

Necropsia virtual em animais

Virtual necropsy in animals

Laila Massad Ribas^[a], Ana Carolina Brandão de Campos Fonseca Pinto^[b], Mara Rita Rodrigues Massad^[c], Noeme Sousa Rocha^[d]

^[a] Pós-doutoranda em Clínica Veterinária, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, SP, Brasil, e-mail: lailamassad@gmail.com

^[b] Professora associada, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brasil, e-mail: anacarol@usp.br

^[c] Doutoranda em Clínica Veterinária, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, SP, Brasil, e-mail: maramassad@gmail.com

^[d] Professora adjunto, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, SP, Brasil, e-mail: rochanoeme@fmvz.unesp.br

Resumo

Necropsias minimamente invasivas, também conhecidas por necropsias virtuais, realizadas por meio de modernos modelos de equipamentos radiológicos estão sendo cada vez mais utilizadas para complementar, e até mesmo substituir, a necropsia em diversas situações. A Patologia Forense é uma área da Medicina que vem se beneficiando com o aumento desses estudos realizados em cadáveres. A Medicina Veterinária, entretanto, ainda faz pouco uso da Radiologia no estudo post-mortem, restringindo-se à experimentação animal ou a alguns relatos de caso. O uso de tal tecnologia poderá fornecer à comunidade veterinária importantes informações sobre causa da morte e doenças de base e contributivas, tanto em doenças naturais, com em casos de trauma. Para isso, é fundamental não somente a implementação dos equipamentos de imagem em instituições de ensino, mas também treinamento técnico de profissionais envolvidos nessa nova união da Radiologia com a Patologia. Esta revisão objetiva apresentar o tema necropsia virtual, suas possibilidades, perspectivas futuras e contribuições para a área médico veterinária.

Palavras-chave: Radiologia. Patologia. Tomografia. Ressonância Magnética.

Abstract

Minimally invasive or virtual necropsy is a new area of forensic science that combines modern radiological equipment with traditional necropsy, complementing or even replacing the latter in several situations. The



advent of virtual post-mortem analysis is proving to be of great benefit to forensic medicine. However, in veterinary medicine these studies are still experimental or restricted to case reports. The use of such technology could provide veterinarians with important information about the primary cause of death and comorbidities in natural diseases or trauma cases. For this aim to be achieved, not only the radiology equipment in teaching institutions of the utmost importance, but also the technical training of professionals involved in this new field that combines radiology and pathology. The purpose of this review is to introduce the virtual necropsy topic, its possibilities, future perspectives and contributions to veterinary medicine.

Keywords: Radiology. Pathology. Tomography. Magnetic Resonance Imaging (MRI).

Introdução

Necropsia virtual consiste na utilização de modernas modalidades de imagem para a realização de necropsias minimamente invasivas realizadas com equipamentos de imagem. Esse estudo é realizado por meio de documentação corporal externa e interna (Näther et al., 2009; Vock, 2009). A fotogrametria, que consiste na metragem de superfícies (de corpos ou objetos) por meio da fotografia, é o segmento externo da necropsia virtual (Näther et al., 2009; Thali et al., 2003). Já a documentação interna dos cadáveres se dá pelos métodos de diagnóstico por imagem, como radiografia convencional, ultrassonografia, tomografia computadorizada (TC), angiotomografia e ressonância nuclear magnética (RNM) (Dirnhofer et al., 2006).

Apesar da necropsia convencional ser o padrão ouro para conclusão da causa mortis, as diferentes modalidades de diagnóstico por imagem podem aumentar a acurácia do diagnóstico final, além de poderem ser examinadas posteriormente (Grabherr et al., 2014; Heinemann et al., 2015). A identificação de corpos em decomposição ou o achado de microfraturas dificilmente identificadas na necropsia são exemplos das principais indicações para a necropsia virtual, a qual está sendo cada vez mais utilizada na área da Patologia, especialmente na Patologia Forense (Baglivo et al., 2013).

Esta revisão objetiva apresentar o tema, suas possibilidades, perspectivas futuras e contribuições para a área médico-veterinária.

História da necropsia virtual

As primeiras doenças registradas na história datam do Antigo Egito por volta do século XVII a.C. Parasitas, lesões ósseas e tumores ulcerados são alguns exemplos das descrições encontradas em papiros egípcios que caracterizam o início da Patologia (do grego pathos - sofrimento, doença; e logos - ciência, estudo). Além das descrições patológicas, os egípcios também foram os primeiros a abrirem e manipularem cadáveres humanos. Entretanto, foi apenas com Hipócrates (460 a 377 a.C.) que essa área de conhecimento recebeu as mais duradouras contribuições (Van Den Tweel e Taylor, 2010).

A exploração dos corpos começou a ser realizada de maneira sistemática por dois médicos gregos, Herófilo (335 a 280 a.C.) e Erasístrato (310 a 250 a.C.) (Race et al., 2004). A essa prática de abertura e inspeção metódica das cavidades e órgãos dos humanos, bem como de outros animais, com a finalidade de identificar a causa do óbito, surge a palavra necropsia, derivada do grego nekrós (cadáver) e oipsis (vista, visualizar) (Finkbeiner et al., 2009).

Após longos períodos de latência, quando a dissecação de corpos humanos foi proibida, diversos médicos se destacaram no estudo da necropsia. O médico austríaco Karl von Rokitansky, que viveu na primeira metade do século XIX e realizou cerca de 30 mil necropsias, tornou a Patologia uma área extremamente importante da medicina (Finkbeiner et al., 2009). Ao longo da história essa disciplina médica passou por diversos avanços, no que diz respeito ao estudo da morte, e as imagens

radiográficas passaram a fazer parte da Patologia logo após a descoberta dos raios-X por Wilhelm Conrad Roentgen em 1895 (Brogdon e Lichtenstein, 2011).

Tão logo essa tecnologia foi descoberta, deram início os estudos forenses utilizando imagens radiográficas. Em 1897, ocorreu o primeiro caso criminal envolvendo uso dos raios-X nos EUA. As imagens da mandíbula de um homem morto por arma de fogo foram usadas no julgamento do atirador como evidência (Brogdon e Lichtenstein, 2011). A partir de então, a radiologia forense passou a contribuir em diversas áreas da medicina diagnóstica, fornecendo informações valiosas aos laudos necroscópicos, na identificação de cadáveres e até na antropologia, através da radiografia de múmias (Lynnerup e Rühli, 2015).

O primeiro estudo de tomografia computadorizada (TC) realizado em cadáveres humanos ocorreu em 1977, no qual seis casos de lesões cranianas por arma de fogo foram descritos (Wüllenweber et al., 1977). Já a injeção de um meio de contraste para realização da TC post-mortem, a chamada angiogramia computadorizada, foi feita primeiramente em 1983 por Krantz e Holtås. Posteriormente, outros estudos foram realizados nessa mesma linha de pesquisa (Langer et al., 1998; Bisset et al., 2002; Roberts et al., 2003). Entretanto, foi apenas em 2003 que pesquisadores da Universidade de Berna, na Suíça, uniram modernos métodos de imagem, como TC, RNM e fotogrametria para realizar necropsias minimamente invasivas do corpo todo. Dessa pesquisa criou-se o termo *virtopsy*, das palavras em inglês *virtual* e *autopsy*, e que vem sendo cada vez mais utilizado para representar a união da radiologia moderna com a patologia (Thali et al., 2003).

A ideia inicial dos pesquisadores era fornecer aos patologistas uma alternativa ao exame convencional, uma vez que os exames radiográficos já estavam presentes na rotina desses profissionais há muitos anos, mas com recursos limitados. Poder complementar o exame necroscópico convencional ou até mesmo substituí-lo em determinadas situações, como nos casos em que a família não autoriza a realização da necropsia por questões pessoais ou religiosas, eram outros objetivos dos cientistas de Berna (Thali et al., 2003).

Fotogrametria

A fotogrametria é a ciência de realizar medidas através de fotografias. A técnica de fotogrametria em três dimensões (3D), conhecida por estereofotogrametria, é uma técnica mais avançada, na qual duas ou mais fotografias, em diferentes posições, de um determinado objeto são feitas para fornecer medidas e gerar coordenadas que permitam reconstruir o objeto fotografado em 3D (Näther et al., 2009).

Em medicina forense, a estereofotogrametria foi inicialmente utilizada em 1996 no Instituto de Medicina Forense de Berna. As lesões causadas por determinados objetos, especialmente em pele e ossos, são captadas pelas fotografias e um sistema computacional cria uma reconstrução em 3D dessas lesões, permitindo fazer uma correlação com o objeto ou instrumento suspeito de ter sido utilizado. Uma grande vantagem deste método são as reconstruções feitas e armazenadas que permitem que o caso seja analisado em qualquer momento, mesmo após anos terem se passado (Thali et al., 2005).

Radiografias Convencionais e Ultrassonografia

Por muitas décadas, a radiografia convencional foi o único método de diagnóstico por imagem utilizado por patologistas. Além do baixo custo, oferecem grande auxílio nos casos de traumas em membros e coluna vertebral, em traumas torácicos, em visualizar corpos estranhos metálicos, como projéteis, e também em radiografias odontológicas (McGraw et al., 2002).

A antropologia forense, que objetiva identificar o indivíduo morto, é uma área da medicina que se beneficia enormemente das radiografias. Imagens obtidas dos ossos permitem ao legista identificar a espécie, o sexo (quando o corpo se encontra esqueletizado), a idade e até a identidade do indivíduo, através das radiografias orais (Miziara, 2014).

Apesar de sua enorme contribuição e baixo custo, as imagens radiográficas vêm sendo substituídas por TC, as quais oferecem melhor qualidade nas imagens (Vock, 2009).

Em comparação com TC e RNM, a ultrassonografia também é uma técnica de baixo custo, mas sua limitação na necropsia é devido, principalmente, à dificuldade de ser executada na presença de gás, achado comum nos corpos em decomposição e que provocam artefatos na imagem, como reverberação. Além disso, a ausência de fluxo sanguíneo não permite avaliação adequada do sistema vascular (Farina et al., 2002).

Tomografia Computadorizada e Angiotomografia

Como conceito geral, a tomografia computadorizada multislice possibilita a visualização de diversas fatias do corpo com poucos milímetros de espessura, a depender do modelo do equipamento, e que fornece imagem em duas ou três dimensões sem que seja realizada dissecação. Algumas instituições já utilizam essa técnica previamente ao exame necroscópico convencional, como as Faculdades de Medicina das Universidades de Berna, de Tóquio e de São Paulo (Ruder et al., 2012; Okuma et al., 2013; Zerbini et al., 2014). O acréscimo de informações ao diagnóstico necroscópico, especialmente de pequenas fraturas, lesões por arma de fogo, corpos-estranhos e gás, é uma das razões para escolher essa modalidade de exame nos cadáveres (Ampanozi et al., 2010; Le Blanc-Louvry et al., 2013; Makhoul et al., 2013; Noda et al., 2013).

Apesar da tomografia auxiliar muito os diagnósticos de morte por causas naturais, esse exame apresenta excelentes resultados nos casos de trauma, especialmente craniofaciais ou lesões por trajeto de arma de fogo, em que há perfeita correlação entre tomografia post-mortem e autópsia convencional, sobretudo, devido às reconstruções em 3D, que facilitam a visualização das fraturas (Hoey et al., 2007; Le Blanc-Louvry et al., 2013).

Outra alteração observada por esta técnica de imagem nos casos de trauma é a presença de gás, tanto em cavidades quanto no sistema vascular. Esse tipo de formação pode não ser detectável em necropsias convencionais, mas o uso de TC tem auxiliado patologistas a concluir os diagnósticos (Hoey et al., 2007; Zerbini et al., 2014). Um estudo realizado apenas com pessoas mortas por arma de

fogo revelou que a TC foi mais eficaz em determinar a presença de pneumotórax e embolia gasosa do que a necropsia convencional (Makhoul et al., 2013). Apesar disso, é importante diferenciar acúmulo de gás causado por um trauma daquele formado pela decomposição natural do corpo. Nesse último, a formação é generalizada (Christe et al., 2010; Gebhart et al., 2012).

A angiotomografia post-mortem, que consiste na realização de TC através da injeção de contraste no sistema vascular, pode ser um desafio para os radiologistas interessados em engrenar nesta nova modalidade de estudo. Isso porque a injeção de contraste em cadáveres requer equipamento especializado, a fim de substituir um sistema vascular pulsátil (Ross et al., 2014).

Para que todo corpo seja perfundido é necessária a injeção da mistura de uma substância líquida em grande volume com um contraste iodado. O acesso venoso e arterial geralmente é feito unilateralmente pelos vasos femorais para uma perfusão de corpo todo. Quando objetiva-se contrastar apenas uma parte do corpo, como cabeça ou coronárias, o acesso pode ser feito na jugular e carótida (Grabherr et al., 2006; Ross et al., 2014).

Existem três tipos de líquidos que podem ser misturados com contrastes iodados na angiotomografia post-mortem de acordo com a solubilidade. Considerando que, após a morte, a parede vascular se torna mais porosa, isso aumenta o risco de extravasamentos. Uma substância muito hidrossolúvel não permite que o contraste misturado permaneça por muito tempo dentro dos vasos. Líquidos lipossolúveis, como óleo de parafina ou óleo diesel, entretanto, evitam mais essa perda, pois não se misturam com o sangue dentro dos vasos. Além desses, existe uma terceira substância, chamada polietilenoglicol (PEG), que é um líquido higroscópico, ou seja, que tem elevada absorção de água. Devido a essas propriedades, o PEG tende a manter-se dentro dos vasos, mas acaba por absorver líquidos de tecidos adjacentes, o que pode causar dissecação e aglutinação do sangue remanescente (Grabherr et al., 2015).

O contraste utilizado depende da solubilidade da substância escolhida. Logo, para misturas lipossolúveis são indicados contrastes lipofílicos, como Angiofil®, à base de óleo de linhaça, ou

Lipiodol UF®, à base de óleo de papoula (Chevallier et al., 2013; Grabherr et al., 2006; Grabherr et al., 2011). Para misturas hidrossolúveis são indicados os contrastes hidrofílicos, como diatrizoato de meglumina, iopentol ou iohexol (Nascimento et al., 2015; Jackowski et al., 2008; Ross et al., 2008; Ross et al., 2014).

Autores divergem quanto à escolha da substância a ser utilizada na angiotomografia post-mortem. Ross et al. (2008) levantaram a questão ambiental de utilizar substâncias não biodegradáveis, como o óleo de parafina, além de terem obtidos resultados melhores com o PEG, que proporcionou melhor imagem tomográfica devido à ausência de extravasamento de contraste para a malha vascular gastrointestinal e pelo melhor preenchimento de córtex cerebral, miocárdio e parênquima de órgãos abdominais. A mistura lipofílica estudada pelos autores apresentou extravasamento especificamente nos corpos em decomposição, provavelmente por ter usado um óleo de baixa viscosidade. Grabherr et al. (2015) elucidam que a viscosidade do óleo utilizado interfere diretamente na qualidade das imagens. Líquidos com baixa viscosidade extravasam mais, particularmente nas regiões de menor resistência, ou seja, de maior atividade de bactérias da putrefação, como o trato gastrointestinal. Por outro lado, se o líquido apresentar viscosidade muito elevada, pode haver falha no preenchimento do sistema microvascular. Os autores indicam que, em humanos, a mistura que apresenta viscosidade ideal é aquela feita com óleo de parafina e Angiofil®.

Ressonância Nuclear Magnética

Além das imagens por TC, a técnica por RNM post-mortem também vem beneficiando os patologistas, especialmente no que se refere a lesões em tecidos moles, como, por exemplo, hemorragias, hematomas subcutâneos, lesões cerebrais e pulmonares (Christe et al., 2010). Um estudo comparativo com necropsia convencional revelou uma sensibilidade da ressonância de 100% nos casos de pneumotórax, hemorragia retroperitoneal, lacerações de aorta abdominal e fraturas em extremidades de membros inferiores. Embora os

autores não recomendem a técnica como substituto total da necropsia convencional, sete fraturas de crânio foram identificadas apenas pelas imagens de ressonância, o que demonstra uma sensibilidade maior (Ross et al., 2012).

Ampanozi et al. (2010) observaram que as lesões cerebrais de um homem morto por trauma craniano foram melhor observadas nas imagens de RNM do que na TC. O extenso trauma cerebral e hemorragia causados por um machado produziram um hipersinal em T2 nas regiões frontal e parietal do hemisfério esquerdo, além de um hematoma na região occipital, também observado na necropsia forense.

A RNM pode ser fundamental na substituição de uma autópsia convencional em crianças e neonatos, de maneira especial para famílias religiosas ou não, mas que negam a autorização do exame mais invasivo. Thayyil et al. (2013) demonstraram que 41% das necropsias minimamente invasivas feitas através de RNM não precisariam de necropsia convencional. O exame auxilia também no diagnóstico de alterações neurológicas, sobretudo em fetos com menos de 24 semanas de gestação, nos quais a autópsia dificulta as análises patológicas. Todavia, os autores revelam que a acurácia é menor nas crianças mais velhas.

Com relação às temperaturas dos cadáveres, a RNM pode apresentar variações que devem ser consideradas. Devido ao fato de que alguns corpos podem ser congelados antes das análises necroscópicas, pesquisadores avaliaram a interferência da temperatura corporal no contraste de imagens e concluíram que baixas temperaturas (menos de 10 °C) diminuem o contraste entre gordura e músculo, contudo melhoram o contraste entre água e músculo e entre água e gordura. Estas informações podem auxiliar ainda mais na identificação de lesões e/ou definir a causa mortis (Ruder et al., 2012).

Necropsias minimamente invasivas

Apesar de resultados positivos serem encontrados em diversas pesquisas, autores ainda não recomendam totalmente a substituição da necropsia convencional e, por essa razão, técnicas minimamente invasivas podem

ser uma alternativa que enriquecem o diagnóstico com informações adicionais (Aghayev et al., 2007).

Em 1955, Terry publicou um estudo denominado Needle Necropsy, no qual descreve as vantagens de utilizar agulhas para coleta de tecidos em cadáveres, nesse caso ainda sem a tecnologia das imagens. No entanto, um aspecto importante mencionado pelo autor sobre as necropsias convencionais e que se aplica na atualidade, são as questões religiosas ou culturais dos familiares, haja visto que a necropsia minimamente invasiva permite que o corpo permaneça intacto após a morte.

A utilização de TC para auxiliar a coleta dos materiais foi estudada posteriormente com resultados quase que totalmente em conformidade com os achados histopatológicos de material coletado na necropsia. Bolliger et al. (2010) observaram que, nos casos de morte por parada cardíaca, embora apenas a tomografia não tenha sido suficiente para concluir a causa da morte, a combinação com análises dos fragmentos coletados apresentou diagnóstico correto em 90% dos casos.

Aghayev et al. (2007) utilizaram equipamento de tomografia computadorizada com software que possibilitou a captação de imagens dinâmicas. Com o uso dessa tecnologia, os pesquisadores utilizaram agulhas de biópsias para coletar tecidos cerebrais, cardíacos, esplênicos, hepáticos, renais e musculares de cadáveres humanos. Apesar de não terem realizado necropsia convencional comparativa, os autores descrevem que a quantidade de material coletada foi suficiente para as análises histológicas.

A coleta de tecidos em cadáveres guiada por imagens requer menos tempo do que a necropsia convencional e apresenta, por conseguinte, vantagem quando é necessária a análise dos materiais logo após a morte, como, por exemplo, do fígado, que sofre autólise post-mortem com rapidez. Ademais, a diminuição do risco de contaminação é outra vantagem que deve ser levada em consideração (Guerra et al., 2001).

Apesar das imagens por RNM apresentarem melhor resolução quanto aos tecidos moles, a TC é mais rápida e permite o uso de instrumentos metálicos, sendo, portanto, considerada melhor para realização das coletas de fragmentos de órgãos guiadas em cadáveres (Aghayev et al., 2007).

A necropsia virtual na atualidade

De acordo com Baglivo et al. (2013), há um crescente aumento no interesse da sociedade acadêmica em estudar as vantagens da necropsia virtual. Entre 2000 e 2011, os autores revisaram a quantidade de material publicado sobre esse assunto. Como resultado, verificaram que os artigos sobre Radiologia e sobre Medicina Forense apenas dobraram de quantidade nesse período, enquanto que àqueles relacionados, especificamente, sobre Radiologia Forense ou Post-mortem apresentaram um incremento de mais de dez vezes.

Recentemente, um estudo realizado pelos criadores da Virtopsy descreve para os novos radiologistas interessados em engrenar nessa área uma série de achados nas imagens que podem não ser facilmente identificadas pelos menos experientes. Maior densidade da aorta devido à contração das paredes e perda da pressão luminal é um exemplo de achado inespecífico, assim como bolhas de gás após trauma, respiração artificial ou início de decomposição. Outro achado interno, visto notadamente pela tomografia, é o livor mortis encontrado em algumas áreas dos pulmões e que pode ser confundido com uma contusão, por exemplo (Christe et al., 2010).

No que se refere à Medicina Forense, a necropsia virtual não só beneficia a Patologia com imagens de qualidade, mas também permite criar modelos anatômicos através de impressoras 3D. As imagens são captadas pelas técnicas de TC, angiotomografia, RNM e fotogrametria e, a partir disso são criados modelos de vasos, tecidos moles, fraturas, infartos, marcas de mordedura e rupturas de órgão, por exemplo, que podem ser utilizados tanto no ensino quanto na elucidação de mortes violentas ou naturais (Ebert et al., 2011).

Necropsia virtual em animais

A utilização de métodos minimamente invasivos para realização de necropsias em humanos é considerada interessante pelo ponto de vista religioso e cultural dos familiares (Dirnhofer et al., 2006). Apesar dessa questão não ser tão aplicada em Medicina Veterinária, existem outras justificativas

significantes para a utilização de métodos de imagem post-mortem nos animais, como na avaliação de alterações vasculares através de angiografia, em mortes causadas por arma de fogo (Franckenberg et al., 2015) e até mesmo no auxílio de casos em que a opinião de um segundo especialista é requisitada através do envio virtual das imagens (Heinemann et al., 2015).

Além disso, a manipulação de cadáveres de animais por Patologistas Veterinários e estudantes é fator de risco importante na transmissão de zoonoses (Langoni et al., 2009), fazendo com que os métodos minimamente invasivos de necropsia em Veterinária sejam ainda mais demandados (Ibrahim et al., 2012). A exemplo disso, três patologistas veterinários da Universidade de Berna apresentaram sorologia positiva para *Micobacterium tuberculosis* após terem realizado a necropsia de um cão morto com alterações neurológicas. Os autores do artigo reforçam o risco da transmissão da tuberculose durante o exame necroscópico, uma vez que pessoas que tiveram contato direto com o cão em vida não apresentaram resultado positivo na sorologia (Posthaus et al., 2011). O uso de técnicas de imagem post-mortem como a RNM poderia ter contribuído na prevenção da contaminação dos médicos veterinários nesses casos, visto que abscessos cerebrais por tuberculose são passíveis de serem observados nas imagens por RNM (Santy et al., 2011; Martinez-Longoria et al., 2015).

As técnicas de diagnóstico por imagem em Medicina Veterinária estão cada vez mais presentes tanto na rotina clínica quanto nos hospitais universitários (Lamb e David, 2012; Lamb, 2016; Randall, 2016), entretanto ainda não são utilizados equipamentos de imagem no auxílio rotineiro de necropsias de animais. Alguns estudos com o uso de radiografias convencionais post-mortem são encontrados na literatura, porém esse número é escasso e não abrange métodos mais avançados, como TC e RNM. Em gatos, a presença de gás devido mormente à putrefação, foi o principal achado de Heng et al. (2008) em seus estudos de radiografias abdominais de cadáveres felinos. Quanto às radiografias abdominais e torácicas de cadáveres de cães, os achados foram similares. Os autores observaram formação gasosa no trato

gastrointestinal de 8 a 16 horas após eutanásia em temperatura ambiente de 22 a 33 °C (Heng et al., 2009a) e em mediastino, vasos, esôfago e subcutâneo na pesquisa torácica desses animais (Heng et al., 2009b). Os autores concluíram que as principais alterações radiográficas nos cadáveres podem ser observadas nas primeiras 24 horas após a morte.

A introdução dessas técnicas na Medicina Veterinária poderia refletir no avanço da Patologia, especialmente a Patologia Forense, uma vez que diversos pesquisadores já comprovaram a correlação entre crueldade contra animais e interpessoal (Overton et al., 2012; Kavanagh et al., 2013; McEwen et al., 2014). Afogamento e zoofilia por crianças e adolescentes são atos de crueldade contra animais preditivos na violência interpessoal na fase adulta (Hensley e Tallichet, 2009).

Ademais, diversos autores compartilham da opinião que as imagens auxiliam perfeitamente os diagnósticos em casos de traumas (Ampanozi et al., 2010; Hoey et al., 2007; Le Blanc-Louvry et al., 2013; Makhlof et al., 2013), permitindo que maiores informações sejam fornecidas e, conseqüentemente, acrescentadas no laudo necropsial.

Ribas et al. (2015) descreveram as alterações encontradas em radiografias de um gambá (*Didelphis albiventris*) atropelado e morto em uma rodovia do Estado de São Paulo. As imagens de corpo inteiro complementaram o diagnóstico da necropsia forense realizada após o estudo radiográfico. Os autores reforçam a importância de novos estudos radiológicos em cadáveres.

Dois gatos que foram mortos pelo tutor, que também assassinou a esposa e posteriormente se matou, foram investigados por tomografia post-mortem. Neste caso, assim como em outros casos forenses que envolvem animais além de humanos, o estudo da morte dos animais é de extrema relevância para a conclusão da investigação criminalística, o que reforça a importância da utilização de métodos de imagem (Martinez et al., 2015).

Os escassos estudos de necropsia virtual em animais encontrados estão, singularmente, relacionados com modelos experimentais. Grabherr et al. (2006) utilizaram dois cães e um gato para estabelecer melhor perfusão intravascular com baixo extravasamento através da injeção de óleo diesel

seguida de um contraste lipofílico em angiotomografia em vez de utilizar o polietilenoglicol, veículo hidrofílico mais utilizado nas tomografias post-mortem.

Uma raposa (*Vulpes vulpes*) morta por arma de fogo foi submetida à necropsia virtual na Suíça com o objetivo de avaliar os efeitos destrutivos e poder fatal da munição de caça em pequenos animais. As imagens obtidas demonstraram laceração de todos os vasos supra aórticos, fratura de coluna cervical, destruição da medula espinhal e foram suficientes para determinar a causa mortis sem que uma necropsia convencional fosse necessária (Franckenberg et al., 2015). Imagens de osteomielite oral e presença de gás em coração e fígado também foram identificadas pela TC post-mortem de um canguru vermelho (*Macropus rufus*) no Japão (Lee et al., 2011).

Conclusão

Deve-se considerar que o estudo por imagem ocorre desde o exame radiográfico simples até avaliação por ressonância nuclear magnética. Os equipamentos e a realização de exames de métodos modernos como a tomografia computadorizada e a ressonância nuclear magnética têm elevado custo e a maioria dos clínicos veterinários têm dificuldade de acesso, diferentemente do que ocorre com as avaliações radiográfica e ultrassonográfica que estão amplamente difundidas.

Fazer uso de análises radiográficas no post-mortem pode contribuir muito para o esclarecimento de várias doenças não identificadas na necropsia convencional, como pequenas fraturas, e melhora na avaliação de complicações pulmonares e retenção de gases em cavidades torácica e abdominal. A ultrassonografia permite a realização de biópsia guiada que fornece dados preciosos do material biológico coletado e encaminhado para exame histopatológico. Assim, o uso de técnicas de imagem, seja por meio de radiografia simples ou através de imagem ultrassonográfica, pode colaborar no esclarecimento da causa mortis. Ainda que a necropsia convencional não possa ser totalmente substituída, associá-la a recursos de imagem aumenta a precisão diagnóstica e facilita as correlações clínico-patológicas. A associação das modalidades é uma alternativa diagnóstica promissora, porém a compreensão dos seus usos e limitações ainda é uma ciência em formação.

Financiamento

Os autores foram financiados pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por meio do Edital Ciências Forenses 25/2014.

Referências

- Aghayev E, Thali MJ, Sonnenschein M, Jackowski C, Dirnhofer R, Vock P. Post-mortem tissue sampling using computed tomography guidance. *Forensic Science International*. 2007;166(2-3):199-203.
- Ampanozi G, Ruder TD, Preiss U, Aschenbroich K, Germerott T, Filograna L, et al. Virtopsy: CT and MR imaging of a fatal head injury caused by a hatchet: a case report. *Legal Medicine*. 2010;12(5):238-241.
- Baglivo M, Winklhofer S, Hatch GM, Ampanozi G, Thali MJ, Ruder TD. The rise of forensic and post-mortem radiology — analysis of the literature between the year 2000 and 2011. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*. 2013;1(1):3-9.
- Bisset RAL, Thomas NB, Turnbull IW, Lee S. Postmortem examinations using magnetic resonance imaging: four year review of a working service. *BMJ*. 2002;324:1423-1424.
- Bolliger SA, Filograna L, Spendlove D, Thali MJ, Dirnhofer S, Ross S. Postmortem imaging-guided biopsy as an adjuvant to minimally invasive autopsy with CT and postmortem angiography: a feasibility study. *American Journal of Roentgenology*. 2010; 195(5):1051-1056.
- Brogdon BG, Lichtenstein E. Forensic radiology in historical perspective. In: Thali MJ, Viner MD, Brogdon BG (Ed). *Brogdon's forensic radiology*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 2011.
- Chevallier C, Doenz F, Vaucher P, Palmiere C, Dominguez A, Binaghi S, et al. Postmortem computed tomography angiography vs. conventional autopsy: advantages and inconveniences of each method. *International Journal of Legal Medicine*. 2013;127(5):981-989.
- Christe A, Flach P, Ross S, Spendlove D, Bolliger S, Vock P, et al. Clinical radiology and postmortem imaging (Virtopsy)

- are not the same: specific and unspecific postmortem signs. *Legal Medicine*. 2010;12(5):215-222.
- Dirnhofer R, Jackowski C, Vock P, Potter K, Thali MJ. Virtopsy: minimally invasive, imaging-guided virtual autopsy. *Radiographics*. 2006;26(5):1305-1333.
- Ebert LC, Thali MJ, Ross S. Getting in touch – 3D printing in forensic imaging. *Forensic Science International*. 2011;211(1-3):e1-e6.
- Fariña J, Millana C, Fdez-Aceñero MJ, Furió V, Aragoncillo P, Martín VG, et al. Ultrasonographic autopsy (echopsy): a new autopsy technique. *Virchows Archiv*. 2002;440(6):635-639.
- Finkbeiner WE, Ursell PC, Davis RL. *Autopsy pathology: a manual and atlas*. 2nd ed. Philadelphia: Elsevier Saunders Publisher; 2009.
- Franckenberg S, Kern F, Vogt M, Thali MJ, Flach PM. Fatal gunshot to a fox: the Virtopsy approach in a forensic veterinary case. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*. 2015;3(1):72-75.
- Gebhart FTF, Brogdon BG, Zech W, Thali MJ, Germerott T. Gas at postmortem computed tomography – an evaluation of 73 non-putrefied trauma and non-trauma cases. *Forensic Science International*. 2012;222(1-3):162-169.
- Grabherr S, Djonov V, Friess A, Thali MJ, Ranner G, Vock P, et al. Postmortem angiography after vascular perfusion with diesel oil and a lipophilic contrast agent. *American Journal of Roentgenology*. 2006;187(5):W515-523.
- Grabherr S, Doenz F, Steger B, Dirnhofer R, Dominguez A, Sollberger B, et al. Multi-phase post-mortem CT angiography: development of a standardized protocol. *International Journal of Legal Medicine*. 2011;125(6):791-802.
- Grabherr S, Grimm J, Dominguez A, Vanhaebost J, Mangin P. Advances in post-mortem CT-angiography. *The British Journal of Radiology*. 2014;87(1036):1-9.
- Grabherr S, Grimm J, Baumann P, Mangin P. Application of contrast media in post mortem imaging (CT and MRI). *La Radiologia Medica*. 2015;120(9):824-834.
- Guerra I, Ortiz E, Portu J, Atarés B, Aldamiz-Etxebarria M, De Pablos M. Value of limited necropsy in HIV-positive patients. *Pathology, Research and Practice*. 2001;197(3):165-168.
- Heinemann A, Vogel H, Heller M, Tzikas A, Püschel K. Investigation of medical intervention with fatal outcome: the impact of post-mortem CT and CT angiography. *La Radiologia Medica*. 2015;120(9):835-845.
- Heng HG, Teoh WT, Sheikh-Omar AR. Postmortem abdominal radiographic findings in feline cadavers. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2008;49(1):26-29.
- Heng HG, Selvarajah GT, Lim HT, Ong JS, Lim J, Ooi JT. Serial postmortem abdominal radiographic findings in canine cadavers. *Forensic Science International*. 2009a;192(1-3):43-47.
- Heng HG, Selvarajah GT, Lim HT, Ong JS, Lim J, Ooi JT. Serial postmortem thoracic radiographic findings in canine cadavers. *Forensic Science International*. 2009b;188(1-3):119-124.
- Hensley C, Tallichet SE. Childhood and adolescent animal cruelty methods and their possible link to adult violent crimes. *Journal of Interpersonal Violence*. 2009;24(1):147-158.
- Hoey BA, Cipolla J, Grossman MD, McQuay N, Shukla PR, Stawicki SP et al. Postmortem computed tomography, "CATopsy", predicts cause of death in trauma patients. *The Journal of Trauma*. 2007;63(5):979-985.
- Ibrahim AO, Zuki ABM, Noordin MM. Applicability of Virtopsy in veterinary practice: a short review. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*. 2012;35(1):1-8.
- Jackowski C, Persson A, Thali MJ. Whole body postmortem angiography with a high viscosity contrast agent solution using poly ethylene glycol as contrast agent dissolver. *Journal of Forensic Science*. 2008;53(2):465-468.
- Kavanagh PS, Signal TD, Taylor N. The dark triad and animal cruelty: dark personalities, dark attitudes, and dark behaviors. *Personality and Individual Differences*. 2013;55(6):666-670.

- Krantz P, Holtås S. Postmortem computed tomography in a diving fatality. *Journal of Computer Assisted Tomography*. 1983;7(1):132-134.
- Lamb CR. Veterinary diagnostic imaging: probability, accuracy and impact. *The Veterinary Journal*. 2016;215:55-63.
- Lamb CR, David FH. Advanced imaging use and misuse. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2012;14(7):483-497.
- Langer B, Choquet P, Ravier S, Gasser B, Schlaeder G, Constantinesco A. Low-field dedicated magnetic resonance imaging: a potential tool for assisting perinatal autopsy. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*. 1998;12(4):271-275.
- Langoni H, Vasconcelos CGC, Nitsche MJT, Olbrich SRLR, Carvalho LR, Silva RC. Fatores de risco para zoonoses em alunos do curso de medicina veterinária, residentes e pós-graduandos. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR*. 2009;12(2):115-121.
- Le Blanc-Louvry I, Thureau S, Duval C, Papin-Lefebvre F, Thiebot J, Dacher JN, et al. Post-mortem computed tomography compared to forensic autopsy findings: a French experience. *European Radiology*. 2013;23(7):1829-1835.
- Lee KJ, Sasaki M, Miyauchi A, Kishimoto M, Shimizu J, Iwasaki T, et al. Virtopsy in a red kangaroo with oral osteomyelitis. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. 2011;41(1):128-130.
- Lynnerup N, Rühli F. Short review: the use of conventional x-rays in mummy studies. *Anatomical Record*. 2015;298(6):1085-1087.
- Makhlouf F, Scolan V, Ferretti G, Stahl C, Paysant F. Gunshot fatalities: correlation between post-mortem multi-slice computed tomography and autopsy findings: a 30-months retrospective study. *Legal Medicine*. 2013;15(3):145-148.
- Martinez RM, Hetzel U, Thali MJ, Schweitzer W. Cat CAT-scan: postmortem imaging and autopsy of two cats. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*. 2015;3(1):80-86.
- Martinez-Longoria CA, Rubio-Perez NE, Rios-Solis JE, Garcia-Rodriguez F. Severe meningoencephalitis co-infection due to *Cryptococcus neoformans* and *Mycobacterium tuberculosis* in a child with systemic lupus erythematosus. *International Journal of Infectious Diseases*. 2015;33:106-108.
- McGraw EP, Pless JE, Pennington DJ, White SJ. Postmortem radiography after unexpected death in neonates, infants, and children: should imaging be routine? *American Journal of Roentgenology*. 2002;178(6):1517-1521.
- McEwen FS, Moffitt TE, Arseneault L. Is childhood cruelty to animals a marker for physical maltreatment in a prospective cohort study of children? *Child Abuse & Neglect*. 2014;38(3):533-543.
- Miziara ID. Manual prático de medicina legal. São Paulo: Atheneu; 2014.
- Nascimento FB, Santos GA, Melo NA, Damasceno EB, Mauad T. Detection of the source of hemorrhage using postmortem computerized tomographic angiography in a case of a giant juvenile nasopharyngeal angiofibroma after surgical treatment. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*. 2015; 11(3):427-431.
- Näther S, Buck U, Thali MJ. External body documentation. In: Thali MJ, Dirnhofer R, Vock P. (Ed.). *The Virtopsy approach: 3D optical and radiological scanning and reconstruction in forensic medicine*. Boca Raton (FL): CRC Press; 2009. p. 151-156.
- Noda Y, Yoshimura K, Tsuji S, Ohashi A, Kawasaki H, Kaneko K, et al. Postmortem computed tomography imaging in the investigation of nontraumatic death in infants and children. *BioMed Research International*. 2013;2013: 327903.
- Okuma H, Gono W, Ishida M, Shintani Y, Takazawa Y, Fukayama M, et al. Heart wall is thicker on postmortem computed tomography than on antemortem computed tomography: the first longitudinal study. *PLoS One*. 2013; 8(9):e76026.
- Overton JC, Hensley C, Tallichet SE. Examining the relationship between childhood animal cruelty motives and recurrent adult violent crimes toward humans. *Journal of Interpersonal Violence*. 2012;27(5):899-915.
- Posthaus H, Bodmer T, Alves L, Oevermann A, Schiller I, Rhodes SG, et al. Accidental infection of veterinary personnel with *Mycobacterium tuberculosis* at necropsy: a case study. *Veterinary Microbiology*. 2011;149(3-4):374-80.

- Race GJ, Tillery GW, Dysert PA. A history of pathology and laboratory medicine at Baylor University Medical Center. Baylor University Medical Center Proceedings. 2004;17(1):42-55.
- Randall EK. PET-Computed tomography in veterinary medicine: review article. Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice. 2016;46(3):515-533.
- Ribas LM, Massad MRR, Tremori TM, Reis STJ, Eising T, Rocha NS. Postmortem analysis of injuries by roadkill of a white-eared opossum (*Didelphis Albiventis*) by radiographs and forensic necropsy - a Virtopsy case report. Journal of Veterinary Science and Technology. 2015;7:282.
- Roberts IS, Benbow EW, Bisset R, Jenkins JPR, Lee SH, Reid H, et al. Accuracy of magnetic resonance imaging in determining cause of sudden death in adults: comparison with conventional autopsy. Histopathology. 2003;42(5):424-430.
- Ross S, Spendlove D, Bolliger S, Christe A, Oesterhelweg L, Grabherr S, et al. Postmortem whole-body CT angiography: evaluation of two contrast media solutions. American Journal of Roentgenology. 2008;190(5):1380-1389.
- Ross S, Ebner L, Flach P, Brodhage R, Bolliger SA, Christe A, et al. Postmortem whole-body MRI in traumatic causes of death. American Journal of Roentgenology. 2012;199(6):1186-1192.
- Ross SG, Bolliger SA, Ampanozi G, Oesterhelweg L, Thali MJ, Flach PM. Postmortem CT angiography: capabilities and limitations in traumatic and natural causes of death. Radiographics. 2014;34(3):830-846.
- Ruder TD, Hatch GM, Siegenthaler L, Ampanozi G, Mathier S, Thali MJ, et al. The influence of body temperature on image contrast in post-mortem MRI. European Journal of Radiology. 2012;81(6):1366-1370.
- Santy K, Nan P, Chantana Y, Laurent D, Nadal D, Richner B. The diagnosis of brain tuberculoma by 1H-magnetic resonance spectroscopy. European Journal of Pediatrics. 2011;170(3):379-387.
- Terry RJ. Needle necropsy. Journal of Clinical Pathology. 1955;8(1):38-41.
- Thayyil S, Sebire NJ, Chitty LS, Wade A, Chong WK, Olsen O, et al. Post-mortem MRI versus conventional autopsy in fetuses and children: a prospective validation study. The Lancet. 2013;382(9888):223-233.
- Thali MJ, Yen K, Schweitzer W, Vock P, Boesch C, Ozdoba C, et al. Virtopsy, a new imaging horizon in forensic pathology: virtual autopsy by postmortem multislice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI) - a feasibility study. Journal of Forensic Sciences. 2003;48(2):386-403.
- Thali MJ, Braun M, Buck U, Aghayev E, Jackowski C, Vock P, et al. VIRTOPSY -scientific documentation, reconstruction and animation in forensic: individual and real 3D data based geo-metric approach including optical body/object surface and radiological CT/MRI scanning. Journal of Forensic Sciences. 2005; 50(2):428-442.
- Van den Tweel JG, Taylor CR. A brief history of pathology: preface to a forthcoming series that highlights milestones in the evolution of pathology as a discipline. Virchows Archiv. 2010;457(1):3-10.
- Vock P. Internal body documentation. In: Thali MJ, Dirnhofer R, Vock P. (Ed.). The Virtopsy approach: 3D optical and radiological scanning and reconstruction in forensic medicine. Boca Raton (FL): CRC Press; 2009. p. 61-114.
- Wüllenweber R, Schneider V, Grumme T. A computer-tomographical examination of cranial bullet wounds. Zeitschrift für Rechtsmedizin. 1977;80(3):227-246.
- Zerbini T, Silva LFF, Ferro ACG, Kay FU, Amaro Jr E, Pasqualucci CAG, et al. Differences between postmortem computed tomography and conventional autopsy in a stabbing murder case. Clinics. 2014;69(10):683-687.

Recebido em: 19/04/2016
Received in: 04/19/2016

Aprovado em: 14/09/2016
Approved in: 09/14/2016