevroses dos músculos oblíquo e transverso, fáscia abdominal e cartilagem xifoide (Sisson, 1986).

A parede dorsal da cavidade abdominal, também denominada de tecto é formada pelas vértebras lombares, músculos lombares e porção lombar do diafragma (Sisson, 1986).

A cavidade abdominal é considerada a maior cavidade do corpo, estando nela contidos órgãos digestivos, urinários, reprodutores, endócrinos, linfáticos e componentes do sistema circulatório (Aspinall & Capello, 2004).

Relativamente à bexiga do cão, esta encontra-se situada na cavidade abdominal, à excepção da região do colo da bexiga que se encontra na região pélvica quando distendida com urina, no entanto, quando esta se encontra vazia a sua localização é predominantemente pélvica (Ellenport, 1986).

O seu tamanho varia consideravelmente de acordo com o seu conteúdo em urina, podendo chegar a ultrapassar a linha do umbigo (Dyce *et al.*, 1999).

Quando completamente vazia, a bexiga apresenta um formato globoso, no entanto, conforme o seu grau de distensão, a bexiga pode apresentar uma forma irregular quando visualizada em estudos de contraste radiográfico devido à adaptação dos seus contornos aos órgãos adjacentes (Dyce *et al.*, 1999).

A bexiga funciona como um reservatório de urina até que esta possa ser eliminada (Dyce *et al.*, 1999).

A bexiga apresenta a capacidade de se distender de forma a acomodar uma grande quantidade de líquido, sendo que em humanos a capacidade máxima de acumulação é de aproximadamente um litro de urina (Seeley *et al.*, 2001).

O reflexo de micção é activado em resposta à distensão da parede vesical através da activação de receptores de estiramento que, através dos nervos pélvicos, conduzem potenciais de acção aferentes aos segmentos sagrados da medula espinhal, que por sua

vez, de forma reflexa, gera potenciais de acção que são conduzidos pelas fibras parassimpáticas eferentes dos nervos pélvicos em direcção à bexiga, onde consequentemente se inicia a contracção do músculo detrusor (figura 1) (Seeley *et al.*, 2001).

Deste modo, o reflexo de micção compreende um ciclo dividido em 3 fases:

1. Aumento rápido e progressivo da pressão intra-vesical;
2. Um período de pressão sustentada;
3. Retorno da bexiga a uma pressão basal (Guyton & Hall, 2006).

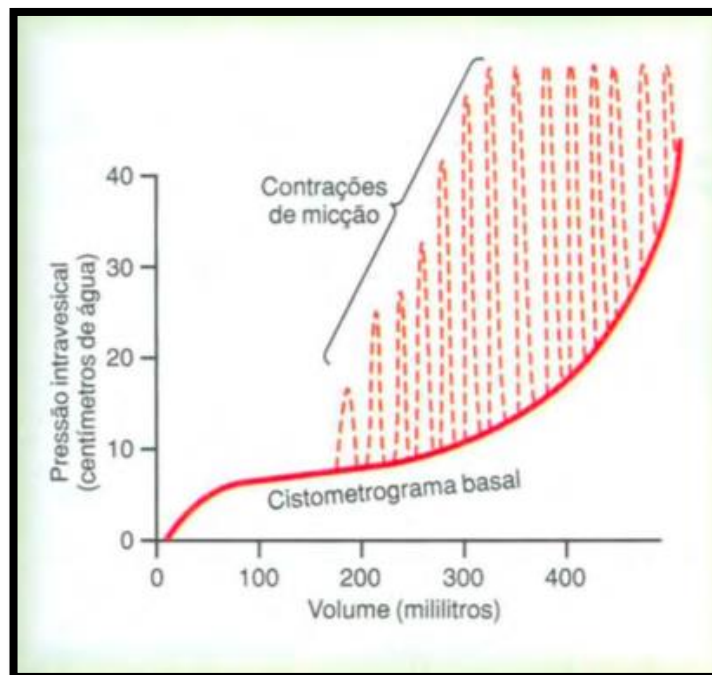


Figura 2 - Cistometrograma humano. Adaptado de Guyton & Hall, 1996.

Embora o reflexo de micção seja um fenómeno bem estudado e compreendido em humanos, não foram encontradas referências relativas à quantidade de urina armazenada na bexiga que inicia o reflexo de micção em animais.

A importância do conhecimento do fenómeno supra-referido no que diz respeito à aplicação do método transvesical para medição da PIA, prende-se com o facto de que a contracção do músculo detrusor iniciada pelo reflexo de micção tem o potencial de alterar os valores de PIA obtidos devido ao aumento da pressão intrínseca da bexiga, conduzindo assim a uma sobrestimação dos resultados (Chiumello *et al.*, 2007).

É importante também referir que para além do reflexo de micção, outras condições que possam causar excitabilidade da parede da bexiga são passíveis de activar a

contração do músculo detrusor, tal como se verifica em doentes com infecções do trato urinário (Seeley *et al.*, 2001).

1.2. Pressão intra-abdominal, Hipertensão abdominal e Síndrome de compartimentalização abdominal

A PIA pode ser definida como um estado de pressão no interior da cavidade abdominal que por sua vez é determinado pelo índice de massa corporal, posição, actividade muscular da parede abdominal e pela respiração. Depende directamente do volume dos órgãos, conteúdo da cavidade abdominal e capacidade de distensão da parede (Balogh *et al.*, 2007; Castellanos *et al.*, 2007).

Em cães, apesar da discrepância nos valores de referência mencionados por diversos autores, estima-se que a PIA normal varie entre os 0 e os 7,4 mmHg (Smith & Sande, 2012).

Joubert e colaboradores (2007) descrevem a PIA normal no cão como estando compreendida entre 0 mmHg e 3,5 mmHg, no entanto relatam aumentos até aos 11,25 mmHg no pós cirúrgico de cadelas submetidas a ovariectomia (Joubert *et al.*, 2007).

Em Medicina Humana, define-se como normal a PIA entre os 0 e os 5 mmHg em adultos saudáveis, no entanto pode aumentar drasticamente por curto períodos de tempo de acordo com vários factores fisiológicos como a fase inspiratória da respiração, tosse, espirros ou até mesmo durante a elevação no tom de voz, retomando novamente a níveis basais sem qualquer consequência para o organismo (Lee, 2012).

Estudos realizados em unidades de cuidados intensivos de medicina humana revelam que a PIA em doentes com trauma abdominal ou doentes em choque submetidas a terapia de ressuscitação volérmica é tipicamente mais elevada, variando entre os 12 mmHg e os 16 mmHg. (Balogh *et al.*, 2007)

O aumento da PIA pode dar origem a duas condições de grande relevo: (i) Hipertensão Intra-Abdominal e (ii) Síndrome de Compartimentalização Abdominal (Aspesi *et al.*, 2002)

Apesar dos efeitos adversos do aumento da PIA nos sistemas renal, cardíaco e pulmonar estarem descrito desde o início do século XX, apenas nos anos 80 se verificou um interesse crescente no estudo das condições patológicas relacionadas com o aumento da PIA. Em 1984 foi introduzido o conceito de Síndrome de Compartimentalização

Abdominal de forma a descrever uma condição caracterizada por HA, distensão abdominal e disfunção orgânica associada (Joubert *et al.*, 2007).

Actualmente, de acordo com a World Society of the Abdominal Compartment Syndrome (WSACS), a HA é definida como um estado prolongado de PIA superior a 12mmHg, podendo ainda ser classificada em quatro graus:

- Grau I – PIA entre 12 a 15 mmHg;
- Grau II – PIA entre 16 a 20 mmHg;
- Grau III – PIA entre 21 a 25 mmHg;
- Grau IV – PIA > 25 mmHg (Malbrain *et al.*, 2006).

Na ausência de diagnóstico e intervenção apropriada, a HA pode progredir para a SCA, condição esta que se encontra intimamente relacionada com alterações fisiopatológicas causadas pela deterioração da perfusão e microcirculação orgânica. (Leng *et al.*, 2014)

Relativamente à SCA, a WSACS define-a como uma condição em que se verifica um aumento da PIA superior a 20 mmHg, de forma prolongada, com ou sem pressão de perfusão abdominal (PPA) inferior a 60 mmHg e obrigatoriamente associado ao desenvolvimento de disfunção ou falha de pelo menos um órgão (Malbrain *et al.*, 2006; Ejike *et al.*, 2010).

Outros autores definem a SCA como uma combinação dos seguintes factores:

- PIA >20 mmHg;
- Disfunção orgânica progressiva;
- Débito urinário < 0,5 ml/kg/hora;
- Ratio da pressão parcial de oxigénio arterial pela fracção inspirada de oxigénio (PaO₂//FiO₂) < 2;
- Pico de pressão nas vias aéreas > 45cmH₂O;
- Índice cardíaco <3L/min/m² após ressuscitação;
- Melhoria do quadro clínico após descompressão (Balogh *et al.*, 2007).

Originalmente a SCA encontrava-se associada a doentes cirúrgicos, principalmente em casos de trauma abdominal e ruptura de aneurisma da aorta abdominal, no entanto, actualmente estão descritas uma grande variedade de condições, tanto médicas como cirúrgicas, passíveis de originar um quadro de SCA (Joubert *et al.*, 2007)

Embora a SCA apresente uma incidência relativamente baixa (0,9% - 8%), o diagnóstico precoce é fulcral para o sucesso terapêutico, dada a gravidade da condição e

a elevada taxa de mortalidade que pode variar entre os 50% e os 80% dependendo da população em estudo (Ejike *et al.*, 2010).

A SCA pode ser classificada como primária ou secundária (Balogh *et al.*, 2007).

A SCA primária é definida como uma condição associada a doença ou lesão primária na região abdomino-pélvica que requer frequentemente intervenção cirúrgica imediata ou técnicas de radiologia intervencional. Doentes que são diagnosticados com lesão de órgãos intra-abdominais não cirúrgicos mas que posteriormente desenvolvem SCA são incluídos neste grupo (Balogh *et al.*, 2007).

A SCA secundária é definida como condição associada a doença ou lesão primária externa à região abdomino-pélvica e está frequentemente associada a doentes que deram entrada na unidade de cuidados intensivos (UCI) em estado de choque e que foram sujeitos a fluidoterapia de ressuscitação volémica massiva. Uma vez que nestes casos não se verifica nada que chame a atenção do clínico para a cavidade abdominal, o diagnóstico da SCA secundária é geralmente efectuado de forma tardia (Balogh *et al.*, 2007).

Dada a gravidade das consequências associadas a aumentos prolongados da PIA, idealmente, todos os doentes que possuam um ou mais factores de risco para o desenvolvimento de HA e SCA devem ser incluídos num programa de monitorização apertada da PIA. Os principais factores de risco associados ao desenvolvimento de HA ou SCA podem ser divididos em quatro categorias: (Tabela 1)

- Diminuição da complacência da parede abdominal;
- Aumento do volume do conteúdo abdominal;
- Acumulação de fluidos ou gás;
- Extravazamento capilar e ressuscitação volémica massiva (Bersani *et al.*, 2009).

Tabela 1 - Factores de risco para o desenvolvimento de HA e SCA. Adaptado de Bersani *et al.* (2009).

Diminuição da complacência da parede abdominal	Ventilação mecânica Índice de massa corporal elevado Cirurgia abdominal Correcção de hérnias Queimaduras
Aumento do volume do conteúdo abdominal	Gastroparesia Dilatação gástrica Íleo Volvo Obstrução intestinal Tumor intra-abdominal ou retroperitoneal Hematoma da parede abdominal ou do espaço retroperitoneal
Acumulação de fluidos ou gás no interior da cavidade abdominal	Disfunção hepática ou cardíaca com ascite associada Peritonite Hemoperitoneu Pneumoperitoneu Diálise peritoneal Laparoscopia
Extravazamento capilar e ressuscitação volémica massiva	Acidose Hipotermia Coagulopatia Sepsis Choque séptico Ressuscitação volémica massiva

O aumento da PIA pode desenvolver-se de forma crónica, como por exemplo durante a gravidez ou em doentes morbidamente obesos, ou então de forma aguda, como por exemplo em caso de ruptura de aneurisma da aorta ou traumatismo abdominal grave (Varela *et al.*, 2009).

O incremento da PIA, quando verificado de forma crónica, apesar de não provocar efeitos tão deletérios para o organismo quando comparado com os incrementos agudos, a elevação crónica da PIA está associada a uma série de co-morbilidades em doentes humanos, tais como incontinência urinária de esforço, refluxo gastro-esofágico ou hipertensão sistémica (Varela *et al.*, 2009).

No caso do aumento agudo da PIA, os efeitos nefastos para o organismo são dramáticos, dependendo da gravidade do aumento, sendo que até à data foi demonstrado que a HA afecta praticamente todos os sistemas de órgãos, à excepção das glândulas adrenais (Rezende-Neto *et al.*, 2003; Varela *et al.*, 2009).

Os efeitos da HA nos sistemas de órgãos encontram-se actualmente bem documentados, no entanto o efeito de elevações mais discretas da PIA permanecem ainda pouco esclarecidos. Como tal, Leng e colaboradores (2014) realizaram um estudo, tendo como modelo uma população de roedores, no qual demonstraram os efeitos deletérios do aumento da PIA a nível da permeabilidade intestinal e desenvolvimento de lesão

oxidativa a pressões intra-abdominais na ordem dos 0, 4, 8, 12, 16 e 20 mmHg (Leng *et al.*, 2014).

1.2.1. Alterações fisiopatológicas

Os efeitos adversos da HA sobre os sistemas orgânicos foram inicialmente reconhecidos através da associação entre o aumento da PIA e o desenvolvimento de um estado de oligúria, no entanto, a associação entre HA e alterações cardíacas, renais e pulmonares secundárias ao aumento da PIA só foram descritas na 1ª metade do século XX (Ece *et al.*, 2015).

As implicações fisiopatológicas da HA reflectem-se não apenas nos órgãos contidos na cavidade abdominal como também, de forma directa ou indirecta, nos sistemas de órgãos externos à mesma (figura 3) (Cheatham, 2009).

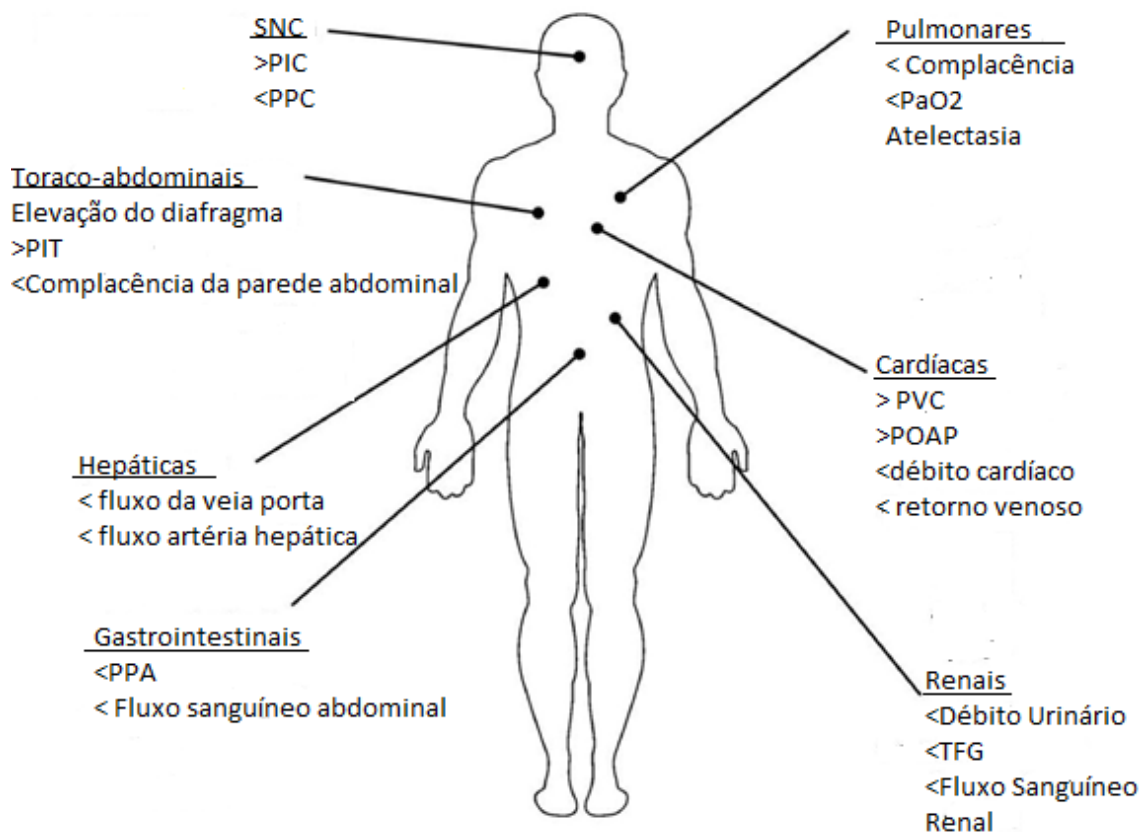


Figura 3 - Implicações patofisiológicas da HA. Adaptado de Cheatham (2009).

1.2.1.1. Alterações hemodinâmicas

A HA pode resultar em comprometimento hemodinâmico devido a alterações na pré-carga, pós-carga e pressão intratorácica (PIT) de seguinte forma:

- Diminuição do débito cardíaco como consequência do aumento da pós-carga causada pela compressão da vasculatura das estruturas abdominais:
- Diminuição do retorno venoso ao coração devida à compressão da veia cava caudal e veia porta, que por sua vez agrava a diminuição do débito cardíaco;
- O aumento da PIT, devida ao deslocamento cranial do diafragma, pode levar a compressão cardíaca e consequente diminuição do enchimento ventricular diastólico (Joubert *et al.*, 2007).

Em casos em que se verifique HA tanto a pressão venosa central (PVC) como a pressão de oclusão da artéria pulmonar (POAP) encontram-se falsamente aumentadas, condicionando deste modo a sua aplicação na determinação do estado do doente no que diz respeito à avaliação do volume intravascular (Bandic Pavlovic & Majeric Kogler, 2006). Alguns autores verificaram que o volume do ventrículo direito no final da diástole (VVDFD) e o índice global no final da diástole (IGFD) representam um indicador mais fidedigno do estado volémico do doente, uma vez que estes dois parâmetros não são influenciados pelo aumento da pressão intratorácica (Bandic Pavlovic & Majeric Kogler, 2006).

A elevação da PIA reduz os fluxos da artéria hepática e veia porta, comprometendo uma adequada perfusão hepática. Observa-se ainda diminuição da perfusão arterial do baço, estômago, pâncreas e intestinos e ainda redução do fluxo linfático no ducto torácico (Andrade, 1998).

A Tabela 2 mostra as principais alterações a nível cardiovascular e hemodinâmico verificadas em doentes com HA.

Tabela 2 - Alterações causadas pelo aumento da PIA. Adaptado de Andrade (1998).

Parâmetro	Aumentado	Diminuído	Sem alterações
Pressão Arterial Média			X
Frequência cardíaca	X		
Pressão Capilar Pulmonar	X		
Pico de Pressão nas vias aéreas	X		
Pressão Venosa Central	X		
Pressão na Veia Cava Inferior	X		
Pressão na Veia Renal	X		
Resistência Vascular Sistémica	X		
Débito Cardíaco		X	
Retorno Venoso		X	
Fluxo Sanguíneo Visceral		X	
Fluxo Sanguíneo Renal		X	
Taxa de Filtração Glomerular		X	
Pressão Intra-craniana	X		
Pressão de Perfusão Cerebral		X	

1.2.1.2. Alterações respiratórias

Disfunção respiratória representa uma consequência directa do aumento da PIA devido ao deslocamento cranial do diafragma, levando assim a um aumento da pressão intra torácica e consequente diminuição do volume residual funcional (VRF), volume pulmonar e em casos mais graves podendo conduzir a atelectasia (Joubert *et al.*, 2007).

O comprometimentos da função respiratória secundária ao aumento da PIA gera um quadro de incongruência entre a ventilação e a perfusão comprometendo a adequada troca gasosa, conduzindo frequentemente o doente a um estado de hipoxemia, hipercapnia e acidose (Bandic Pavlovic & Majeric Kogler, 2006).

É conhecido que doentes submetidos a cirurgia abdominal apresentam um risco acrescido de desenvolvimento de complicações respiratórias no pós-cirúrgico, prendendo-se este facto essencialmente à redução do volume expiratório forçado num segundo (VEF1), do VRF e da disfunção dos músculos respiratórios verificada predominantemente no pós-cirúrgico de doentes intervencionados na região abdominal cranial (de Cleva *et al.*, 2014).

Diversos estudos relacionam quadros clínicos de HA com o desenvolvimento da síndrome de insuficiência respiratória aguda (SIRA) (Bandic Pavlovic & Majeric Kogler, 2006).

1.2.1.3. Alterações renais

Insuficiência renal aguda (IRA) é uma complicação frequentemente observada em doentes com HA, sendo que a diminuição do débito urinário representa um dos primeiros sinais clínicos verificados em doentes com aumento da PIA (Harman *et al.*, 1982; Bandic Pavlovic & Majeric Kogler, 2006).

Em medicina humana é frequente observar quadros de oligúria em doentes com aumento da PIA na ordem dos 15 a 20 mmHg. Esta combinação entre o aumento da PIA e o desenvolvimento de um quadro oligúrico encontra-se intimamente ligado com 4 fenómenos associados à HA.

- Diminuição do débito cardíaco;
- Compressão da vasculatura e parênquima renal;
- Diminuição do fluxo sanguíneo renal;
- Aumento da resistência vascular renal (Joubert *et al.*, 2007).

Em cães, verifica-se diminuição da taxa de filtração glomerular (TFG) em doentes com a PIA entre os 9,75 e os 15 mmHg e desenvolvimento de um quadro oligo-anúrico em doentes com a PIA superior a 18,75 mmHg (Joubert *et al.*, 2007).

Num estudo realizado por Harman e colaboradores (1982) verificaram que uma PIA de 20 mmHg acarretava uma diminuição na taxa de filtração glomerular (TFG) entre os 21 e os 23% em relação à TFG basal. Verificaram ainda que a resistência vascular renal é cerca de 20 vezes superior à resistência vascular periférica, o que sugere que o factor com maior impacto na diminuição da função renal em doentes com HA é a compressão directa do parênquima renal (Harman *et al.*, 1982).

A influência da compressão ureteral no desenvolvimento da disfunção renal aparenta ter pouca relevância na patofisiologia da IRA secundária a HA (Harman *et al.*, 1982; Joubert *et al.*, 2007).

1.2.1.4. Alterações gastro-intestinais

Entre os sistemas de órgãos frequentemente afectados em casos de HA, o intestino aparenta ser o mais susceptível (Joubert *et al.*, 2007; Leng *et al.*, 2014).

Em humanos, o decréscimo significativo no fluxo sanguíneo mesentérico em condições de HA é um fenómeno bem documentado e está intimamente ligado ao desenvolvimento de quadro de isquémia intestinal e consequente resposta inflamatória (Bandic Pavlovic & Majeric Kogler, 2006).

O aumento da permeabilidade intestinal e a translocação bacteriana são consideradas a base patofisiológica para o desenvolvimento de endotoxémia enterogénica secundária a HA e consequente disfunção multiorgânica verificada frequentemente em doentes com SCA (Leng *et al.*, 2014).

A isquémia intestinal causada pelo comprometimento compressivo da vasculatura intestinal, associado à diminuição do débito cardíaco e retorno venoso, tem como consequência o aumento da permeabilidade intestinal, translocação bacteriana e desenvolvimento da síndrome de resposta inflamatória sistémica (SRIS). Os eventos referidos anteriormente conduzem a um incremento na permeabilidade dos capilares viscerais que por sua vez agrava o edema visceral e consequentemente aumenta a pressão abdominal tornando-se num ciclo vicioso (Leng *et al.*, 2014).

Leng e colaboradores (2014) concluíram ainda que a exposição aguda a ligeiros aumentos da PIA podem originar, ainda que de forma subclínica, alterações a nível da estrutura histológica dos órgãos do sistema gastrointestinal, permeabilidade intestinal e ainda desenvolvimento de lesão oxidativa.

1.2.1.5. Alterações neurológicas

Tanto a pressão intra-craniana (PIC) como a pressão de perfusão cerebral (PPC) encontram-se frequentemente comprometidas como consequência de HA.

Os principais mecanismos propostos para as alterações do sistema nervoso central (SNC) como consequência de HA incluem a diminuição do fluxo sanguíneo venoso do plexo lombar, conduzindo desta forma a um aumento da pressão do Líquido Cefalorraquidiano (LCR), o aumento da pressão parcial de dióxido de carbono que resulta num aumento do fluxo sanguíneo cerebral e por último a diminuição do retorno venoso cerebral devido ao aumento da pressão intra-torácica (Cheatham, 2009)

1.3. Métodos de medição da PIA

A PIA pode ser mensurada de forma directa, através da introdução de um cateter intra-peritoneal, ou de forma indirecta, por exemplo, através de um cateter vesical, sonda

nasogástrica ou cateterização da veia cava caudal (Bandic Pavlovic & Majeric Kogler, 2006).

Iberti et al demonstraram que a PIA determinada através da utilização de um método directo, é praticamente igual aquela determinada pelo método indirecto transvesical em humanos, concluindo deste modo que a determinação da PIA pelo método transvesical representa um método preciso e simples de diagnóstico de HA (Iberti *et al.*, 1989).

Uma vez que a HA e a SCA representam condições relacionadas com taxas de morbilidade e mortalidade significativas, a monitorização da PIA é essencial para o diagnóstico precoce e tratamento. Como tal, é de extrema importância que a PIA seja um parâmetro a monitorizar em qualquer doente que apresente um ou mais factores de risco para o desenvolvimento das condições supra-referidas (Malbrain *et al.*, 2006).

Apesar de ainda se gerar alguma controvérsia em torno deste tema, o método transvesical, descrito por Krohn e colaboradores (1984) e posteriormente modificado é neste momento considerado o método de eleição para a determinação da PIA devido à precisão dos resultados, facilidade na execução da técnica, baixo custo e risco reduzido para o doente (Malbrain, 2004; Bandic Pavlovic & Majeric Kogler, 2006).

1.3.1. Métodos directos

Apesar da maior precisão dos valores da PIA obtida com recurso à utilização de métodos de medição directa, este tipo de técnicas não são frequentemente utilizadas devido ao seu carácter invasivo, pouco prático e pelo facto de aumentar o risco de infecção (Ece *et al.*, 2015).

Um exemplo de monitorização directa da PIA verifica-se durante a execução de procedimentos laparoscópicos, sendo que neste tipo de procedimentos um insuflador electrónico automático associado a um sensor de pressão é utilizado, permitindo desta forma monitorização contínua da PIA ao longo do procedimento (Wittmann & Iskander, 2000).

A utilização de métodos directos de medição da PIA encontra-se ainda descrita na literatura em estudos experimentais, nos quais para além da monitorização directa da PIA, é ainda associado um balão insuflável introduzido no interior da cavidade abdominal ou a insuflação directa do abdómen com azoto gasoso de modo a poder criar

situações de HA controlada, permitindo deste modo estudar as consequências da HA ao nível dos diversos sistemas orgânicos (Caldwell & Ricotta, 1987; Leng *et al.*, 2014).

Os métodos directos, de um modo geral, consistem na introdução intra-peritoneal de um cateter conectado a um transdutor de pressão ou um manómetro salino. Encontram-se actualmente disponíveis no mercado uma grande variedade de dispositivos direccionados para a medição directa da PIA, tais como, cateteres piezoresistivos, monitores de pressão intra-compartimental de Stryker, entre outros (Smith & Sande, 2012).

Encontra-se ainda recentemente descrito o aproveitamento de sistemas de drenagem abdominal como acesso para monitorização da PIA em doentes pós-cirúrgicos humanos (Smith & Sande, 2012).

1.3.2. Métodos indirectos

Apesar de se saber que os métodos de mensuração da PIA de forma directa fornecem valores mais precisos, a sua aplicabilidade em contexto hospitalar é reduzida uma vez que envolvem dispositivos de custo elevado, são técnicas invasivas que envolvem a introdução de corpos estranhos no interior da cavidade abdominal, e acarretam um maior risco para o doente. Deste modo a medição da PIA em doentes é na maior parte das vezes realizada com recurso aos métodos de medição indirecta que, para além de terem um custo reduzido quando comparados com os métodos directos, são de execução mais simples, menos invasivos e envolvem menor risco para os doentes.

A maioria dos métodos indirectos são basicamente compostos por sistemas de vasos comunicantes conectados a colunas métricas (manometria) ou a transdutores de pressão.

Alguns exemplos de métodos de medição da PIA de forma indirecta são:

1. Método transvesical

- Originalmente descrito por Krohn e colaboradores em 1984, o método original de medição da PIA pela via transvesical apresentava algumas falhas, tal como a necessidade de se comprometer a esterilidade do sistema, e a impossibilidade de realização de medições seriadas utilizando o mesmo sistema. Deste modo a técnica original descrita por Krohn foi modificada inicialmente por Iberti e colaboradores (1987) e finalmente por Cheatham e Safcsak (1998) que descreveram o método utilizado actualmente, que para além de não necessitar do comprometimento da esterilidade do

sistema permite ainda a realização de mensurações repetidas ao longo do tempo utilizando sempre o mesmo sistema (IBERTI *et al.*, 1987; Cheatham & Safcsak, 1998; Johna *et al.*, 1999; Malbrain, 2004)

- A técnica descrita por Cheatham e Safcsak tem por base um sistema de vasos comunicantes em que o cateter urinário está conectado por um sistema de torneiras de 3 vias ao recipiente de recolha de urina, a uma garrafa de solução salina fisiológica, a uma seringa e a um transdutor de pressão ou uma coluna de água graduada (Figura 4) (Malbrain, 2004).

- É importante salientar que no método transvesical, a instilação de fluído à temperatura ambiente tem o potencial de aumentar no imediato a leitura dos valores da PIA, provavelmente devido à contração reflexa do músculo detrusor devido à mudança súbita de temperatura no interior da bexiga e como tal, o registo dos valores da PIA obtidos por esta técnica só deve ser realizado cerca de 30 a 60 segundos após a instilação da solução salina de modo a permitir o relaxamento do músculo detrusor (Malbrain *et al.*, 2006; Chiumello *et al.*, 2007).

- Em medicina humana, o volume de solução salina fisiológica instilada na bexiga encontra-se estabelecido em 25 ml, no entanto, em medicina veterinária devido à heterogeneidade dos doentes no que diz respeito ao tamanho da bexiga, o volume a instilar encontra-se compreendido entre 0,5 a 1 ml/kg (Drellich, 2000; Malbrain *et al.*, 2006).

- Actualmente o método transvesical é considerado o método de eleição para a medição da PIA (Malbrain *et al.*, 2006).

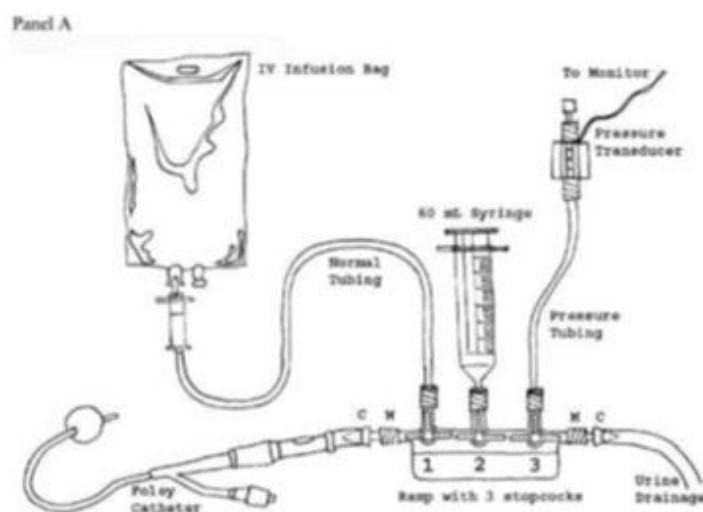


Figura 4 - Representação esquemática do sistema utilizado no método transvesical. Adaptado de Malbrain (2004).

2. Manometria intra-gástrica

- A pressão intragástrica pode ser medida através da introdução de uma sonda nasogástrica ou tubo de gastrostomia, sendo a técnica utilizada idêntica aquela utilizada no método transvesical (Malbrain, 2004)
- Apesar de não ser considerada a técnica de eleição para medição da PIA, em medicina humana é frequentemente utilizada em doentes com alterações vesicais, tais como, ruptura de bexiga, fracturas pélvicas ou bexiga neurogénica (Malbrain, 2004; Smith & Sande, 2012).

3. Pressão rectal

- A pressão rectal é utilizada rotineiramente em medicina humana durante a realização de estudos urodinâmicos de determinação da pressão transmural do músculo detrusor.
- A técnica consiste na introdução de um cateter rectal conectado a uma coluna métrica. Durante a realização desta técnica procede-se à instilação contínua de solução salina fisiológica a uma taxa aproximada de 1 mililitro por minuto de modo a manter o volume intra-rectal necessário à medição da PIA.
- Algumas das desvantagens importantes desta técnica co-nsistem principalmente na impossibilidade de ser utilizada em doentes com desordens da função gasto-intestinal e pelo facto de que o cateter é facilmente obstruído por resíduos de matéria fecal .(Malbrain, 2004)

4. Pressão da veia cava caudal

- A medição pressão da veia cava caudal é realizada de forma idêntica à medição da pressão venosa central.
- A técnica consiste na introdução de um cateter venoso central através da veia femoral esquerda ou direita, progredindo posteriormente até à região abdominal da veia cava caudal. A confirmação do bom posicionamento do cateter pode ser realizada através de radiografia abdominal.
- Semelhante às técnicas anteriormente descritas, a PIA é obtida através da conexão do cateter a uma coluna métrica ou a um transdutor de pressão electrónico.

- As principais desvantagens desta técnica prendem-se com o facto de aumentarem o risco de desenvolvimento de infecção relacionada com a colocação do cateter.
- As vantagens associadas a esta técnica relacionam-se com o facto de se poder obter uma monitorização contínua da PIA e por não interferir com o débito urinário, como se verifica no método transvesical. (Malbrain, 2004)

5. Medição do perímetro abdominal

- A medição do perímetro abdominal e palpação abdominal são duas técnicas utilizadas frequentemente para avaliação subjectiva da PIA mas que se têm revelado bastante imprecisas.
- Verificam-se diversas condições em que um aumento do perímetro abdominal não é acompanhado necessariamente de um aumento da PIA, nomeadamente em situações crónicas em que existe uma adaptação da espaço abdominal ao aumento do volume interno, tal como se verifica durante a gestação, cirrose, obesidade e alguns tumores.
- As técnicas de palpação abdominal também se verificam bastante imprecisas, tendo alguns estudos indicado que esta técnica apresenta uma sensibilidade de apenas 40% a 60% (Kirkpatrick *et al.*, 2000; Sugrue *et al.*, 2002).

Estima-se que actualmente 90% das medições da PIA a nível mundial são realizadas através do método transvesical, no entanto, independentemente da técnica utilizada, alguns princípios fundamentais são transversais a todas as técnicas, nomeadamente:

- A PIA deve ser sempre descrita em milímetros de mercúrio (mmHg);
- A obtenção dos valores da PIA deve ser sempre obtida no final da expiração;
- Durante a medição da PIA é fundamental assegurar que não se verifica contracção da musculatura abdominal;
- Os dispositivos de medição, sejam eles transdutores de pressão ou colunas de água, devem ter o 0 calibrado ao nível da crista ilíaca e da linha axilar média em humanos e ao nível da sínfise púbica em animais
- Nas técnicas que utilizam instilação de fluído, como por exemplo no método transvesical, a quantidade de fluído instilada deve seguir rigorosamente o

protocolo adequado à espécie em estudo, bem como a faixa etária (Drellich, 2000; Malbrain *et al.*, 2006; Malbrain & Deeren, 2006; Yi *et al.*, 2012).

Dado que as taxas de morbidade e mortalidade associadas à HA e SCA são relativamente significativas e dado que o factor risco/benefício da monitorização da PIA tende a ser favorável, a WSACS recomenda que em doentes possuidores de um ou mais factores de risco de desenvolvimento de HA, a PIA deve ser medida de modo a obter um valor basal a partir do qual o clínico pode guiar a abordagem mais adequada ao caso em questão (Malbrain *et al.*, 2006).

A WSACS recomenda ainda que em caso de detecção de HA, a PIA deve ser mensurada de forma seriada de modo a verificar a evolução do estado clínico do doente e adequar o tratamento (Malbrain *et al.*, 2006).

1.3.3. Variáveis que influenciam as medições.

Embora o método transvesical seja classificado pela WSACS como o método indirecto de medição da PIA de eleição, a sua reprodutibilidade ainda se encontra rodeado por controvérsia no seio da comunidade científica. Este facto prende-se sobretudo com a diversidade de variáveis que podem influenciar as medições (Malbrain, 2004)

As principais variáveis descritas na literatura que têm influência na medição da PIA são:

- Contração da musculatura abdominal;
 - A contração da musculatura abdominal mimetiza a aplicação externa de uma força na cavidade abdominal, conduzindo assim a um aumento da PIA. (Davis & Marras, 2000).
- Contração do músculo detrusor;
 - A contração do músculo detrusor representa uma variável de extrema importância na medição da PIA pelo método transvesical, uma vez que pode levar a uma sobrestimação da mesma;
 - A contração do músculo detrusor durante a medição da PIA pode ser causada pela instilação da solução salina fisiológica à temperatura ambiente e como tal, o registo da PIA obtido por este método só deve ser realizado entre 30 a 60 segundos após a instilação de modo a permitir o relaxamento do músculo detrusor (Chiumello *et al.*, 2007).

- **Respiração;**
 - Assumindo a ausência de movimentos respiratórios a PIA seria relativamente constante, no entanto verifica-se que qualquer condição fisiológica ou patológica com a capacidade de alterar o volume e a complacência abdominal apresenta um determinado efeito ao nível da PIA. Assim, a interacção entre o volume abdominal e a complacência abdominal durante a respiração causa alterações significativas na PIA, principalmente em doentes submetidos a ventilação mecânica de pressão positiva ou a pressão positiva no final da expiração (Ahmadi-Noorbakhsh & Malbrain, 2012);
 - Dada a influência exercida pela respiração na PIA a WSACS recomenda que a PIA seja medida na fase final da expiração (Malbrain *et al.*, 2006).
- **Posicionamento;**
 - Em medicina humana a WSACS recomenda que a medição da PIA seja efectuada em decúbito dorsal, no entanto, verifica-se que em doentes em cuidados intensivos sujeitos a ventilação assistida o risco de desenvolvimento de pneumonia associada ao ventilador aumenta quando estes não se encontram posicionados com uma elevação do tronco superior a 30° (Malbrain *et al.*, 2006; Yi *et al.*, 2012).
 - O posicionamento do doente com uma elevação do tronco superior a 30° pode ter como consequência um aumento da PIA, e consequentemente diminuição da pressão de perfusão abdominal (Yi *et al.*, 2012).
- **Nivelamento do manómetro;**
 - Para a correcta mensuração da PIA, principalmente utilizando técnicas de manometria com recurso a sistema de colunas de fluidos, a determinação do ponto 0 da coluna de água é de extrema importância;
 - Em medicina humano o ponto 0 da coluna encontra-se estabelecido na linha axilar média (Malbrain *et al.*, 2006);
 - Em medicina veterinária o ponto 0 da coluna de água deve ser alinhado ao nível da sínfise púbica (Drellich, 2000).

- Volume instilado na bexiga.
 - Apesar da WSACS recomendar a instilação de apenas 25 ml de solução salina fisiológica na bexiga durante a medição da PIA pelo método transvesical, em medicina humana verifica-se na literatura um intervalo de valores recomendados por diversos autores bastante heterogéneos, variando desde os 50 ml aos 300ml (Malbrain *et al.*, 2006; Malbrain & Deeren, 2006);
 - Em canídeos o volume de solução salina a instilar na bexiga para a aplicação do método transvesical, encontra-se descrito na literatura como 0,5 – 1 ml/kg (Drellich, 2000; Malbrain & Deeren, 2006);
 - A importância da determinação de um volume de instilação padronizado prende-se com o facto de que uma instilação excessiva de solução salina fisiológica pode levar a um incremento na pressão intrínseca da bexiga conduzindo assim a uma sobrestimação da PIA (Malbrain & Deeren, 2006).

1.4. Tratamento

O manio de doentes com HA ou SCA baseia-se em quatro princípios fundamentais:

- Procedimentos específicos para a redução da PIA;
- Medidas de suporte intensivo para doentes críticos;
- Cirurgia descompressiva;
- Tratamento de complicações pós cirúrgicas (Bersani *et al.*, 2009).

O tratamento de HA ou SCA pode passar por procedimentos médicos ou cirúrgicos.

O tratamento médico de HA ou SCA é limitado e basicamente consiste em:

- Manter pressão de perfusão abdominal superior a 50 mmHg;
- Optimizar a ventilação e aporte de oxigénio;
- Tratar defeitos de coagulação;
- Manutenção adequada da volémia;
- Paracentése;
- Aspiração gástrica e rectal, enemas e terapia pro-cinética;
- Sedação e relaxamento muscular;

- Técnicas de aplicação de pressão negativa extra-abdominal (Castellanos et al., 2007).

A decisão de realização de laparotomia descompressiva deve ser bem ponderada e geralmente está indicada em situações em que o tratamento médico seja infrutífero, a PIA se encontre superior a 20mmHg, situações em que se verifique dificuldade em manter a perfusão de perfusão abdominal acima de 50 mmHg e quando há dados clínicos que corroboram com a entrada do doente num quadro de disfunção multiorgânica (Castellanos *et al.*, 2007).

1.5. Biofísica envolvida no método transvesical

Uma vez que o método transvesical de medição da PIA tem por base um sistema de colunas de fluidos, a sua execução, validação e interpretação devem ser baseadas nos princípios físicos da mecânica de fluidos.

O método transvesical baseia-se no princípio físico do sistema de vasos comunicantes, que por sua vez permitem a comunicação entre o interior da bexiga e uma coluna de fluidos dividida metricamente em centímetros de água (cmH₂O) (Malbrain, 2004).

O fluido contido na bexiga encontra-se abrangido pelo princípio de Pascal, que estabelece que qualquer alteração de pressão num fluido em equilíbrio é transmitido a todos os pontos do fluido bem como às paredes do recipiente que o contém (White, 1999; Malbrain, 2004).

De acordo como princípio supra-referido, é possível afirmar que qualquer alteração de pressão na cavidade abdominal é transmitida ao fluido contido a bexiga, bem como ao sistema de vasos que estabelecem a comunicação entre a bexiga e a coluna de água.

De acordo com a lei fundamental da hidrostática, quando se verifica equilíbrio hidrostático, a pressão de um líquido (PA) é igual à soma da pressão atmosférica (P₀) com o produto da densidade do líquido (ρ), aceleração gravitacional (g) e altura do líquido (h) (White, 1999). No entanto, no que diz respeito ao método transvesical de medição da pressão intra-abdominal, a bexiga não pode ser considerada um recipiente estático uma vez que está sujeita à pressão externa dos músculos, do conteúdo peritoneal e inclusivamente pela pressão exercida pelos ossos.

$$PA=P_0 + \rho gh$$

O conceito de Pressão é utilizado em diversas áreas da ciência como sendo uma medida escalar de avaliação da acção de uma ou mais forças (F) distribuídas de forma uniforme numa determinada área de superfície (ΔS) (Ikai & Fukunaga, 1968).

$$P = \frac{F}{\Delta S}$$

De acordo com a segunda lei de Newton, a força (F) corresponde ao produto da massa (m) com a aceleração gravitacional (g) (Antippa, 2003).

$$F = m \cdot g$$

Para a determinação de todas as forças exercidas na cavidade abdominal de modo a calcular a PIA, foi utilizado o valor de pressão atmosférica ao nível médio da água do mar, que corresponde a 101325 Pa, enquanto que o valor da aceleração gravitacional utilizado corresponde a 9,80665 m/s² (White, 1999; Antippa, 2003).

1.6 Objectivos

Dada a controvérsia que actualmente ainda se gera em torno do método transvesical de medição da PIA, verifica-se a necessidade de realização de estudos que avaliem a fiabilidade do método.

Uma vez que o método transvesical de medição da PIA é baseado exclusivamente em colunas de fluidos, a sua validação, interpretação e explicação científica tem necessariamente que se basear em princípios físicos fundamentais da mecânica de fluidos.

O objectivo deste estudo é demonstrar a validade da técnica bem como a interpretação dos resultados através de formulação biofísica baseada na sobreposição de princípios físicos da mecânica de fluidos.

2. Material e Métodos

2.1. População estudada

A medição da PIA foi realizada numa população de 29 cadáveres de canídeos admitidos para realização de necropsia pelo serviço de patologia da Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias.

A principal razão deste estudo assentar num modelo baseado em cadáveres prende-se com o facto de reduzir ao máximo as variáveis descritas na literatura como passíveis de influenciar a medição da PIA, tais como a respiração, a contracção da musculatura abdominal ou a contracção involuntária do músculo detrusor da bexiga durante o reflexo de micção.

As medições da PIA foram efectuadas com recurso a dois tipos distintos de métodos, sendo um método do tipo directo e um método do tipo indirecto, mais concretamente o Método Transvesical.

Os dois métodos de medição foram aplicados com o cadáver posicionado em decúbito lateral.

Os critérios de inclusão neste estudo consistiram exclusivamente na ausência de lesões ou doença na cavidade abdominal e pélvica, tendo a confirmação sido efectuada através de necropsia.

Todas as medições da PIA foram efectuadas antes da realização da necropsia, tendo sido posteriormente realizadas as operações de obtenção das medidas anatómicas e morfométricas necessárias à realização do estudo, bem como a confirmação do correcto posicionamento dos transdutores de pressão durante o procedimento normal de necropsia.

É importante salientar que nenhum animal foi eutanasiado com o propósito da realização deste estudo.

2.2. Medição da PIA por método directo

A medição directa da PIA foi realizada através da introdução intraperitoneal de um transdutor de pressão do tipo Strain Gauge piezoeléctrico de alta precisão ligado a um monitor de pressão (Codman Microsensor Kit Johnson & Johnson, Estados Unidos da América).

O equipamento supra-referido consiste num sensor Strain Gauge miniatura inserido numa caixa de titânio na ponta de um fio de nylon flexível de 100 cm de comprimento e apenas 1 mm de diâmetro. Um exemplo de utilização médica deste tipo de sensor verifica-

se na medição invasiva de pressão intra-craniana a nível parenquimatoso, ventricular ou subdural (Raboel *et al.*, 2012).

Previamente à introdução intra-peritoneal do transdutor de pressão, o mesmo é conectado ao monitor de pressão e calibrado a zero de acordo com as instruções do fabricante, tendo como referência a pressão atmosférica (Pracca *et al.*, 2007).

Após a calibração do equipamento, o transdutor de pressão foi introduzido na cavidade abdominal através de um cateter de 16 Gauge inserido na parede abdominal a nível da linha média abdominal, aproximadamente 1 cm cranial à cicatriz umbilical de modo a evitar a perfuração acidental de órgãos.

Uma vez introduzido o sensor de pressão no interior do abdómen, realizou-se um minuto de espera de modo a que as leituras de pressão estabilizassem, pelo que em seguida se iniciou o registo de pressões.

Este tipo de sensor, como já referido anteriormente, é frequentemente utilizado para medição da PIC em pacientes humanos, sendo que Aspesi e colaboradores (2002) e Pracca e colaboradores (2007) foram os primeiros a descrever a utilização deste tipo de sensor na medição da PIA (Aspesi *et al.*, 2002; Pracca *et al.*, 2007).

2.3. Medição da PIA pelo método transvesical

O método transvesical utilizado no presente estudo seguiu as linhas de referência descritas por Cheatham e Safcsak (1998) (Cheatham & Safcsak, 1998).

Para a realização do método supra-referido procedeu-se aos seguintes passos:

- Introdução de um cateter uretral estéril até que este atingisse o interior da bexiga;
- Conexão do cateter uretral ao sistema de medição da PIA, sendo este constituído por uma sequência de 3 torneiras de 3 vias conectadas em série a um sistema de drenagem de urina, uma coluna métrica de solução salina estéril graduada em cm de H₂O e um sistema de instilação de solução salina conforme representado na Figura 4;
- Remoção de todo o conteúdo urinário residual da bexiga;
- Instilação de um volume padronizado de 0,5 – 1 ml/kg de solução salina isotónica na bexiga de modo a obter um grau distensão vesical controlada;
- Uma vez instilado o volume padrão de solução salina na bexiga, foi permitido que se estabelecesse o equilíbrio dinâmico entre o conteúdo vesical e a coluna métrica, sendo muito importante referir que todo o sistema foi alinhado com a sínfise pélvica,

servindo esta coordenada anatômica considerada como o ponto de referência para a medição da PIA pelo método transvesical;

- Após se estabelecer o equilíbrio, a PIA é registrada em cm de H₂O através da observação do menisco na coluna métrica.

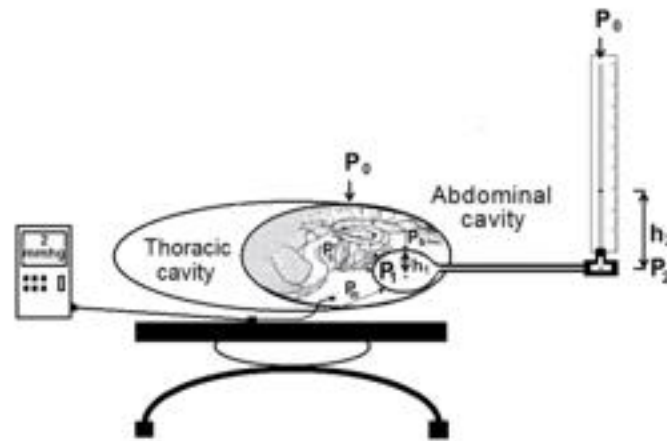


Figura 5 - Representação esquemática do MT de medição da PIA utilizado no presente estudo.

2.4. Características morfométricas

Para determinação das características morfométricas necessárias à substituição dos valores na formulação biofísica, durante o procedimento de necropsia, todas as vísceras foram pesadas individualmente, assim como toda a musculatura e pele pelas quais é composta a parede abdominal lateral. A pesagem das vísceras foi efectuada numa balança previamente calibrada.

O volume dos órgãos foi medido de acordo com o princípio do deslocamento de fluidos proposto por Arquimedes no século III AC e que actualmente continua a ser considerado como um método fiável e aceite de medição de volumes (Kayar *et al.*, 2011).

2.5. Determinação da área vesical

A determinação física das dimensões de vísceras e de cavidades orgânicas, como o volume e a área de superfície, representa frequentemente um desafio em distintos campos da medicina (Manjunath, 2005; Ruggieri & Rocca, 2010; Sholts *et al.*, 2010).

Ao longo do tempo foram descritas uma grande variedade de técnicas para este fim, tais como a medição directa de um órgão com fita métrica, decalcamento da estrutura anatômica em papel para medição da área de superfície, medição da quantidade de líquido necessário para perfazer uma cavidade de modo a determinar o seu volume, entre outras

(Esperanca & Collins, 1966; Rubin *et al.*, 1988; Manjunath, 2005; Ruggieri & Rocca, 2010; Sholts *et al.*, 2010).

A determinação da área de superfície da bexiga revela-se importante pelo facto de que o método transvesical utiliza esta área de superfície para determinar a PIA.

De forma a determinar a área de superfície da bexiga com o menor erro associado, recorreu-se a uma técnica de processamento digital de imagem e cálculo por software matemático (Papazoglou *et al.*, 2010)

Um exemplo de utilização médica deste tipo de tecnologia é verificado na medição da área de superfície de lesões cutâneas em doentes com feridas crónicas de modo a avaliar com maior precisão a evolução das mesmas (Papazoglou *et al.*, 2010)

Para efectuar a determinação da área da bexiga realizou-se os seguintes procedimentos:

- Diérese sagital do órgão de modo a obter uma superfície plana;
- Colocação do órgão estendido sobre uma superfície de coloração branca;
- Foi colocado junto ao órgão um quadrado com 1 cm de lado de modo a servir de elemento escalar;
- Foi tirada uma fotografia digital de modo a que tanto o órgão como o quadrado ficassem registados.
- Efectuou-se o tratamento digital da imagem com recurso a programação computacional e análise de pixéis de modo a obter a área de superfície da bexiga.

A análise digital das fotografias foi efectuada com recurso ao programa informático Matlab (R2011a).

Utilizando a função “inshow” do Matlab é possível representar a imagem num formato binário (bitmap) de forma a que a imagem se apresente em apenas duas cores: branco e preto. A imagem em formato binário mostra a área de superfície da bexiga e a área do quadrado de 1 cm² utilizado como escala representadas a preto (Figura 6). Desta forma, fazendo uso das funções do programa Matlab, foi possível determinar os valores da área de superfície vesical, sendo que a imagem final encontra-se representada na figura 11.

O código utilizado na área de trabalho do Matlab de forma a obter área de superfície vesical a partir de uma imagem digital foi a seguinte:

```
photo = imread('photo.jpg');  
imshow(photo);
```

```

I = rgb2gray(photo);
threshold = graythresh(I);
bw = im2bw(I,threshold);
[B,L] = bwboundaries(bw);
imshow(label2rgb(L, @jet, [.5 .5 .5]));
hold on
for k = 1:length(B)
    boundary = B(Balogh et al.);
    plot(boundary(:,2), boundary(:,1), 'black', 'LineWidth', 2)
end
stats = regionprops(L,'Area');
for k = 1:length(B)
    boundary = B(Balogh et al.);
    area = stats(k).Area;
    area_string = sprintf('%.0f',area);
    text(boundary(1,2)+5,boundary(1,1)+13,area_string,...
        'Color','white',...
        'FontSize',8,...
        'FontWeight','bold',...
        'BackgroundColor','black',...
        'FontName','Times');
end

```

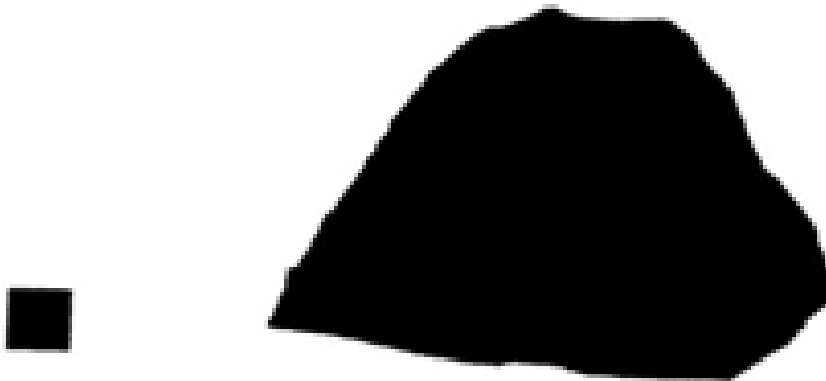


Figura 6 - Imagem digital da bexiga transformada num ficheiro binário, permitindo assim o cálculo da área de superfície.

2.6. Determinação da área de superfície da cavidade abdominal

Conforme referido anteriormente, a determinação da área de superfície da cavidade abdominal (ASCA) é de difícil obtenção visto ser um parâmetro que só pode ser obtido com ajuda de exames imagiológicos ou pós morte. A determinação da área de superfície da cavidade abdominal foi calculada de acordo com a fórmula matemática estabelecida por correlação com o peso (Lopes *et al.*, 2015; Lopes *et al.*, 2016) tal como se verifica para o cálculo da área de superfície corporal:

- $ASCA (m^2) = 0.0044 \times peso (Kg) + 0.0413$

2.7. Mecânica de fluidos

O método transvesical baseia-se num sistema de vasos comunicantes entre a bexiga e uma coluna métrica graduada em cm de água.

Uma vez que o fluído contido na bexiga está sob a influência do princípio de Pascal, que afirma que qualquer variação da pressão num determinado ponto de um fluído em equilíbrio é transmitida de igual forma a todos os restante pontos do fluído e às paredes do recipiente que o contém. Assim qualquer variação na PIA é transmitida ao fluído contido na bexiga e conseqüentemente transmitido ao sistema de vasos comunicantes conectados à coluna de água.

A leitura da PIA é realizada quando existe um ponto de equilíbrio no qual a pressão do fluído na bexiga é igual à pressão na coluna de água.

No momento da leitura da PIA os princípios da hidrostática são verificados, uma vez que o número de partículas por unidade de volume se mantém constante, não existe velocidade relativa das partículas do fluído e as forças exercidas pelo fluído são perpendiculares às paredes do recipiente que as contém.

Através do princípios fundamentais da hidrostática, definição física de pressão, aplicação das leis de Newton, foi possível desenvolver uma sobreposição de princípios biofísicos de modo a explicar, através das leis da física, o método transvesical assim como as forças que compõem a PIA.

2.8. Estatística

Inicialmente foi criada uma base de dados na qual foi inserida todas as variáveis necessária à realização deste estudo.

Os dados foram analisados com o programa SPSS 2010 /(Statistical Package for the Social Sciences) de modo a comparar as diferentes variáveis.

A análise da variância (ANOVA) foi utilizada de modo a identificar as diferenças significativas entre as médias dos diferentes grupos .

Os valores encontram-se expressos em médias \pm desvio padrão e nos testes de estatísticos de comparação de médias, as diferenças são classificadas como possuidoras de significância estatística quando o $P < 0,05$.

O teste da correlação de Pearson foi utilizado de modo a analisar a relação e a força das variáveis. O grau de correlação entre variáveis é maior quanto mais próximo de 1.

3. Resultados

3.1. Caracterização da população

A população constituída por 29 cadáveres de canídeos foi categorizada em relação ao género, raça e peso.

Relativamente ao género verificou-se que a amostra era constituída por 51,7% (15/29) de indivíduos do sexo feminino e 49,3% (14/29) de indivíduos do sexo masculino, revelando desta forma uma predominância de indivíduos do sexo feminino (Figura 7)

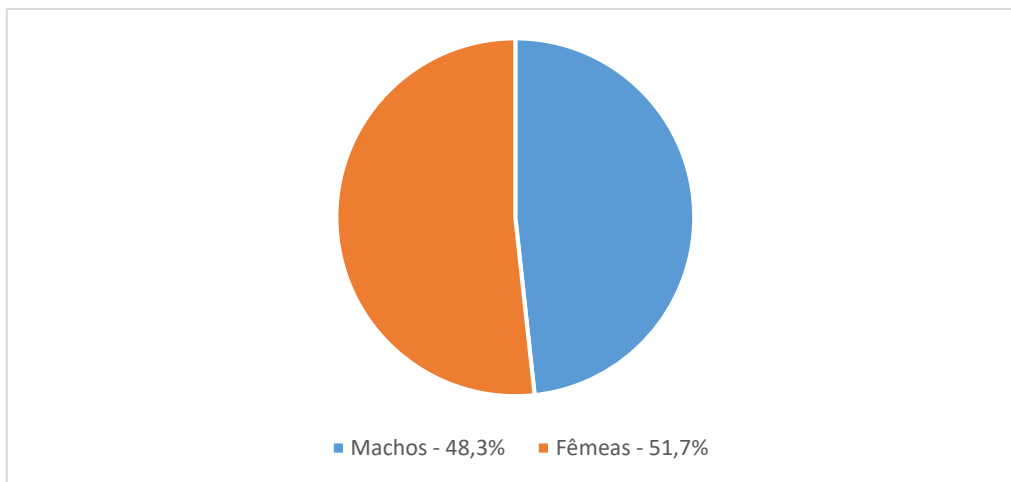


Figura 7 - Representação gráfica da amostra relativamente ao género.

Em relação à raça, foram categorizados 35,5% (10/29) como animais com raça definida e 64,5% (19/29) como animais sem raça definida, verificando-se deste modo a predominância de animais sem raça definida no presente estudo (Figura 8).

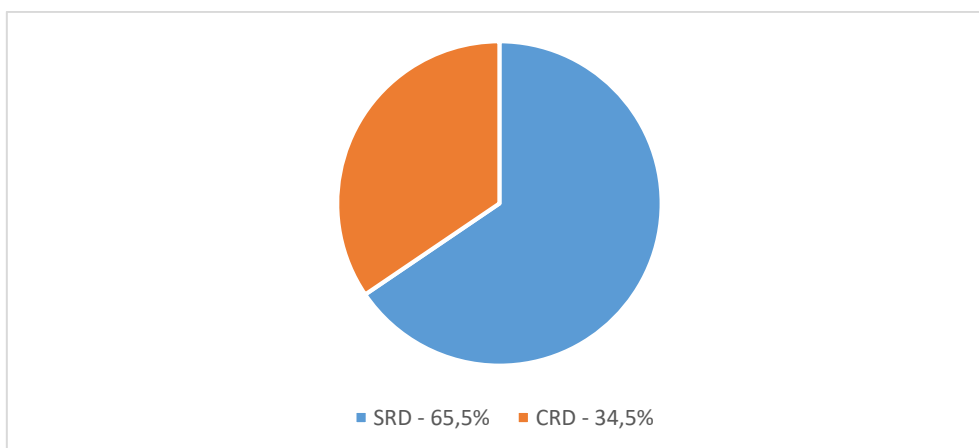


Figura 8 - Representação gráfica da amostra relativamente à raça.

Foi ainda realizada uma análise categórica de moda a diferenciar de forma mais específica os elementos contidos no grupo dos animais com raça definida, tendo sido identificados 5 caniches (17,2%), 1 pastor alemão (3,4%), 1 pitbull (3,4%), 1 fila de São Miguel (3,4%), 1 Perdigueiro (3,4%) e 1 Labrador Retriever (3,4%) verificando-se deste modo a predominância de indivíduos da raça caniche (Figura 9).

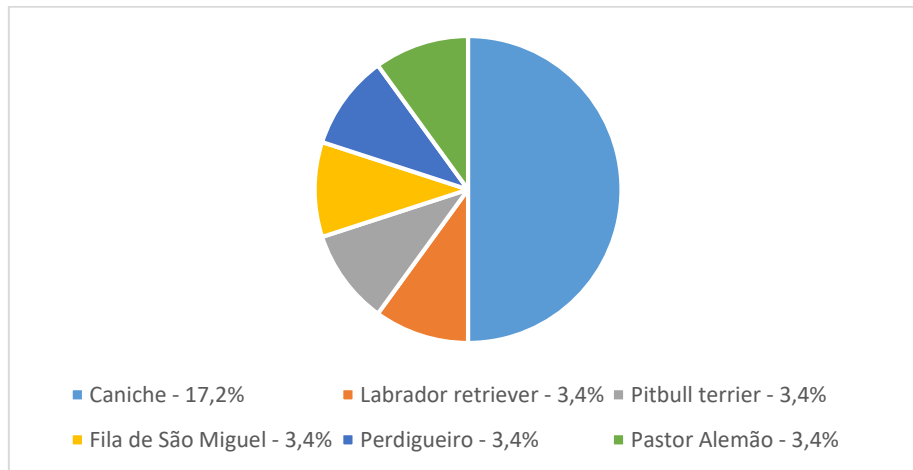


Figura 9 - Representação gráfica da amostra relativamente às diferentes raças do grupo dos animais com raça definida

De forma a dividir a amostra de acordo com o peso agrupou-se os indivíduos de acordo com o intervalo de peso em que se inseriam, sendo que os intervalos de peso estabelecidos foram os seguintes:

- <5 kg;
- 5 kg – 10 kg
- 11 kg – 25 kg
- > 25 kg.

De acordo com a análise estatística de dados relativos ao peso revelou-se uma predominância de indivíduos incluídos no intervalo de peso entre os 11 kg e os 25 kg, representando este grupo 51,7 % da população em estudo, seguindo-se o grupo incluído no intervalo de peso entre os 5 e os 10 kg com 37,9% de indivíduos e por fim o grupo incluído no intervalo de peso < a 5 kg com apenas 10,4% de indivíduos (Figura 10).

A amostra apresenta um peso médio de $12,04 \pm 5,67$ kg

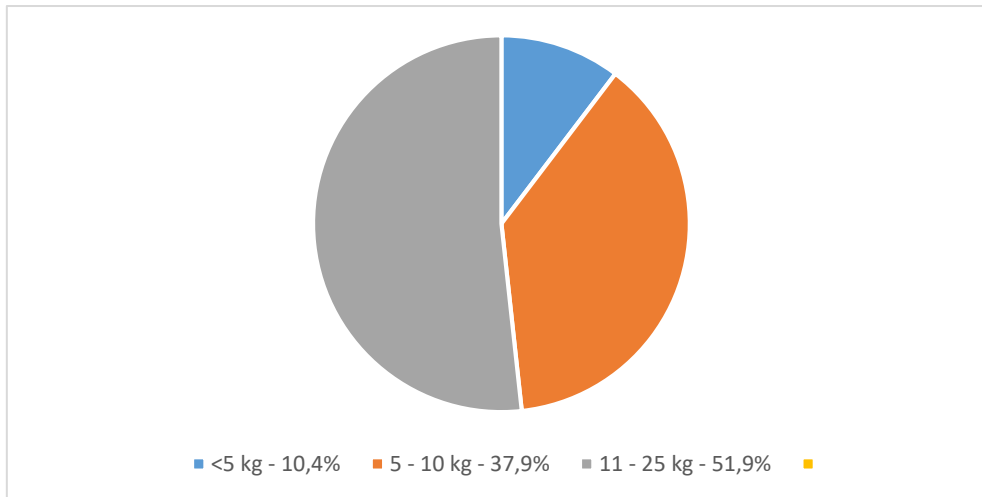


Figura 10 – Distribuição do peso dos animais em estudo.

3.2. Medição da PIA pelo método directo

A PIA determinada pelo método directo com o cadáver posicionado em decúbito lateral revelou uma pressão média de $3,07 \pm 3,04$ mmHg (tabela 4).

3.3. Medição da PIA pelo método transvesical

A medição da PIA pelo método transvesical com o cadáver posicionado em decúbito lateral revelou uma pressão média de $4,52 \pm 3,12$ mmHg.

3.4. Sobreposição de princípios biofísicos

Com base nos princípios da mecânica de fluidos, foi criada a seguinte sobreposição de princípios de modo a explicar a medição da PIA pelo método transvesical (Figura 12)

1. De acordo com o princípio de Pascal, qualquer alteração da pressão num determinado ponto de um fluido é transmitida de forma uniforme a todo o fluido e às paredes do recipiente que o contém (White, 1999):

$$PIA = P_1 \text{ (ponto no centro da bexiga)} = P_2 \text{ (ponto na coluna de água)}$$

2. De acordo com a lei fundamental da hidrostática, quando se verifica equilíbrio hidrostático, a pressão de um líquido é igual à soma da pressão atmosférica (P_0), com o produto da densidade do líquido (ρ), aceleração gravitacional e (g), e altura do líquido (h) (White, 1999). No entanto, para o exemplo específico do

método transvesical, a bexiga não pode ser compreendida como um recipiente estático uma vez que está submetida à pressão exercida pelo conteúdo abdominal (p_c), pressão exercida pela musculatura abdominal e pele (P_m) e a pressão exercida pelos ossos (P_o) (figura 12). Desta forma, a formulação biofísica que explica o equilíbrio entre P_1 e P_2 pode ser representada conforme descrito na seguinte fórmula:

$$\begin{aligned} P_1 &= P_2 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow (P_0 + \rho gh_1) + P_m + P_c + P_o &= P_0 + \rho gh_2 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow P_m + P_c + P_o &= \rho g(h_2 - h_1) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow PIA &= h_2 - h_1 \end{aligned}$$

3. De acordo com a 2ª lei de Newton, a força (F) corresponde à multiplicação da massa (m) pela aceleração gravitacional (g) (Antippa, 2003):

$$F = m \times g$$

4. A pressão é caracterizada como sendo a acção de uma força (F) aplicada sobre uma determinada área de superfície. Deste modo, P_c , P_m e P_o podem ser calculadas de acordo com o descrito na seguinte fórmula:

$$\begin{aligned} P_c + P_m + P_o &= \\ &= \frac{F_c}{ASCA} + \frac{F_m}{ASCA} + \frac{F_o}{ASCA} \end{aligned}$$

3.5 Determinação de valores das variáveis para o cálculo da PIA

Após a realização da necropsia, todas as variáveis necessárias ao cálculo da PIA foram determinadas (tabela 3).

O peso médio do conteúdo abdominal foi de $1,53 \pm 0,77$ kg, que representa uma força de $14,95 \pm 7,57$ Newton (N).

O peso médio da musculatura da parede abdominal e pele foi de $0,27 \pm 0,16$ kg, que representa uma força de $2,59 \pm 1,52$ N.

O valor médio calculado para a área de superfície abdominal foi de $9,69 \times 10^{-2} \pm 2,93 \times 10^{-2} \text{ m}^2$.

O valor médio calculado para a área de superfície da bexiga foi de $6,17 \times 10^{-3} \pm 5,05 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ (figura 11).

O valor médio calculado para o volume da bexiga foi de $1,08 \times 10^{-4} \pm 1,21 \times 10^{-4} \text{ m}^3$.

Tabela 3 - Valores do limite inferior, superior, média e desvio padrão das variáveis utilizadas no cálculo da PIA.

Parâmetro	Limite inferior	Limite superior	Média \pm desvio padrão
Peso do conteúdo abdominal (kg)	0,47	3,34	$1,53 \pm 0,77$
Força exercida pelo conteúdo abdominal (N)	4,60	32,70	$14,95 \pm 7,57$
Peso da musculatura da parede abdominal e pele (kg)	0,09	0,73	$0,27 \pm 0,16$
Força exercida pela musculatura da parede abdominal e pele (N)	0,88	7,15	$2,59 \pm 1,52$
ASCA (m ²)	0,05	0,16	$9,69 \times 10^{-2} \pm 2,93 \times 10^{-2}$
Volume da bexiga (m ³)	$1,00 \times 10^{-4}$	$6,00 \times 10^{-4}$	$1,08 \times 10^{-4} \pm 1,21 \times 10^{-4}$
Área de superfície da bexiga (m ²)	$1,30 \times 10^{-3}$	$2,73 \times 10^{-3}$	$6,17 \times 10^{-3} \pm 5,05 \times 10^{-3}$

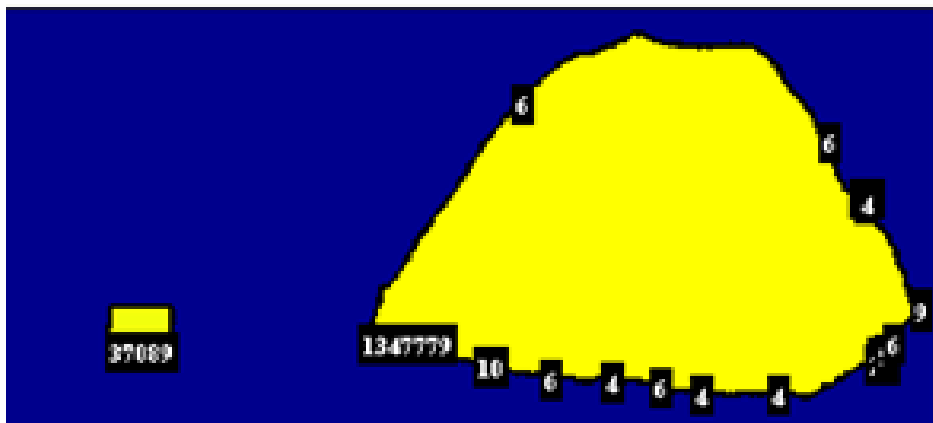


Figura 11 - Ficheiro final da determinação da área da bexiga utilizando o software Matlab.

3.6 Cálculo da PIA através da sobreposição de princípios biofísicos

Após a determinação de todos os parâmetros necessários à substituição das variáveis da formulação biofísica foi possível avaliar a premissa inicial que diz que $PIA = P_1 = P_2$ (Figura 12).

É importante referir que a comparação das pressões obtidas pelos diferentes métodos, de forma a comprovar que $PIA = P_1 = P_2$ foi realizada com recurso aos valores obtidos em decúbito lateral.

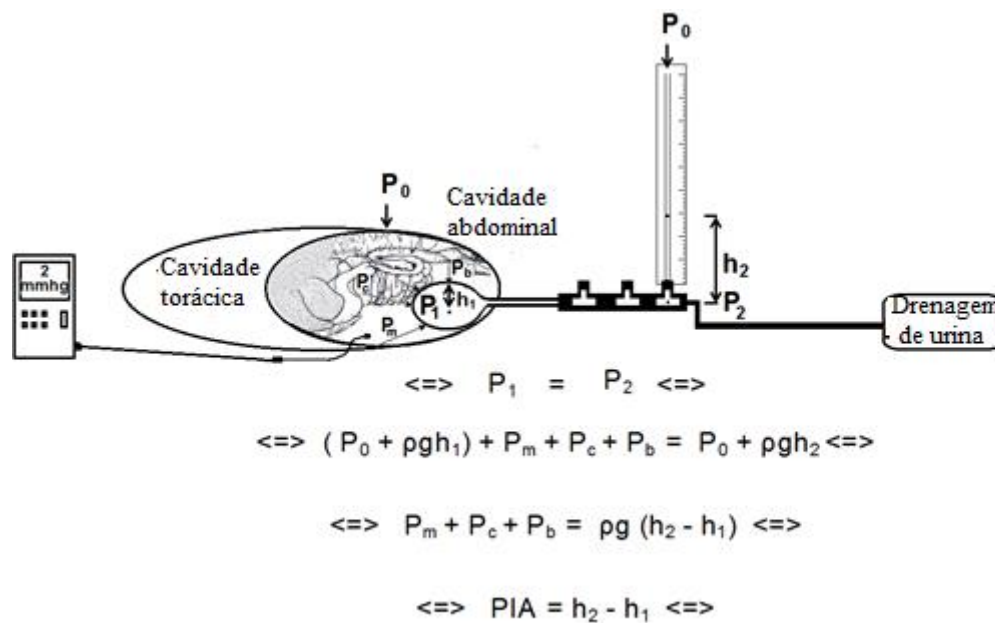


Figura 12 - Representação esquemática das forças envolvidas no método transvesical.

3.6.1 Cálculo da pressão em P_1

A pressão P_1 foi calculada ao nível do centro da bexiga (figura 12) e como tal as variáveis que a compõem são: a pressão hidrostática do fluido; a pressão exercida pelo conteúdo abdominal (P_c); a pressão exercida pela musculatura abdominal e pele; a pressão exercida pelos ossos (P_o). A soma de todas as forças supra-referidas são exercidas sobre a área de superfície da cavidade abdominal (ASCA), sendo que desta forma a pressão em P_1 é calculada através da seguinte fórmula:

$$P_1 = (P_0 + \rho g h_1) + P_c + P_m + P_o$$

Uma vez que neste estudo as pressões foram determinadas com o cadáver em decúbito lateral, a pressão exercida pelos ossos é praticamente nula, uma vez que a direcção dos vectores que a compõem repousa sobre a bancada, não exercendo desta forma influência sobre a PIA.

Após a análise dos valores obtidos foi determinado que os valores médios calculados para P_1 são $101694,83 \pm 300,78$ Pascal (Pa) ((tabela 4).

3.6.2 Cálculo da pressão em P_2

O cálculo da pressão P_2 (pressão na coluna de água) foi determinado através da lei fundamental da hidrostática, que afirma que a pressão na coluna de fluido é igual à soma de pressão atmosférica com o produto da densidade do líquido (ρ), aceleração gravítica (g) e altura do líquido (h). Desta forma, a pressão em P_2 é calculada através da seguinte fórmula:

$$P_2 = P_0 + \rho gh_2$$

Após a análise dos valores obtidos foi determinado que os valores médios calculados para P_2 são $101926,84 \pm 415,44$ Pa (tabela 4).

Tabela 4 – Classificação dos valores P_1 , P_2 e PIA determinada pelo método directo somada à pressão atmosférica de acordo com limite inferior, superior, média e desvio padrão em Pascal.

Parâmetro	Limite inferior	Limite superior	Média \pm desvio padrão
P_1	101580,42	101809,24	$101694,83 \pm 300,78$
P_2	101716,66	102021,03	$101838,67 \pm 400,08$
PIA determinada por método directo	101588,39	101898,32	$101766,34 \pm 407,39$

3.7 Comparação dos valores obtidos através da sobreposição de princípios biofísicos

Após comparação dos valores calculados para P_1 e P_2 , verificou-se que não existe diferenças estatisticamente significativas entre ambos ($P=0,07$).

A comparação entre os valores calculados para P_1 e P_2 com os valores determinados através do método directo também não demonstrou diferenças estatisticamente significativas entre eles ($P=0,192$).

A partir dos resultados supra-referidos podemos afirmar que os valores da PIA determinados através do método directo são idênticos aqueles calculados para P_1 e P_2 .

Recorreu-se ainda à utilização do coeficiente de correlação de Pearson de modo a avaliar a força de associação das variáveis. Os resultados revelaram uma correlação alta entre P_1 e P_2 (cc. 0,737), uma correlação média entre P_2 e os valores obtidos através do método directo (cc. 0,342) e uma correlação baixa entre P_1 e os valores de PIA obtidos através do método directo (cc. 0,02).

4. Discussão

A monitorização da PIA representa um factor de elevada importância uma vez que, para além das consequências dramáticas que se verificam em praticamente todos os sistemas de órgãos em doentes com HA, a PIA representa ainda um importante factor de prognóstico (Le Roith *et al.*, 1982; Caldwell & Ricotta, 1987; Obeid *et al.*, 1995; Bloomfield *et al.*, 1997; Coşkun Polat *et al.*, 2003).

Quando se verifica HA com PIA superior a 20 mmHg associada ao desenvolvimento de disfunção de pelo menos um órgão, o quadro clínico é definido como Síndrome de Compartimentalização Abdominal, condição esta que possui uma elevada taxa de mortalidade, variando entre os 50% e os 80%, dependendo da população em estudo (Malbrain *et al.*, 2006; Ejike *et al.*, 2010).

Devido aos factos supra-referidos, a monitorização da PIA representa um parâmetro de extrema importância em unidades de cuidados intensivos.

Devido ao seu custo de aplicação reduzido, praticabilidade, natureza pouco invasiva, possibilidade de efectuar monitorização contínua e apresentar uma boa correlação com os valores obtidos pelos métodos directos, o método transvesical é actualmente o método de medição da PIA mais utilizado em unidades de cuidados intensivos de todo o mundo (Johna *et al.*, 1999; Malbrain, 2004; Yi *et al.*, 2012).

O presente estudo tem como principal objectivo a validação e explicação biofísica do método transvesical, permitindo deste modo otimizar a sua aplicação e obtenção de resultados fiáveis.

Para a realização deste estudo foi utilizado um modelo baseado em cadáveres de canídeos de forma a reduzir algumas das variáveis que podem afectar a mensuração da PIA em modelos vivos, tais como a contracção da musculatura abdominal, reflexo de micção e respiração (Davis & Marras, 2000; Chiumello *et al.*, 2007; Ahmadi-Noorbakhsh & Malbrain, 2012).

O valor normal da PIA descrito para humanos varia entre os 0 e os 5 mmHg enquanto que para a espécie canina a literatura descreve a PIA normal como estando entre os 0 e os 7,4 mmHg, podendo atingir os 11,25 mmHg durante período pós-cirúrgico de cadelas submetidas a ovariectomia (Joubert *et al.*, 2007; Lee, 2012; Smith & Sande, 2012).

Ainda que a realização deste estudo tenha sido realizada em cadáveres, os valores da PIA obtidos pelo método directo encontravam-se dentro do intervalo de referência

descrito para a espécie, no entanto, os valores podem ser considerados ligeiramente baixos.

A justificação para os valores baixos de PIA obtidos neste estudo através do método directo devem-se provavelmente à diminuição da tensão dos tecidos, à ausência de movimentos respiratórios, e ausência completa de contracção da musculatura abdominal. Encontra-se descrito na literatura que a ausência de contracção da musculatura abdominal, por si só, pode levar a uma diminuição da PIA na ordem dos 25%, conforme foi verificado em doentes submetidos a bloqueios neuromusculares para realização de cirurgia abdominal (Van Wijk *et al.*, 2015).

Wilson e colaboradores (1933) concluíram ainda que a inspiração pode levar a um aumento da PIA, sendo a sua intensidade directamente proporcional à profundidade da inspiração (Wilson, 1933). Uma vez que no presente estudo a respiração está ausente, não existe influência desta variável na medição da PIA.

O facto da PIA em cadáveres ser semelhante com a PIA em animais vivos, prende-se com o facto de que a PIA é apenas um estado de pressão, sendo que neste caso, é determinado pelo índice de massa corporal, postura, actividade muscular da parede e respiração. A decisão da realização do presente estudo em cadáveres teve por base a possibilidade de eliminar algumas das variáveis que determina a PIA, tal como a respiração e a contracção da musculatura da parede abdominal.

Relativamente à quantidade de solução salina instilada na bexiga, que no presente estudo foi utilizado o volume de 1 ml/kg conforme descrito na literatura para a espécie em questão, deve-se à importância da padronização do volume instilado na bexiga, sendo que um excesso de volume pode levar a uma sobrestimação da PIA devido ao aumento da pressão intrínseca da bexiga (Drellich, 2000; Chiumello *et al.*, 2007).

A determinação das características morfométricas individuais de cada cadáver foi crucial para a obtenção dos valores necessários para a substituição das variáveis na formulação criada através da sobreposição de princípios biofísicos.

Para o cálculo da PIA através da formulação biofísica, os principais factores envolvidos na determinação da pressão são a área de superfície da cavidade abdominal e a força exercida pelas vísceras e parede abdominal, uma vez que a pressão é definida como o resultado das forças exercidas por unidade de área (Ikai & Fukunaga, 1968)

Os valores calculados para a área de superfície da cavidade abdominal foram de $9,69 \times 10^{-2} \pm 2,93 \times 10^{-2} \text{ m}^2$.

A determinação da área de superfície da cavidade abdominal foi realizada de acordo com uma fórmula baseada no peso, sendo que esta fórmula é determinada através de métodos de modelação tridimensional (Lopes *et al.*, 2015). Este tipo de técnica encontra-se associado a algum grau de erro quando se realiza a comparação dos valores obtidos por formulação com os valores reais das estruturas, sendo que a literatura descreve o erro como situado num intervalo entre os 2,9% e os 4,95%, podendo esse erro ser considerado relativamente baixo (Moss *et al.*, 1981; Breiman *et al.*, 1982; Kim, 2004).

A importância da determinação da área de superfície da bexiga prende-se com o facto de que o método transvesical utiliza esta estrutura na determinação da PIA.

A determinação das áreas supra-referidas foi realizada através de técnicas de processamento digital de imagem e cálculo matemático através de software especializado.

O tipo de técnica utilizado para a determinação da área de superfície da bexiga é frequentemente utilizada em medicina humana em doentes com feridas crónicas de modo a avaliar com maior precisão a evolução das mesmas (Papazoglou *et al.*, 2010).

Uma vez determinadas as áreas de superfície necessárias, restou apenas calcular as forças exercidas cavidade abdominal.

Para a determinação das forças envolvidas na criação da PIA o facto do presente estudo ter sido realizado em cadáver revelou-se fulcral, uma vez que deste forma, para além de ser possível eliminar as variáveis que influenciam a medição, tal como a respiração ou o reflexo de micção, foi ainda possível obter o peso de todas as estruturas envolvidas nas forças exercidas na cavidade abdominal.

Obtidos os pesos das estruturas necessária, através da aplicação da 2ª lei de Newton, foi possível calcular as forças exercidas sobre a área de superfície cavidade abdominal.

A determinação dos valores das características morfométricas necessária à realização do estudo permitiu a substituição das variáveis na formulação criada através da sobreposição de princípios biofísicos, permitindo desta forma que fosse realizada a comparação entre os valores calculados através da formulação biofísica criada com os valores determinados pelo método directo e indirecto.

Após análise estatística dos dados verificou-se que a pressão calculada para o ponto P₁ (ponto no interior da bexiga) não demonstra diferenças estatisticamente significativas (P=0,07) quando comparada com a pressão em P₂ (ponto na coluna de água), ou seja, a pressão em P₁, que representa a pressão calculada através da determinação de todas as forças exercidas na cavidade abdominal pelo seu conteúdo e parede, é idêntica à pressão em P₂ que representa a pressão na coluna de água.

Comparando os valores calculados para P_1 e P_2 com os valores determinados pelo método directo, verificou-se que não existem diferenças estatisticamente significativas entre os 3 diferentes métodos ($P=0,192$).

De forma resumida, a determinação da PIA pelo método directo é idêntica à PIA dcalculada em P_2 que por sua vez é idêntica à PIA calculada em P_1 .

De modo a avaliar a força de associação entre as variáveis em estudo, o coeficiente de correlação foi calculado e verificou-se uma correlação alta entre P_1 e P_2 (cc. 0,737), uma correlação média entre P_2 e a PIA determinada pelo método directo (cc. 0,342) e uma correlação baixa entre P_1 e a PIA determinada pelo método directo (cc. 0,02).

Os resultados supra-referidos demonstram que o método transvesical pode ser usado para a medição da PIA, uma vez que se encontra validado e explicado pelas leis da física.

A explicação para as variações obtidas entre P_1 , P_2 e a PIA determinada pelo método directo consiste nas dificuldades verificadas no cálculo de alguns dos parâmetros morfométricos, uma vez que alguns destes parâmetros foram calculados com recurso a cálculo computacional e neste tipo de metodologia encontra-se descrito na literatura um grau de erro associado.

Em adição ao erro associado à determinação dos parâmetros morfométricos, outros motivos que podem justificar o baixo valor do P são o tamanho da amostra e o erro associado à determinação das forças exercidas pelas estruturas abdominais.

5. Conclusão

De acordo com a literatura, actualmente o método que apresenta maior precisão na determinação da PIA é o método de medição directa através da introdução de um sensor intra-peritoneal, no entanto este tipo de método, para além de apresentar um custo elevado, acarreta também um risco aumentado para o doente dado o seu carácter invasivo.

Deste modo, o método indirecto, mais concretamente o método transvesical, é neste momento considerado o método indirecto de eleição para a determinação da PIA em doentes em unidades de cuidados intensivos.

Dado que o método transvesical, apesar de ser considerado o método indirecto de eleição para a monitorização da PIA, ainda surge alguma controvérsia em relação à sua fiabilidade,

De acordo com os resultados do presente estudo, que tem como objectivo a demonstração biofísica da PIA bem como do método transvesical, foi possível concluir que:

- A pressão intra-abdominal é o estado de pressão no interior da cavidade abdominal, e que esta é determinada pela força exercida em toda a área de superfície da cavidade abdominal pelas estruturas intra-abdominais, parede abdominal, onde incluímos a força exercida pelo peso da musculatura e ainda pelas estruturas ósseas que delimitam a cavidade abdominal;
- O facto de não se verificar diferenças estatisticamente significativas entre as medições realizadas por método directo, por método transvesical e por cálculo através da formulação biofísica desenvolvida para este estudo permite concluir que o método transvesical é fiável em canídeos quando realizado em decúbito lateral, podendo ser utilizado com segurança na monitorização da PIA.
- A compreensão da componente física envolvida na formação da PIA bem como na execução do método transvesical permite uma optimização na execução da técnica bem como na interpretação dos resultados obtidos;
- Adicionalmente, a formulação biofísica desenvolvida, permitirá ainda que em estudos futuros, seja possível estudar as variáveis que afectam a mensuração da PIA pelos métodos indirectos.

6. Referências Bibliográficas

- Ahmadi-Noorbakhsh, S. & Malbrain, M.L. (2012). Integration of inspiratory and expiratory intra-abdominal pressure: a novel concept looking at mean intra-abdominal pressure. *Annals of intensive care*, 2(1),1.
- Andrade, J.I. (1998). A síndrome de compartimento do abdome. *Medicina (Ribeirao Preto. Online)*, 31(4),563-567.
- Antippa, A.F. (2003). Unification of Newton's laws of motion. *Canadian journal of physics*, 81(5),713-735.
- Aspesi, M., Gamberoni, C., Severgnini, P., Colombo, G., Chiumello, D., Minoja, G., Tulli, G., Malacrida, R., Pelosi, P. & Chiaranda, M. (2002). The abdominal compartment syndrome. Clinical relevance. *Minerva anesthesiologica*, 68(4),138-146.
- Aspinall, V. & Capello, M. (2004). Tissues and Body Cavities. In: Aspinall, V., O'Reilly, M. (Eds.) *Introduction to Veterinary Anatomy and Physiology*, pp. 17 - 30.
- Balogh, Z., Moore, F.A., Moore, E.E. & Biffl, W.L. (2007). Secondary abdominal compartment syndrome: a potential threat for all trauma clinicians. *Injury*, 38(3),272-279.
- Bandic Pavlovic, D. & Majeric Kogler, V. (2006). Intraabdominal hypertension and abdominal compartment syndrome in the intensive care unit. *Signa Vitae*, 1(1),13-15.

- Bersani, A.L., Gomes, J., Braga, I.L.S., Guimarães, H.P. & Lopes, R.D. (2009). Síndrome compartimental abdominal. *Rev Bras Clin Med*, 7(313-321).
- Bloomfield, G.L., Blocher, C.R., Fakhry, I.F., Sica, D.A. & Sugerman, H.J. (1997). Elevated intra-abdominal pressure increases plasma renin activity and aldosterone levels. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 42(6),997-1005.
- Breiman, R.S., Beck, J.W., Korobkin, M., Glenn, R., Akwari, O.E., Heaston, D.K., Moore, A.V. & Ram, P.C. (1982). Volume determinations using computed tomography. *American Journal of Roentgenology*, 138(2),329-333.
- Caldwell, C.B. & Ricotta, J.J. (1987). Changes in visceral blood flow with elevated intraabdominal pressure. *Journal of surgical research*, 43(1),14-20.
- Castellanos, G., Piñero, A. & Fernández, J.Á. (2007). La hipertensión intraabdominal y el síndrome compartimental abdominal:¿ qué debe saber y cómo debe tratarlos el cirujano? *Cirugía Española*, 81(1),4-11.
- Cheatham, M.L. (2009). Abdominal compartment syndrome: pathophysiology and definitions. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*, 17(1),1.
- Cheatham, M.L. & Safcsak, K. (1998). Intraabdominal pressure: a revised method for measurement. *Journal of the American College of Surgeons*, 186(5),594-595.
- Chiumello, D., Tallarini, F., Chierichetti, M., Polli, F., Bassi, G.L., Motta, G., Azzari, S., Carsenzola, C. & Gattinoni, L. (2007). The effect of different volumes and temperatures of saline on the bladder pressure measurement in critically ill patients. *Critical Care*, 11(4),1.

- Coşkun Polat, O.C.A., Gökhan Akbulut, S.Y., Yijilksel Arikan, O.N.D. & Gokce, O. (2003). The effects of increased intra-abdominal pressure on bacterial translocation. *Yonsei medical journal*, 44(2),259-264.
- Davis, K. & Marras, W. (2000). The effects of motion on trunk biomechanics. *Clinical Biomechanics*, 15(10),703-717.
- de Cleva, R., de Assumpção, M.S., Sasaya, F., Chaves, N.Z., Santo, M.A., Fló, C. & Lunardi, A.C. (2014). Correlation between intra-abdominal pressure and pulmonary volumes after superior and inferior abdominal surgery. *Clinics*, 69(7),483-486.
- Drellich, S. (2000). Intraabdominal pressure and abdominal compartment syndrome. *Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian*, 22(8),764-769.
- Dyce, K.M., Sack, W.O. & Wensing, C.J.G. (1999). Aparato Urogenital. In: Dyce, K.M., Sack, W.O., Wensing, C.J.G. (Eds.) *Anatomía veterinaria*. McGraw - Hill Interamericana, pp. 183 - 226.
- Ece, I., Vatansev, C., Kucukkartallar, T., Tekin, A., Kartal, A. & Okka, M. (2015). The Increase of Intra-Abdominal Pressure Can Affect Intraocular Pressure. *BioMed research international*, 2015(
- Ejike, J.C., Newcombe, J., Baerg, J., Bahjri, K. & Mathur, M. (2010). Understanding of abdominal compartment syndrome among pediatric healthcare providers. *Critical care research and practice*, 2010(
- Ellenport, C.R. (1986). Aparelho Urogenital: Órgãos Urinários. In: Sisson, S., Grossman, J.D., Getty, R. (Eds.) *Anatomia dos animais domésticos*, pp. 1481 - 1493.

- Esperanca, M.J. & Collins, D.L. (1966). Peritoneal dialysis efficiency in relation to body weight. *Journal of Pediatric Surgery*, 1(2),162-169.
- Evans, H.E. & De Lahunta, A. (2013). The Digestive Apparatus and Abdomen. In: Evans, H.E., De Lahunta, A. (Eds.) *Miller's Anatomy of the Dog*. Elsevier Health Sciences, pp. 281 - 337.
- Guyton, A.C. & Hall, J.E. (2006). Formação da Urina pelos Rins: IFiltração Glomerular, Fluxo Sanguíneo Renal e os seus Controles. In: Guyton, A.C., Hall, J.E., Guyton, A.C. (Eds.) *Tratado de fisiologia médica*. Elsevier Brasil, pp. 307 - 347.
- Harman, P.K., Kron, I.L., McLachlan, H.D., Freedlender, A.E. & Nolan, S.P. (1982). Elevated Intra-abdominal Pressure and Renal Function. *Annals of Surgery*, 196(5),594.
- IBERTI, T.J., KELLY, K.M., GENTILI, D.R., HIRSCH, S. & BENJAMIN, E. (1987). A simple technique to accurately determine intra-abdominal pressure. *Critical care medicine*, 15(12),1140-1142.
- Iberti, T.J., Lieber, C.E. & Benjamin, E. (1989). Determination of intra-abdominal pressure using a transurethral bladder catheter: clinical validation of the technique. *Anesthesiology*, 70(1),47-50.
- Ikai, M. & Fukunaga, T. (1968). Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. *Internationale Zeitschrift für Angewandte Physiologie Einschliesslich Arbeitsphysiologie*, 26(1),26-32.

- Johna, S., Taylor, E., Brown, C. & Zimmerman, G. (1999). Abdominal compartment syndrome: does intra-cystic pressure reflect actual intra-abdominal pressure? A prospective study in surgical patients. *Critical Care*, 3(6),1.
- Joubert, K.E., Oglesby, P.A., Downie, J. & Serfontein, T. (2007). Abdominal compartment syndrome in a dog with babesiosis. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care*, 17(2),184-190.
- Kayar, R., Civelek, S., Cobanoglu, M., Gungor, O., Catal, H. & Emiroglu, M. (2011). Five methods of breast volume measurement: a comparative study of measurements of specimen volume in 30 mastectomy cases. *Breast cancer: basic and clinical research*, 5(43).
- Kim, J.C. (2004). Animal study of renal volume measurement on abdominal CT using digital image processing: Preliminary report. *Clinical imaging*, 28(2),135-137.
- Kirkpatrick, A.W., Brenneman, F.D., McLean, R.F., Rapanos, T. & Boulanger, B.R. (2000). Is clinical examination an accurate indicator of raised intra-abdominal pressure in critically injured patients? *Canadian Journal of Surgery*, 43(3),207.
- Koning, H. & Liebich, H.G. (2008). Anatomía de los animales domésticos: órganos, sistema circulatorio y sistema nervioso. *Médica Panamericana*,279-281.
- Le Roith, D., Bark, H., Nyska, M. & Glick, S. (1982). The effect of abdominal pressure on plasma antidiuretic hormone levels in the dog. *Journal of surgical research*, 32(1),65-69.
- Lee, R.K. (2012). Intra-abdominal hypertension and abdominal compartment syndrome a comprehensive overview. *Critical care nurse*, 32(1),19-31.

- Leng, Y., Zhang, K., Fan, J., Yi, M., Ge, Q., Chen, L., Zhang, L. & Yao, G. (2014). Effect of acute, slightly increased intra-abdominal pressure on intestinal permeability and oxidative stress in a rat model. *PloS one*, 9(10),e109350.
- Lopes, A., Castro, M., Ferrira, A., Pereira, H., Niza, M. & Dourado, A. (2016). 3D modeling of abdominal surface area in dog model. *BMC Veterinary Research*.
- Lopes, A., Habilit, A., Pereira, H., Niza, M. & Onca, R. (2015). 3D modeling of abdominal surface area in cats. *J Veterinar Sci Technol*, 6(269),2.
- Malbrain, M.L. (2004). Different techniques to measure intra-abdominal pressure (IAP): time for a critical re-appraisal. *Intensive care medicine*, 30(3),357-371.
- Malbrain, M.L., Cheatham, M.L., Kirkpatrick, A., Sugrue, M., Parr, M., De Waele, J., Balogh, Z., Leppäniemi, A., Olvera, C. & Ivatury, R. (2006). Results from the international conference of experts on intra-abdominal hypertension and abdominal compartment syndrome. I. Definitions. *Intensive care medicine*, 32(11),1722-1732.
- Malbrain, M.L. & Deeren, D.H. (2006). Effect of bladder volume on measured intravesical pressure: a prospective cohort study. *Critical Care*, 10(4),1.
- Manjunath, K. (2005). Correlation between the cross sectional area of skull base with existing formulae to determine skull volume. *J Anat Soc India*, 54(2),51-54.
- Moss, A.A., Friedman, M.A. & Brito, A.C. (1981). Determination of liver, kidney, and spleen volumes by computed tomography: an experimental study in dogs. *Journal of computer assisted tomography*, 5(1),12-14.

- Obeid, F., Saba, A., Fath, J., Guslits, B., Chung, R., Sorensen, V., Buck, J. & Horst, H.M. (1995). Increases in intra-abdominal pressure affect pulmonary compliance. *Archives of Surgery*, 130(5),544-548.
- Papazoglou, E.S., Zubkov, L., Mao, X., Neidrauer, M., Rannou, N. & Weingarten, M.S. (2010). Image analysis of chronic wounds for determining the surface area. *Wound repair and regeneration*, 18(4),349-358.
- Pracca, F.F., Biestro, A.A., Moraes, L., Puppo, C.B., Calvo, S.M., Gorrasi, J. & Cancela, M. (2007). Direct measurement of intra-abdominal pressure with a solid microtransducer. *Journal of clinical monitoring and computing*, 21(3),167-170.
- Raboel, P., Bartek, J., Andresen, M., Bellander, B. & Romner, B. (2012). Intracranial pressure monitoring: invasive versus non-invasive methods—a review. *Critical care research and practice*.
- Rezende-Neto, J.B.d., Silva, A.L.d. & Cunha-Melo, J.R. (2003). Animal model of the abdominal compartment syndrome as a single insult and as a second insult in rats. *Acta Cirurgica Brasileira*, 18(SPE),29-36.
- Rubin, J., Clawson, M., Planch, A. & Jones, Q. (1988). Measurements of peritoneal surface area in man and rat. *The American journal of the medical sciences*, 295(5),453-458.
- Ruggieri, G. & Rocca, A.R. (2010). Analysis of past and present methods of measuring and estimating body surface area and the resulting evaluation of its doubtful suitability to universal application. *Blood purification*, 30(4),296-305.
- Seeley, R.R., Stephens, T.D. & Tata, P. (2001). Aparelho Urinário. In: Seeley, R.R., Stephens, T.D., Tata, P. (Eds.) *Anatomia & Fisiologia*, pp. 983 - 1026.

- Sholts, S.B., Wärmländer, S.K., Flores, L.M., Miller, K.W. & Walker, P.L. (2010). Variation in the measurement of cranial volume and surface area using 3D laser scanning technology. *Journal of forensic sciences*, 55(4),871-876.
- Sisson, S. (1986). Esplanchnologia: Geral. In: Sisson, S., Grossman, J.D., Getty, R. (Eds.) *Anatomia dos animais domésticos*, pp. 80 - 99.
- Smith, S.E. & Sande, A.A. (2012). Measurement of intra-abdominal pressure in dogs and cats. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care*, 22(5),530-544.
- Sugrue, M., Bauman, A., Jones, F., Bishop, G., Flabouris, A., Parr, M., Stewart, A., Hillman, K. & Deane, S.A. (2002). Clinical examination is an inaccurate predictor of intraabdominal pressure. *World journal of surgery*, 26(12),1428-1431.
- Van Wijk, R., Watts, R., Ledowski, T., Trochsler, M., Moran, J. & Arenas, G. (2015). Deep neuromuscular block reduces intra-abdominal pressure requirements during laparoscopic cholecystectomy: a prospective observational study. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 59(4),434-440.
- Varela, J.E., Hinojosa, M. & Nguyen, N. (2009). Correlations between intra-abdominal pressure and obesity-related co-morbidities. *Surgery for Obesity and Related Diseases*, 5(5),524-528.
- White, F.M. (1999). Fluid mechanics, WCB. ed: *McGraw-Hill, Boston*.
- Wilson, W. (1933). Effect of breathing on the intra-abdominal pressure. *The Journal of physiology*, 79(4),481.

Wittmann, D.H. & Iskander, G.A. (2000). The compartment syndrome of the abdominal cavity: a state of the art review. *Journal of Intensive Care Medicine*, 15(4),201-220.

Yi, M., Leng, Y., Bai, Y., Yao, G. & Zhu, X. (2012). The evaluation of the effect of body positioning on intra-abdominal pressure measurement and the effect of intra-abdominal pressure at different body positioning on organ function and prognosis in critically ill patients. *Journal of critical care*, 27(2),222. e221-222. e226.