

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE VETERINÁRIA**

ELETORRETINOGRÁFIA NA OFTALMOLOGIA VETERINÁRIA

Paula Henzel Barbacovi

Porto Alegre

2018/1

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE VETERINÁRIA**

ELETORRETINOGRÁFIA NA OFTALMOLOGIA VETERINÁRIA

Autor: Paula Henzel Barbacovi

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Medicina Veterinária.

Orientador: Prof. Dr. João Antonio Tadeu Pigatto

Porto Alegre

2018/1

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer minha família, meus irmãos Pablo e Rodrigo, por sempre terem acreditado em mim e me ensinado a amar os animais, minha mãe, Ana Maria, por nunca me deixar desistir e sempre ter sido meu maior exemplo e meu porto seguro.

Aos amigos que fiz durante essa caminhada e que com certeza levarei para a vida, em especial Letícia, Rafael e Marina, por sempre terem compartilhado os momentos bons e ruins da graduação e da vida.

À todos os colegas e amigos que encontrei no Serviço de Oftalmologia Veterinária da UFRGS, principalmente Eric, Renata, Mariane, Cecília, Eduarda, Gêssica, Ângela e Marcela, que se tornaram parte da minha família dentro da faculdade e compartilharam comigo o amor pela oftalmologia.

Ao meu professor e orientador, João Pigatto, por todas as oportunidades que me destes durante a graduação e por ter dividido seus conhecimentos e seu amor pela oftalmologia.

À todas as pessoas que fizeram parte desta jornada, dentro e fora da UFRGS, principalmente aos que já não estão mais presentes, meus avós Diva e Carmo, meu padrinho Luciano e meu pai, João Carlos.

Por último, gostaria de agradecer ao Rogério e a Virgínia, que serviram de inspiração e trilharam esse caminho todo ao meu lado, que me fizeram ter a cada dia mais certeza de que escolhi seguir a profissão certa.

RESUMO

Na oftalmologia veterinária, a avaliação da visão é essencial para o correto diagnóstico e tratamento dos pacientes. Diversas afecções oculares podem ser diagnosticadas clinicamente através de exames de rotina, porém muitas retinopatias ainda necessitam de exames mais especializados para seu correto diagnóstico. A eletrorretinografia (ERG) é um exame objetivo e não invasivo que avalia a funcionalidade da retina, captando a resposta elétrica gerada pelas células retinianas quando estas sofrem estímulos luminosos. Através da ERG é possível realizar o diagnóstico diferencial de diversas doenças oculares, principalmente doenças de retina e neurológicas, além de ser muito utilizado como exame pré cirúrgico de catarata e método de pesquisa tanto em humanos quanto em animais. É uma técnica cada vez mais empregada em animais. Exige que o profissional que realize o exame tenha conhecimento sobre anatomia, fisiologia do globo ocular e suas estruturas e também saiba como interpretar os resultados do teste. Objetiva-se realizar uma revisão a respeito da técnica de ERG, falando sobre anatomia e fisiologia da retina, os componentes utilizados para a realização do exame e sua interpretação e algumas doenças que tem seu diagnóstico auxiliado por meio deste método.

Palavras – chave: ERG. Oftalmologia veterinária. Retinopatias. Animais domésticos.

ABSTRACT

In veterinary ophthalmology, the assessment of vision is essential for the correct diagnosis and treatment of patients. Several ocular disorders can be clinically diagnosed through routine exams, but many retinopathies still need more specialized exams for correct diagnosis. The electroretinography (ERG) is an objective noninvasive exam that evaluates the retinal functionality, capturing the electric response generated for the retinal cells when they undergo light stimuli. Through the ERG is possible to realize the differential diagnosis of several ocular disorders, mainly retinal and neurologic diseases, besides being widely used as a pre surgical test for cataract removal and researched method in humans and animals. Is an increasingly used technique in animals. It requires that the professional who will perform the exam has knowledge about anatomy and physiology of the eye and its structures and knows how to interpret the results. This study aims to conduct a review of the ERG technique, talking about retinal anatomy and physiology, the components used to exam realization and its interpretation and talk about some disorders, which has the diagnosis helped by this method.

Key-words: ERG. Veterinary ophthalmology. Retinopathies. Domestic animals.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Cinco principais células da retina e célula de Müller.....	9
Figura 2	–	Corte histológico das camadas retinianas.....	11
Figura 3	–	Porção interna e externa dos fotorreceptores.....	12
Figura 4	–	Tipos de retina.....	14
Figura 5	–	Caminho do sinal elétrico.....	17
Figura 6	–	Eletrodo bipolar, posicionado sobre a córnea de um cão.....	20
Figura 7	–	Disposição dos equipamentos para a realização da ERG por flash em cães....	21
Figura 8	–	Diferentes tipos de eletrodos ativos usados em cães.....	22
Figura 9	–	Figuras hexagonais utilizadas para fonte de estímulos luminosos da mfERG em sequências aleatórias (A e B).....	23
Figura 10	–	Realização da mfERG em suíno.....	23
Figura 11	–	Exemplos de ERG obtidos de um cão SRD de dois anos, utilizando diversos protocolos longos.....	25
Figura 12	–	Exemplo de ERG com protocolo simples.....	26
Figura 13	–	Eletrorretinograma de Beagles hígidos em diferentes idades.....	27
Figura 14	–	Traçado esquemático de um eletrorretinograma, mostrando as três ondas.....	29
Figura 15	–	Representação dos três principais parâmetros para interpretação da ERG.....	30
Figura 16	–	FERG de um gato.....	30
Figura 17	–	Catarata madura em um cão.....	31
Figura 18	–	Orangotango apresentando catarata madura (a) e (b), realizando ERG como exame pré-operatório (c).....	32
Figura 19	–	Traçado resultante da ERG do olho esquerdo do animal, apresentando todos os parâmetros normais.....	33
Figura 20	–	Olhos do orangotango dois meses pós a cirurgia de facoemulsificação.....	33
Figura 21	–	Atrofia progressiva de retina em um cão da raça Spaniel Tibetano de 7 anos	34
Figura 22	–	Resultados da ERG de gatos abssínios.....	35
Figura 23	–	Comparação dos gráficos de ERG obtidos entre um cão normal e cães com diferentes oftalmopatias.....	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	RETINA	8
2.1	Camadas retinianas	9
2.2	Células da retina	12
2.3	tipos de retina	13
3	VISÃO	15
3.1	Fototransdução	15
3.2	Caminho dos sinais visuais	16
3.3	Adaptação ao escuro e à luz	177
4	ELETORRETINOGRRAFIA	18
4.1	Histórico	18
4.2	Tipos de ERG	19
4.2.1	ERG de campo total (FERG).....	19
4.2.2	ERG padrão (PERG)	21
4.2.3	ERG multifocal (mfERG).....	22
4.3	PROTOCOLOS	24
4.3.1	Protocolo simples	24
4.3.2	Protocolo longo	25
4.4	Preparação para o exame	26
4.5	Fatores que afetam o exame	26
4.6	Resultados do exame	277
4.6.1	Onda A.....	277
4.6.2	Onda B.....	288
4.6.3	Onda C.....	288
4.6.4	Interpretação	29
5	AFECCÇÕES OCULARES	311
5.1	Catarata	311
5.2	Atrofia progressiva de retina	344
5.3	Degeneração súbita adquirida de retina (DSAR)	366
6	CONCLUSÕES	388
	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

Dentre as especialidades médicas, a oftalmologia é considerada uma das primeiras a existir, visto que o olho, assim como as afecções que o acometem, vem sendo estudados desde o Egito Antigo (BACELLAR *et al.*, 2008). Na Medicina Veterinária, esta é uma área que tem tido uma grande importância, pois a procura por especialistas capacitados é cada vez maior.

Os animais domésticos, assim como os humanos, podem ter uma grande variedade de afecções oculares, como inflamações e infecções das camadas internas e externas do olho, traumas, tumores e doenças hereditárias que vão desde malformações das pálpebras até doenças retinianas (GELATT, 2012). Por isso, é necessária a realização de diagnóstico e tratamentos adequados para toda esta gama de doenças, o que é feito por veterinários oftalmologistas qualificados (OFRI, 2002).

Com o avanço dos serviços médicos, cirúrgicos e de diagnóstico oferecidos dentro da oftalmologia veterinária, também houve expansão na área da eletrofisiologia (OFRI, 2002), pois algumas enfermidades não são possíveis diagnosticar apenas com os exames de rotina da oftalmologia. Por exemplo, o uso do oftalmoscópio em animais que apresentam visão anormal ou perda da performance visual pode indicar ao veterinário que o fundo de olho não está saudável, mas é preciso determinar o local do problema. Em casos de perda súbita da visão, com possível retinopatia, ou em determinados casos em que há opacidade de córnea ou do cristalino, em que se torna difícil a avaliação do segmento posterior do bulbo ocular, se faz necessária a realização de um exame que possa avaliar a funcionalidade retiniana (AGUIRRE, 1973).

Apesar de não existir um teste que determine a integridade funcional de todas as camadas da retina e que possa afirmar com total certeza de que a retina possui função ou não, a eletrorretinografia (ERG) é o que chega mais próximo do ideal (AGUIRRE, 1973). É um teste que capta a resposta elétrica gerada pelas células da retina, quando estas sofrem estímulos luminosos (BACELLAR *et al.*, 2008). Na Medicina Veterinária brasileira, ainda é uma técnica pouco difundida, mas muito útil como ferramenta para um melhor diagnóstico e um consequente tratamento adequado em pacientes que apresentam afecções de retina (BACELLAR *et al.*, 2008).

Objetiva-se nesta revisão bibliográfica a respeito da ERG na Oftalmologia Veterinária, abordando a história da eletrofisiologia, a anatomia e fisiologia da retina, a formação da visão, os diferentes tipos de eletrorretinogramas que existem, a interpretação do exame e as doenças retinianas que podem ter seus diagnósticos e tratamentos auxiliados pelo uso da ERG.

2 RETINA

A retina é considerada a porção nervosa do olho e compõe a sua camada mais interna. Seu desenvolvimento acontece a partir da vesícula óptica do diencefalo, estrutura com a qual o nervo óptico permanece conectado (GELATT, 2012). A retina é uma extensão complexa do cérebro e, diferente dos receptores presentes na pele que são terminações nervosas de um órgão, ela é, de fato, parte do sistema nervoso central (HAGIWARA *et al.*, 2014).

Dividida em duas porções, sensorial (óptica) e não sensorial (cega), a retina tem como funções a recepção e a transformação de estímulos luminosos externos em estímulos elétricos, e a transmissão destes ao cérebro para que possa ser formada a imagem (GELATT, 2012; KÖNIG; LIEBICH, 2011). A porção sensorial da retina é composta pela camada pigmentada externa e pela camada nervosa interna, que inclui as camadas de fotorreceptores e sináptica, ela que é responsável pela transdução dos estímulos luminosos em energia (KÖNIG; LIEBICH, 2011). Enquanto que a porção cega constitui a parte do disco óptico, considerada um ponto cego por não possuir células fotorreceptoras (KÖNIG; LIEBICH, 2011; SISSON; GROSSMAN; GETTY, 1986).

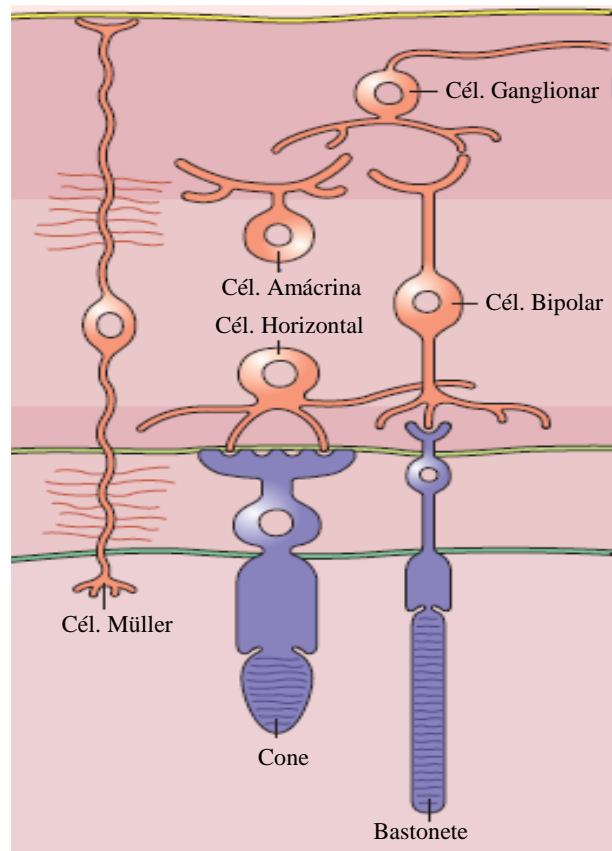
Existem cinco tipos celulares principais que compõe a retina dos animais vertebrados, essas células são: amácrinas, bipolares, fotorreceptoras, ganglionares e horizontais e estão distribuídas ao longo das camadas retinianas (HAGIWARA *et al.*, 2014). As células fotorreceptoras são as responsáveis por receber o estímulo da luz e transformá-lo em estímulo elétrico, porém para que a luz chegue nestas células, ela precisa passar primeiro pelas células ganglionares, bipolares, amácrinas e horizontais (HAGIWARA *et al.*, 2014).

As células ganglionares localizam-se na camada mais interna da retina, fazem sinapse com as células bipolares. As células amácrinas fazem a mediação lateral entre as células ganglionares e as bipolares, enquanto que as células horizontais fazem a mediação entre células bipolares e os fotorreceptores através de seus prolongamentos horizontais, que permitem o contato com diversos fotorreceptores (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2013).

As células bipolares são as responsáveis por fazer a sinapse com os fotorreceptores, e são classificadas em dois tipos, as difusas (sinapse com dois ou mais fotorreceptores, podendo chegar até seis) e as monossinápticas (fazem contato com apenas um cone em uma extremidade e uma célula ganglionar em outra extremidade) (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2013).

Estes cinco tipos de células estão espalhadas pelas camadas da retina, que serão descritas abaixo.

Figura 1 – Cinco principais células da retina e célula de Müller



Fonte: Maggs, Miller e Ofri (2012, tradução nossa)

2.1 Camadas retinianas

A retina dos animais domésticos é composta por dez camadas. A primeira camada, a partir da parte externa em direção à interna, é o epitélio pigmentar da retina, localizado entre a coróide e a camada de fotorreceptores. Este epitélio é responsável pelo transporte de nutrientes da coróide para as camadas externas da retina (KOMÁROMY; SMITH; BROOKS, 1998a; GELATT, 2012) e também pela metabolização de pigmentos dos fotorreceptores, tarefa esta que é essencial para a resposta sensitiva da retina à luz e, em alguns casos de inflamações retinianas, o epitélio pigmentar pode ter um papel fagocitário importante (MAGGS; MILLER; OFRI, 2012). Suas células são pigmentadas, porém nos animais domésticos existe uma parte não pigmentada nesse epitélio, chamada de *tapetum lucidum*, estrutura responsável por refletir a luz de volta a retina, resultando em uma maior estimulação dos fotorreceptores (KOMÁROMY; SMITH; BROOKS, 1998a).

As nove camadas seguintes são as que representam a porção neurosensorial da retina (KOMÁROMY; SMITH; BROOKS, 1998a). A segunda é a camada de fotorreceptores ou camada visual, composta pelos cones e bastonetes, cujos nomes se dão devido ao formato de

suas células (REECE, 2007). Os bastonetes são receptores escotópicos, ou seja, especializados para a visão na penumbra (noturna), enquanto que os cones são fotópicos, receptores especializados para a visão em cores (diurna) (REECE, 2007; KÖNIG; LIEBICH, 2011). Os bastonetes, de maneira geral, são mais densos nas partes periféricas da retina e esparsos na área central, enquanto que com os cones ocorre o inverso (REECE, 2007). Os fotorreceptores são as células responsáveis por transformar a luz em impulso elétrico, para que, ao chegar ao cérebro esse impulso seja transformado em imagem (GELATT, 2012).

A terceira camada chama-se limitante externa. Ela é responsável por separar os segmentos internos e o núcleo dos fotorreceptores e é formada por junções e oclusões que unem membranas celulares de cones, bastonetes e células de Müller. Estas células servem como um esqueleto, se estendendo ao longo da retina, e possuem funções estruturais, de regulação iônica e de armazenamento energético (funções metabólicas) (KOMÁROMY; SMITH; BROOKS, 1998a; MAGGS; MILLER; OFRI, 2012). Portanto as células de Müller são muito importantes, pois são elas que dão sustentação para as camadas, ajudam no transporte de nutrientes e no isolamento de neurônios da retina (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2013).

A camada nuclear externa (quarta camada) é composta pelos corpos celulares dos cones e bastonetes, ou seja, é uma fila de núcleos celulares (GELATT, 2012). O número de fileira de núcleos presentes depende do local da retina e da espécie, em cães e gatos há um número menor de fileiras na periferia, enquanto que no centro há um maior número (KOMÁROMY; SMITH; BROOKS, 1998a). Cães possuem de 12-15 fileiras, gatos de 19-20, já equinos e suínos possuem menos fileiras, cinco em ambas as espécies, enquanto que bovinos possuem dez (GELATT, 2012).

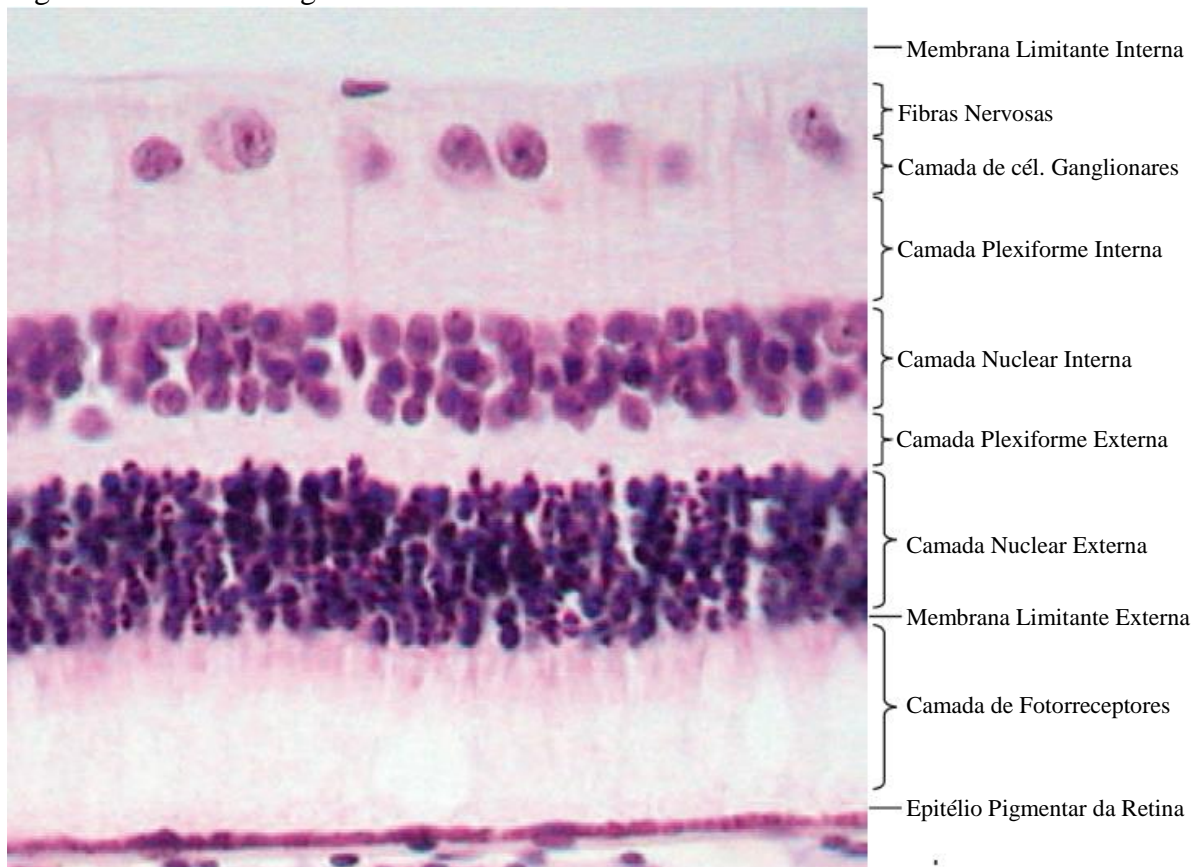
Já a quinta camada, chamada plexiforme externa, é formada pelas porções terminais dos axônios de cones e bastonetes, que fazem sinapse com as células horizontais e bipolares (MAGGS; MILLER; OFRI, 2012). O terminal dos axônios dos bastonetes tem formato de pêra, de onde saem uma ou duas invaginações, enquanto o terminal dos cones são maiores e mais largos, com maior número de invaginações e estas são mais rasas, nas invaginações é onde as células horizontais e bipolares irão se inserir para realizar as sinapses (GELATT, 2012).

A sexta camada é a nuclear interna e é composta por núcleos de células bipolares, horizontais, amácrinas, de Müller e de neurônios plexiformes internos (MAGGS; MILLER; OFRI, 2012). Essas células atuam na modificação e integração dos estímulos luminosos, ou seja, elas mantêm conexões entre a camada de fotorreceptores e a camada de células ganglionares (GELATT, 2012).

Na camada plexiforme interna é onde irão ocorrer sinapses entre os axônios das células amácrinas e bipolares com os dendritos das células ganglionares. A oitava camada, das células ganglionares, é considerada a camada celular mais interna da retina e é a segunda camada sináptica da retina (KOMÁROMY; SMITH; BROOKS, 1998a). As células ganglionares são amielinizadas e passam a ter mielina somente quando entram na nona camada (HAGIWARA *et al.*, 2014), onde seus axônios fazem parte da formação do disco óptico, essa camada é chamada de camada de fibras nervosas (KÖNIG; LIEBICH, 2011). Quando os axônios das células ganglionares se concentram e formam o disco óptico, eles passam a área crivosa e passam a constituir o nervo óptico (KÖNIG; LIEBICH, 2011).

A última camada é a limitante interna, que se encontra virada para o vítreo e nela estão ligadas as extremidades das células de Müller (MAGGS; MILLER; OFRI, 2012), essa camada é uma camada basal, que tem como função separar a retina do vítreo (GELATT, 2012).

Figura 2- Corte histológico das camadas retinianas



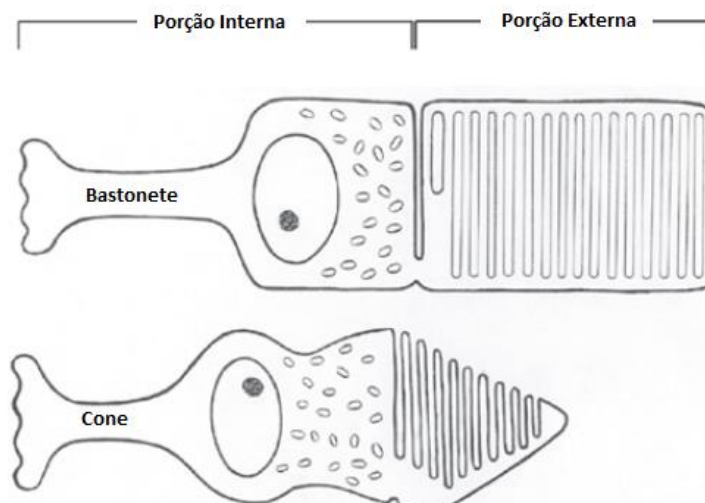
Fonte: Maggs, Miller e Ofri (2012, tradução nossa)

2.2 Células da retina

De toda a luz do ambiente que é captada pelo olho, apenas 10% alcançam os fotorreceptores, e isso deve-se ao fato de que essa luz precisa passar pelas três camadas funcionais da retina. Portanto, a luz captada passa primeiro pela camada de células ganglionares, depois pela camada de células bipolares e só então chega aos fotorreceptores, tendo sido 90% da luz absorvida ou refletida pelas camadas anteriores, não ajudando na formação da imagem (REECE, 2007).

Os cones e os bastonetes são divididos em uma porção interna, que é a sua região metabólica, e uma porção externa, que é a parte fotossensível e contém os chamados ftopigmentos, substâncias essenciais para a formação da visão (ERICKSON, 2015). Os ftopigmentos são formados por proteínas variantes da vitamina A, a rodopsina nos bastonetes e a iodopsina nos cones (HAGIWARA *et al.*, 2014). A rodopsina, responsável por captar tons de cinza, necessita de baixa intensidade de luz, sendo facilmente excitada, ao contrário da iodopsina que depende de alta intensidade de luz e tem um limite de excitabilidade mais alto (UEMURA, 2015).

Figura 3- Porção Interna e Externa dos Fotorreceptores



Fonte: Erickson (2015, tradução nossa)

Nos mamíferos domésticos a retina é composta majoritariamente por bastonetes, diferente da retina dos pássaros, onde os cones são predominantes, o que significa que os animais domésticos tem uma melhor adaptação ao escuro (visão na penumbra), enquanto os pássaros tem uma visão melhor durante o dia (REECE; ROWE, 2017).

2.3 Tipos de retina

A retina tem um alto consumo de oxigênio, sendo um dos tecidos mais metabolicamente ativos do corpo (MAGGS; MILLER; OFRI, 2012). Na maioria dos animais, a retina tem um suprimento sanguíneo duplo, sendo suas camadas externas sendo supridas pela coroide e as camadas mais internas sendo supridas pelos vasos internos da retina (CHASE, 1982), estes que podem ser vistos no exame de fundo de olho (MAGGS; MILLER; OFRI, 2012).

Várias arteríolas, capilares e vênulas originados dos vasos internos da retina, penetram na retina para suprir as camadas médias (MAGGS; MILLER; OFRI, 2012). As variações de vasculatura retinianas podem ser classificadas em quatro tipos: holangiótica, merangiótica, paurangiótica e anangiótica (GELATT, 2012).

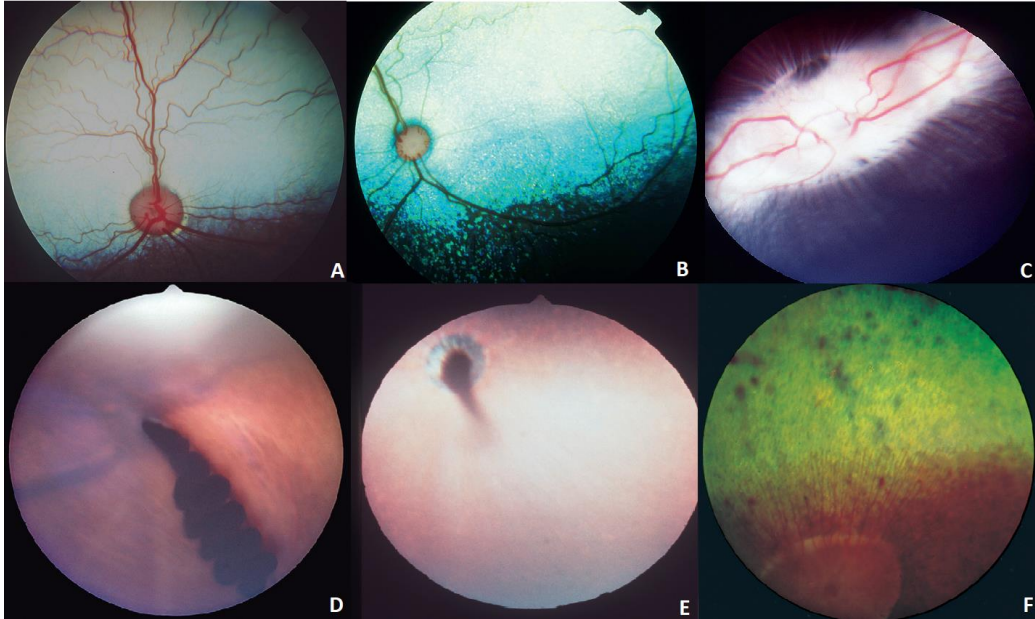
O padrão mais frequentemente encontrado é o holangiótico, onde a parte sensorial da retina recebe suprimento sanguíneo direto, ou de artéria central (em primatas) ou de artérias ciliarretiniais, que surgem em diversos ramos em volta do disco óptico (maioria dos mamíferos) (MAGGS; MILLER; OFRI, 2012).

Retina merangiótica se caracteriza pelos vasos localizando em uma determinada região, eles saem do disco óptico medial e lateralmente, deixando o resto da retina descoberta, é o padrão comum de lagomorfos (GELATT, 2012).

Quando a retina apresenta um padrão paurangiótico, os vasos sanguíneos não se estendem muito além do disco óptico, deixando a maior parte interna da retina avascular, é um padrão comum em alguns ungulados como elefantes, rinocerontes, cavalos e em marsupiais (GELATT, 2012).

O último padrão é o da retina anangiótica, o padrão mais comum de animais não mamíferos, como os pássaros, e caracteriza-se pela ausência de vasos sanguíneos na parte sensorial da retina. Alguns mamíferos como morcegos também apresentam este padrão (MAGGS; MILLER; OFRI, 2012).

Figura 4 - Tipos de retina



Fonte: Maggs, Miller e Ofri (2012)

Retina holangiônica de cão (A) e gato (B); Merangiônica de uma coelha (C); Anangiônica de uma coruja (D) e de um Gecko (E); Retina Paurangiônica de Pônei

3 VISÃO

Antes que a luz alcance os fotorreceptores, ela precisa passar por todas as outras estruturas transparentes do globo ocular. Inicialmente, os raios luminosos passam pela primeira camada transparente do olho, a córnea, então atravessam as câmaras anterior e posterior, preenchidas pelo humor aquoso e separadas por um diafragma, a íris, então a luz atinge outra estrutura transparente, o cristalino e, passando pelo cristalino, há o humor vítreo e por fim a retina (HAGIWARA *et al.*, 2014).

É importante que cada uma dessas estruturas esteja saudável, para permitir que a luz alcance a retina. Chegando até a retina, é necessário um conjunto de reações para que a visão seja formada (REECE, 2007).

3.1 Fototransdução

A fototransdução é a reação em que os fotorreceptores irão transformar o estímulo luminoso em impulso elétrico nervoso que será então, transmitido ao cérebro. Envolve uma série de eventos bioquímicos que irão resultar na formação da visão (KAUFMAN *et al.*, 2011).

Na fototransdução, primeiramente devem ocorrer as chamadas reações de clareamento, são reações que ocorrem nos fotorreceptores, após a luz alcançar a camada dos fotorreceptores da retina. Essas reações ocorrem tanto nos cones como nos bastonetes, e são através delas, que serão gerados os impulsos nervosos que levarão as informações da imagem ao cérebro (REECE, 2007).

A Rodopsina (fotopigmento dos bastonetes) é composta por um metabólito da vitamina A, o 11-cis-retineno (ou apenas retineno) e por uma opsina (proteína), chamada de escotopsina. Essas duas substâncias se unem para sintetizar a rodopsina (HAGIWARA *et al.*, 2014). Quando há um estímulo luminoso, começa então a degradação da rodopsina. O 11-cis-retineno é transformado em 11-trans-retineno (REECE, 2007), a partir daí, a rodopsina é dividida em 11-trans-retineno e escotopsina através de diversas ações enzimáticas (REECE; ROWE, 2017).

Toda essa transformação do retineno irá resultar, através de mensageiros secundários, no fechamento dos canais de Na^+ , o que gera uma hiperpolarização da membrana receptora e uma diminuição na liberação do transmissor, na sinapse com as células bipolares. Os canais de Na^+ , no escuro, permanecem abertos permitindo que ocorra difusão dos íons Na^+ para dentro dos bastonetes, mantendo o potencial da membrana baixo (HAGIWARA *et al.*, 2014).

Apesar de os cones serem menos sensíveis à luz, terem diferentes espectros de absorção e propriedades fotofísicas, que permitem visão em cores, suas moléculas envolvidas na fototransdução são homólogas às dos bastonetes (KAUFMAN *et al.*, 2011). Os cones também possuem o 11-cis-retineno, que formam a iodopsina (fotopigmento dos cones), e suas reações de clareamento são similares, também levando a uma hiperpolarização da membrana dos receptores (ERICKSON, 2015).

3.2 Caminho dos sinais visuais

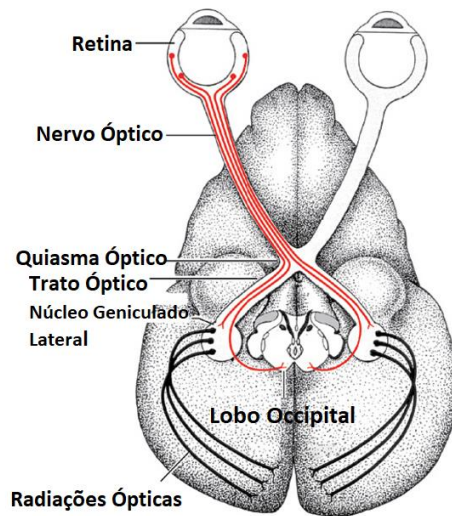
Os axônios da camada de células ganglionares da retina se reúnem na camada de fibras nervosas (nona camada retiniana), no disco óptico (ponto cego da retina) onde passam a ser mielinizadas e formam o nervo óptico (ERICKSON, 2015). O nervo tem diferentes diâmetros dependendo da espécie, nos equinos mede cerca de 5mm, nos cães 2mm e nos gatos 1mm, ele penetra do crânio pelo forame e canais ópticos (KÖNIG; LIEBICH, 2011).

As fibras do nervo seguem até o quiasma óptico, no encéfalo, onde os dois nervos ópticos (um de cada olho) se encontram. Ao nível do quiasma irá ocorrer a decussão das fibras, ou seja, as fibras do nervo óptico são divididas em temporais e nasais, ao chegar no quiasma, as fibras nasais cruzam para o lado oposto enquanto que as fibras temporais permanecem no mesmo lado (ERICKSON, 2015).

Os tratos ópticos formados por essa decussão chegam ao tálamo, nos núcleos geniculados laterais, a partir disto ocorre a radiação óptica que chega ao córtex visual, localizado no lobo occipital (UEMURA, 2015).

Após ocorrer a fototransdução, o estímulo elétrico gerado será levado ao cérebro através do caminho acima citado, onde este estímulo será interpretado pelo cérebro e transformado em visão (KAUFMAN *et al.*, 2011).

Figura 5 - Caminho do sinal elétrico



Fonte: Uemura (2015)

3.3 Adaptação ao escuro e à luz

A adaptação ao escuro ocorre quando se passa do estado fotópico (ambientes iluminados) para o estado escotópico (ambientes escuros) (MAGGS; MILLER; OFRI, 2012), para que isso ocorra é necessário que toda a rodopsina que se encontrava no estado clareado, se regenere, ou seja, em ambientes iluminados a rodopsina se encontra em baixa quantidade, pois ela foi degradada, quando se entra em ambientes escuros, ela se regenera e a quantidade de rodopsina aumenta (REECE, 2007), permitindo uma maior sensibilidade à luz, enquanto que em ambientes iluminados, a sensibilidade é menor, mas a acuidade visual é maior, e esse processo demora em torno de trinta minutos (MAGGS; MILLER; OFRI, 2012).

Já na adaptação à luz ocorre o contrário, a rodopsina que se encontrava em grande quantidade no escuro, irá se degradar quando em ambiente luminoso, logo que isso ocorre leva um tempo para que os olhos se acostumem, que é o tempo até que a quantidade de rodopsina esteja balanceada com a luz presente (REECE; ROWE, 2017).

4 ELETORRETINOGRRAFIA

A ERG ou eletrorretinograma é um exame oftálmico eletrofisiológico que detecta a resposta da retina à estímulos luminosos (BACELLAR *et al.*, 2008). O teste permite que seja avaliada a integridade da retina, ou seja, ele capta a resposta da retina como um todo (HONSHO *et al.*, 2004), não sendo capaz de medir a atividade de uma única classe de células. Assim, a ERG reflete a atividade de todas as unidades que participam da geração de resposta elétrica (AGUIRRE, 1973). É um exame capaz de determinar se as células retinianas são funcionais, porém ele não irá dizer se existe ou não acuidade visual, pois a visão depende de diversos fatores e não somente da função celular (HONSHO *et al.*, 2004).

É um exame não invasivo e fácil de ser realizado, porém exige que o profissional operador seja capacitado e compreenda o funcionamento do aparelho e também esteja apto a interpretar os resultados do exame (BACELLAR *et al.*, 2008). A ERG é utilizada na realização de diagnóstico, prognóstico, tratamento, avaliação da progressão de doenças retinianas e também muito usada para estudar a função da retina, tanto na medicina humana quanto na veterinária (KOMARÓMY; SMITH; BROOKS, 1998b). Por exemplo: é utilizada como exame pré-cirúrgico em casos de catarata, na avaliação dos danos causados à retina pelo glaucoma e na caracterização de doenças que podem levar à cegueira (KOMARÓMY; SMITH; BROOKS, 1998b; NARFSTRÖM *et al.*, 2002).

4.1 Histórico

Os primeiros estudos sobre a retina começaram em meados do século XIX, quando Hermann Von Helmholtz criou o primeiro oftalmoscópio, o que permitiu a visualização do fundo de olho e a partir daí houve diversos avanços nos estudos da retina (ÁVILA, 2003). Em 1865, um pesquisador sueco, Holmgren, descobriu utilizando sapos como modelo biológico, que existiam impulsos elétricos no olho, os quais eram gerados após o animal sofrer estímulo luminoso. O mesmo pesquisador, 15 anos após, foi o primeiro a afirmar que o estímulo elétrico era gerado pela retina (BACELLAR *et al.*, 2008).

O primeiro eletrorretinograma surgiu em 1877, criado por um pesquisador chamado Dewar (BACELLAR *et al.*, 2008), porém não houve estudos publicados. A primeira publicação de um eletrorretinograma ocorreu apenas em 1924 e, nessa época, já haviam sido descobertas as ondas geradas no exame e maneiras mais adequadas de se adaptar os eletrodos à córnea (NARFSTRÖM, 2002).

Na veterinária, a eletrofisiologia começou a ser estudada e utilizada em meados do século XX, na Inglaterra, quando um médico veterinário relatou atrofia de retina progressiva em um canino da raça Setter Irlandês. Este veterinário, Herbert Parry, suspeitou que a atrofia observada poderia ser estudada através da ERG. Ele foi o pioneiro na avaliação dos efeitos da adaptação do olho às diversas condições de luminosidade em cães (OFRI, 2002).

A partir do século XX, a ERG começou a evoluir até as técnicas que são conhecidas atualmente e várias espécies de animais já foram avaliadas. Porém, apesar de todos os estudos já publicados e parâmetros descobertos, a ERG ainda é um exame pouco utilizado na Medicina Veterinária do Brasil, poucos veterinários oftalmologistas utilizam esta técnica ou conhecem o funcionamento do aparelho (BACELLAR *et al.*, 2008).

4.2 Tipos de ERG

Segundo a *Internacional Society for Clinical Electrophysiology of Vision* (ISCEV), existem três tipos de ERG: a de campo total, a padrão e a multifocal. Todas requerem três componentes essenciais no eletrorretinógrafo (aparelho utilizado para realizar a ERG), que são os eletrodos, um sistema de gravação e uma fonte de estímulo luminoso (ROBSON *et al.*, 2018). Na Medicina Veterinária, a ERG de Campo Total é a mais comum (NARFSTRÖM *et al.*, 2002).

4.2.1 ERG de Campo Total (FERG)

Também conhecida como ERG por Flash, este tipo avalia a resposta elétrica da retina como um todo. Ela registra a soma de mudanças no potencial de membrana que ocorrem em todas as células da retina, predizendo se a retina é funcional ou não (KOMARÓMY; SMITH; BROOKS, 1998b). É o método mais empregado na veterinária por ser o mais objetivo e também por ser capaz de detectar lesões nas camadas mais externas da retina (SAFATLE *et al.*, 2010).

A fonte luminosa utilizada nesse exame é um flash de luz difusa e são usados três eletrodos, um ativo, um referência e um terra (SAFATLE *et al.*, 2010). O eletrodo ativo é o que irá ficar em contato com a córnea, conjuntiva ou até mesmo com a pele da pálpebra inferior. O eletrodo de referência pode estar junto ao ativo (eletrodos bipolares) ou separado, próximo ao canto lateral do olho e já o terra fica normalmente sobre a crista occipital (HONSHO *et al.*, 2004; MCCULLOCH *et al.*, 2015).

Figura 6 - Eletrodo bipolar posicionado sobre a córnea de um cão

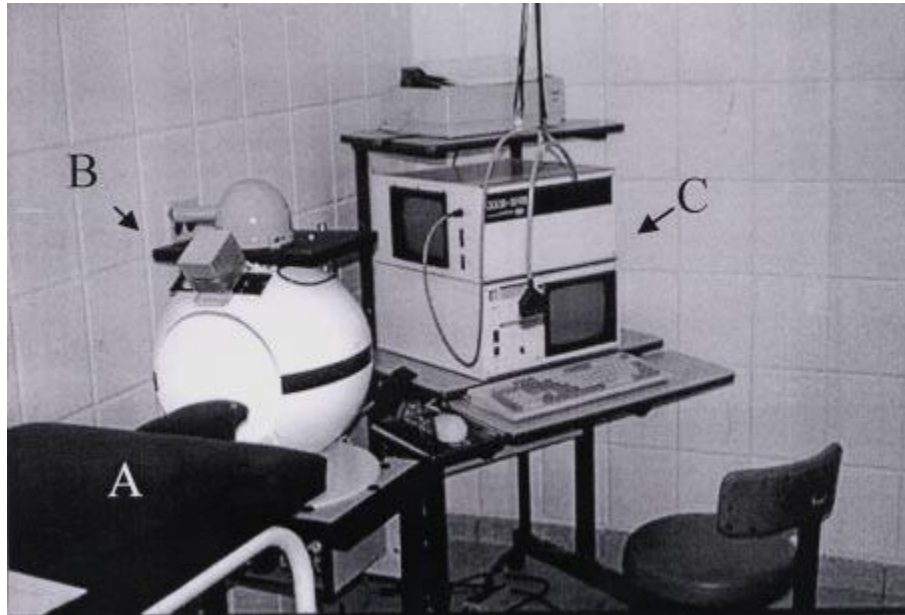


Fonte: Safatle *et al.* (2010)

Quando ocorre o estímulo luminoso, as células retinianas geram uma corrente elétrica captada pelos eletrodos e levados ao aparelho. Entretanto, como os potenciais da retina são baixos, é necessário que haja um amplificador por onde os eletrodos devem passar antes de a corrente chegar ao aparelho, para que o estímulo seja gravado (HONSHO *et al.*, 2004), e também é necessário que hajam filtros, para que o aparelho não registre os “ruídos” que podem ser gerados junto com a amplificação do sinal elétrico (NARFSTRÖM *et al.*, 2002).

Segundo Narfström *et al.* (2002), o melhor método para gerar estímulos luminosos na FERG é utilizar o estimulador Ganzfeld, uma espécie de doma dentro da qual se posiciona a cabeça do animal, pois ele proporciona uma distribuição uniforme de luz através da retina. Os difusores oculares como lentes de contato podem ser utilizados, porém não são recomendados pois dificultam a medida de difusão e intensidade de luz na retina, mas se o responsável pela realização do exame estiver ciente desse fator, não haverá problemas na interpretação. Safatle *et al.* (2010) e Honsho *et al.* (2004) também utilizaram e recomendaram o estimulador Ganzfeld em seus estudos.

Figura 7- Disposição dos equipamentos para a realização da ERG por flash em cães.



Fonte: Oriá *et al.* (2004)

(A) Mesa para apoio do paciente durante o exame; (B) Doma Ganzfeld para estímulo luminoso; (C) Equipamento que grava e mostra os resultados

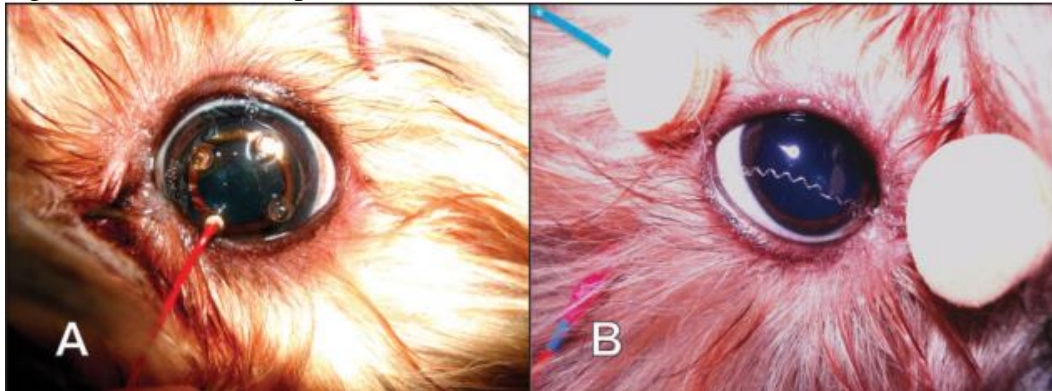
Esta técnica de ERG pode ser realizada com o paciente sedado ou anestesiado, depende do comportamento do animal, que precisa estar imóvel durante o exame (KOMARÓMY; SMITH; BROOKS, 1998b).

4.2.2 ERG Padrão (PERG)

ERG Padrão ou PERG, diferente da ERG de Campo Total, reflete o funcionamento das células ganglionares e é utilizada para diagnosticar doenças nas camadas internas da retina, como, por exemplo, o dano causado por glaucoma (HULL; THOMPSON, 1989).

A PERG requer de três eletrodos, porém o eletrodo ativo não pode diminuir a qualidade da imagem na retina, portanto os eletrodos em forma de lentes de contato não podem ser utilizados nesse caso, diferentemente do que a ERG por flash, que apesar de não ser recomendado, pode ser utilizado (BACH *et al.*, 2012). O eletrodo de referência deve ser separado do eletrodo ativo e posicionado no canto lateral de cada olho, já o eletrodo terra pode ser colocado no mesmo local que na ERG por flash (BACH *et al.*, 2012).

Figura 8 - Diferentes tipos de eletrodos ativos usados em cães



Fonte: Pereira *et al.* (2013)

(A) Eletrodo em forma de lente de contato, pode ser usado na fERG. (B) Eletrodo de fibra, indicado para PERG

A fonte de estímulo luminoso utilizada é um quadro quadriculado preto e branco que mantém a retina constantemente iluminada (HAMOR *et al.*, 2000).

No estudo realizado por Hamor *et al.* (2000), com o intuito de comparar a FERG e a PERG em cães com aumento da pressão intraocular a curto prazo, demonstrou que a PERG é um indicador mais sensível do que a FERG nestes casos.

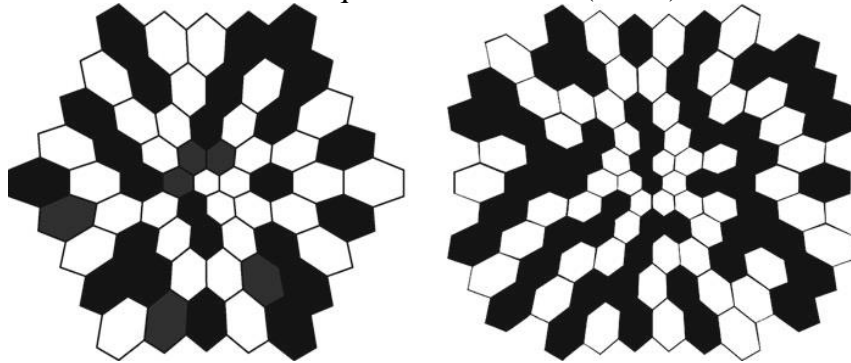
Apesar de ser uma técnica que permite diagnósticos precoces de doenças como o glaucoma ou lesões no nervo óptico, esta não é muito utilizada na oftalmologia veterinária pois normalmente requer que o paciente esteja anestesiado (KOMARÓMY; SMITH; BROOKS, 1998b).

4.2.3 ERG Multifocal (mfERG)

Esta é uma técnica que detecta respostas locais em diferentes regiões da retina, ela fornece uma medida topográfica da atividade eletrofisiológica da retina (HOOD *et al.*, 2012). Esse método diagnóstico é considerado um método mais sofisticado que as outras ERG's (GELATT, 2012).

A fonte de estímulos luminosos é uma matriz de elementos hexagonais, também exibidos em uma tela, sendo 50% brancos e 50% pretos, semelhante à utilizada na PERG, porém com formato diferente (HOOD *et al.*, 2012). A iluminação de cada elemento (brancos e pretos) é determinada por uma sequência sequialeatória, conhecida como sequência m, já o padrão de estímulos varia diversas vezes por segundo (GELATT, 2012).

Figura 9 - Figuras hexagonais utilizadas para fonte de estímulos luminosos da mfERG em seqüências aleatórias (A e B)



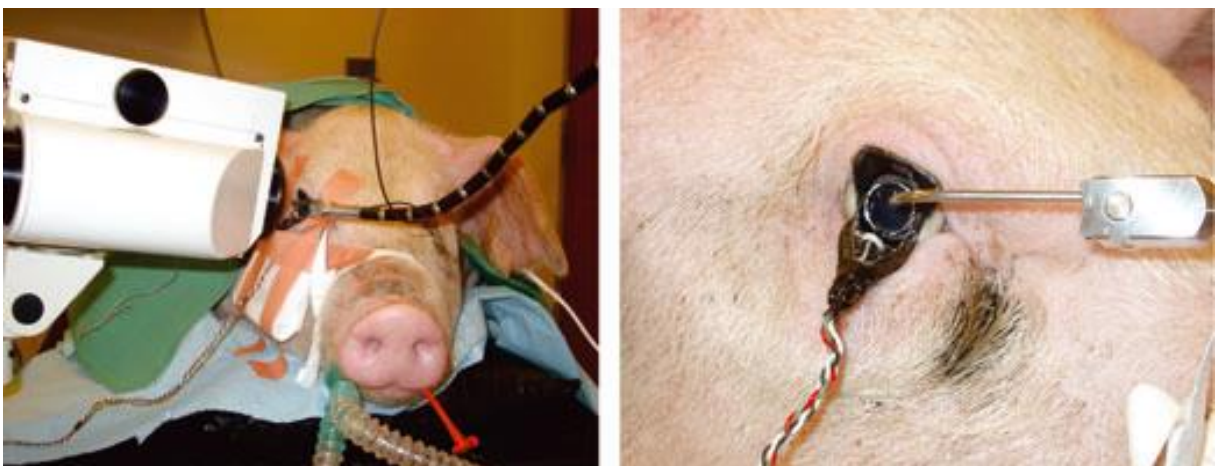
Fonte: Hood *et al.* (2012)

Esta técnica utiliza os mesmos três eletrodos que as outras duas técnicas, o eletrodo ativo pode ser uma lente de contato, fibra ou até mesmo um eletrodo em folha, os eletrodos referência e terra seguem o mesmo padrão das outras técnicas citadas anteriormente (HOOD *et al.*, 2012).

Na mfERG também é necessário que o animal esteja anestesiado (VOSS KYHN, 2007), mas é muito importante que o paciente fixe olhar em um ponto, portanto dependendo do tipo de anestesia, pode ser muito complicado de realizar o exame. Do mesmo modo o paciente deve-se manter completamente parado, o que impede que o animal fique acordado durante o teste (GELATT, 2012).

Voss Kyhn *et al.* (2007) realizaram um estudo para caracterizar os picos da mfERG em suínos e seus resultados demonstraram que os traçados são muito similares aos traçados humanos, podendo-se então utilizar os suínos como modelos biológicos para pesquisas com mfERG para a medicina humana.

Figura 10 - Realização da mfERG em suíno



Fonte: Voss Kyhn (2007)

(A) animal anestesiado, com o aparelho em que a tela hexagonal fará o estímulo luminoso. (B) Eletrodo ativo em forma de lente de contato utilizado no animal

4.3 Protocolos

Na oftalmologia humana, já existem diversos protocolos padronizados para a realização de todos os tipos de ERG, criados pela ISCEV, que são atualizados frequentemente e disponibilizados no site <http://www.iscev.org/standards/index.html> (ROBSON *et al.*, 2018).

No entanto, devido ao grande número de espécies e raças é difícil a padronização dos exames na Medicina Veterinária (OFRI, 2002).

Em 2002, Narfström *et al.*, publicaram um guia para ERG clínica em cães, padronizando alguns protocolos, de acordo com as recomendações do Colégio Europeu de Oftalmologia Veterinária (NARFSTRÖM *et al.*, 2002), que foram atualizados por Ekesten *et al.* (2012). Porém não existem protocolos padrões para outras espécies e mesmo assim, dependendo da raça de cão, é preciso adaptar o protocolo (OFRI, 2002).

De um modo geral, alguns autores diferenciam dois tipos básicos de protocolos para a FERG, um que seria mais rápido e simples, para avaliar se há resposta retiniana ou não (NARFSTRÖM *et al.*, 2002) e outro mais elaborado que é capaz de diferenciar a função de cones e bastonetes (NARFSTRÖM, 2002).

Mas é importante saber que normalmente os protocolos podem ser adaptador, podendo variar em quantidade de estímulo, método de registro e principalmente nos fármacos escolhidos para sedação e/ou anestesia do paciente (HONSHO *et al.*, 2004).

Safatle *et al.* (2010) utilizaram em seu estudo o protocolo humano sugerido pela ISCEV em 2004 (MARMOR *et al.*, 2004), utilizando o mesmo em 233 cães, com variadas idades e afecções (SAFATLE *et al.*, 2010), o que só afirma o quanto os protocolos podem variar de clínico para clínico.

4.3.1 Protocolo Simples

É utilizado para avaliar a função da retina de uma maneira mais grosseira, mais utilizado como exame pré-operatório para catarata ou em casos de cegueira súbita (NARFSTRÖM *et al.*, 2002).

Consiste em preparar o cão em ambiente iluminado, testar a função retiniana usando o FERG, após esse primeiro teste a luz deverá ser apagada e a retina testada em 1 minuto e em 5 minutos de adaptação ao escuro (NARFSTRÖM, 2002).

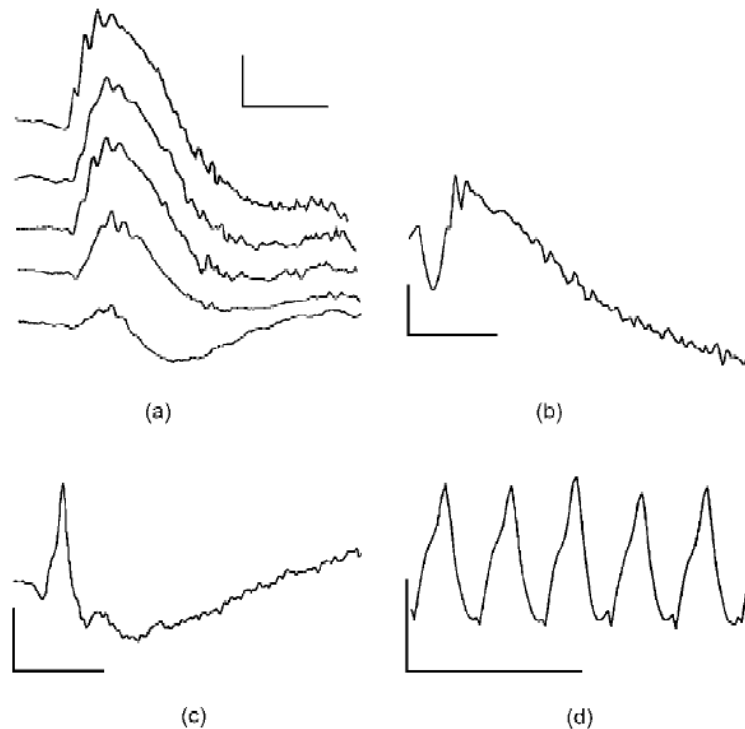
4.3.2 Protocolo Longo

Este tipo de protocolo é mais complexo e serve para avaliar a função de cones e bastonetes, mais utilizado no diagnóstico de desordens dos fotorreceptores tanto hereditárias quanto adquiridas, como degeneração de cones, displasia de bastonetes e atrofia progressiva de retina ou para diagnosticar retinopatias cuja origem é desconhecida (NARFSTRÖM, 2002).

É considerado mais complexo pois, além de ser mais demorado, existem variações no protocolo, de acordo com o que se deseja avaliar ou diagnosticar (NARFSTRÖM *et al.*, 2002). Os estímulos podem ser repetitivos ou apenas variando a frequência de luz, pode ser realizado com adaptação ao escuro ou à luz e variações na intensidade do estímulo pode ser utilizado para avaliar cones e bastonetes em separado (KOMARÓMY; SMITH; BROOKS, 1998b).

De acordo com o guia mais atual da ISCEV, os bastonetes podem ser avaliados durante a adaptação ao escuro, enquanto os cones são avaliados durante a adaptação à luz, mas também pode-se fazer avaliação mista adaptada ao escuro com intensidade normal ou alta (EKESTEN *et al.*, 2013).

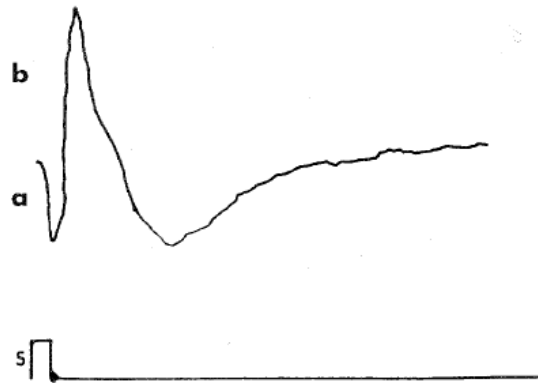
Figura 11 - Exemplos de ERG obtidos de um cão SRD de dois anos, utilizando diversos protocolos longos



Fonte: Narfström *et al.* (2002)

(a) Protocolo de flash único para resposta de bastonetes durante adaptação ao escuro. (b) Flash único para resposta combinada de cones e bastonetes durante adaptação ao escuro. (c) Flash único durante adaptação à luz para resposta de cones. (d) Resposta de cones durante cintilação de flash

Figura 12 - Exemplo de uma ERG com protocolo simples



Fonte: Aguirre (1973)

4.4 Preparação para o exame

A preparação para o exame irá depender do protocolo estabelecido pelo veterinário responsável, se for utilizado a FERG, o paciente pode apenas estar sedado (protocolo simples) ou anestesiado (protocolo longo) (AGUIRRE, 1973). A luminosidade do ambiente também irá depender do protocolo, se o paciente fará o teste em adaptação à luz ou ao escuro (NARFSTRÖM, 2002).

Mas há fatores que são necessários independentemente do tipo de protocolo aplicado ao exame, o primeiro é que o animal seja submetido a exames oftálmicos de rotina, como prova da fluoresceína, teste lacrimal de schirmer, tonometria, exame de fundo de olho com oftalmoscópio (ORÍÁ *et al.*, 2004).

As pupilas devem estar bem dilatadas, podendo utilizar atropina ou outro midriático de longa duração (AGUIRRE, 1973), a temperatura corporal, assim como oxigenação e ventilação do paciente devem ser monitoradas e controladas (NARFSTRÖM *et al.*, 2002). O animal deve ser colocado em decúbito esternal ou lateral e as pálpebras mantidas abertas durante o procedimento para exposição da córnea (KOMARÓMY; SMITH; BROOKS, 1998b).

O ambiente não deve possuir janelas, permitindo que o ambiente fique totalmente escuro, de acordo com a necessidade e a temperatura do ambiente deve ser controlada (HONSHO *et al.*, 2004).

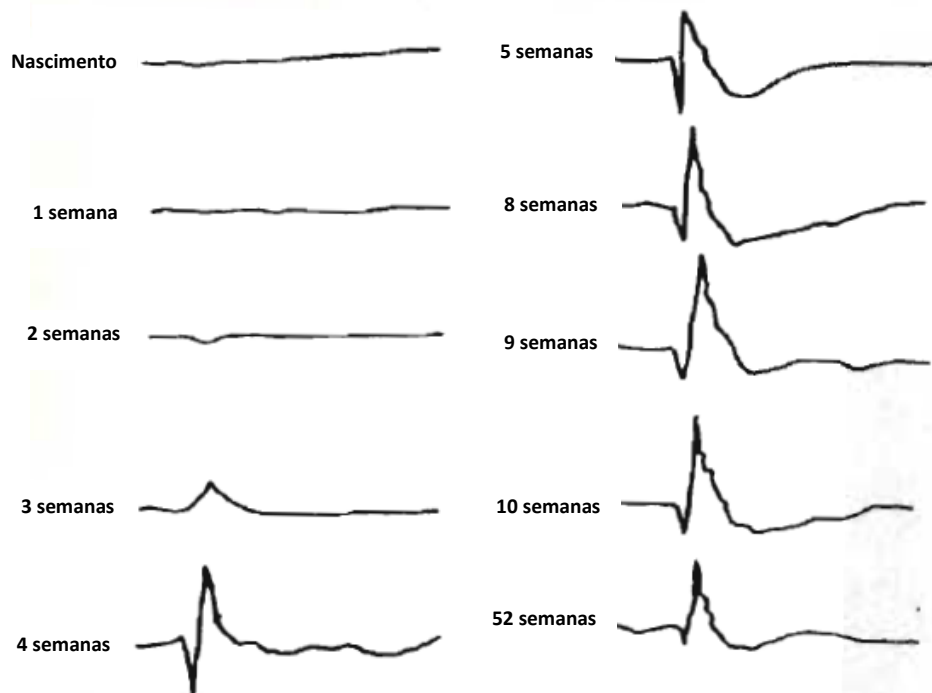
4.5 Fatores que afetam o exame

Sempre que se for realizar a ERG, é preciso estar ciente de que existem fatores que irão influenciar os resultados do exame e são fatores tanto controláveis quanto incontroláveis.

Os fatores considerados controláveis são a temperatura ambiente, as propriedades do aparelho (tipo de estímulo, gravação, intensidade e comprimento de onda utilizado), tamanho das pupilas, tipo de anestésico ou sedativo, oxigenação e níveis de glicose sanguínea (HONSHO *et al.*, 2004; KOMARÓMY; SMITH; BROOKS, 1998b).

Já dentre os fatores incontroláveis estão a espécie, raça e idade dos pacientes (animais muito jovens ou muito velhos tendem a ter menos fotorreceptores), condição da retina (HONSHO *et al.*, 2004; KOMARÓMY; SMITH; BROOKS, 1998b).

Figura 13 - Eletrorretinogramas de Beagles hígidos em diferentes idades



Fonte: Komáromy, Smith e Brooks (1998b, tradução nossa)

4.6 Resultados do Exame

Para realizar a correta interpretação da ERG, o veterinário responsável deve conhecer todos os componentes gerados pelo exame para poder entender o traçado resultante. Existem três componentes básicos que podem ser identificados na ERG, são as chamadas “ondas”, onda A, onda B e onda C (BACELLAR *et al.*, 2008).

4.6.1 Onda A

É a primeira onda presente no traçado da ERG, é negativa e se origina nas camadas externas da retina, gerada principalmente pela resposta de cones e bastonetes (BACELLAR *et*

al., 2008). O tamanho da onda negativa irá depender da quantidade de fotorreceptores presentes na retina, em cães e gatos, bastonetes estão presentes em maior número do que os cones, portanto considera-se que nestas espécies a onda-a representa primariamente a atividade de bastonetes (AGUIRRE, 1973).

Para diferenciar a resposta de cones e bastonetes geradas na primeira onda, utiliza-se protocolos mais longos e específicos de ERG (citado no item 4.3.2) (NARFSTRÖM *et al.*, 2002).

A onda A representa a atividade dos fotorreceptores apenas no começo, na metade da onda ela passa a representar uma parte da atividade de células bipolares (KOMARÓMY; SMITH; BROOKS, 1998b), porém outros autores como Bacellar *et al.* (2008) e Aguirre (1973), descrevem apenas como resposta de cones e bastonetes.

4.6.2 Onda B

A segunda onda vista no exame é uma onda positiva, gerada pelas células das camadas mais internas da retina (HONSHO *et al.*, 2004), principalmente células bipolares e células de Müller (HONSHO *et al.*, 2004; KOMARÓMY; SMITH; BROOKS, 1998b). Existem divergências na literatura a respeito de quais células são mais significantes na geração da onda B, enquanto Komarómy; Smith; Brooks (1998b) citam células bipolares como as principais células, sem excluir a importância das células de Müller. Já Honsho *et al.* (2004), acredita que as células de Müller são responsáveis pela maior parte da onda B gerada.

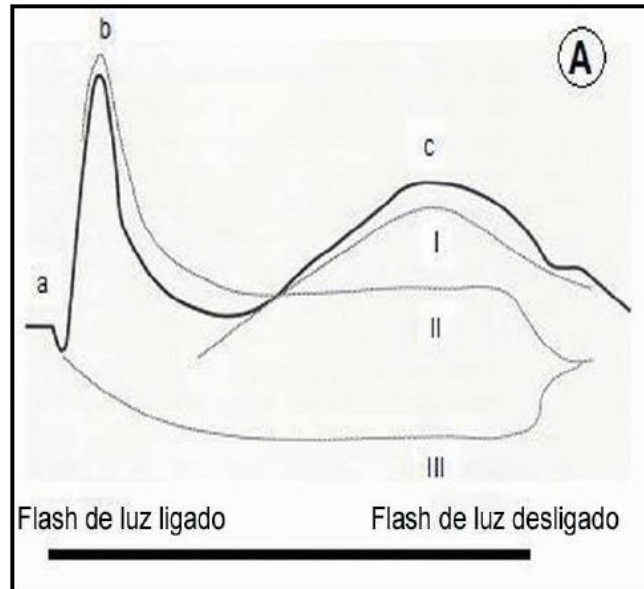
4.6.3 Onda C

Esta onda raramente é detectada nos exames de ERG comumente utilizados na Medicina Veterinária, por ser gerada mais tarde do que as duas primeiras ondas (HONSHO *et al.*, 2004) e também por ser distorcida e atenuada pela maioria dos filtros (KOMARÓMY; SMITH; BROOKS, 1998b). É relacionada com o epitélio pigmentar da retina e sua polarização, ou seja, é diretamente relacionada com a fototransdução dos estímulos luminosos, portanto essa onda é a que representa a fototransdução de um modo geral e a integridade do epitélio pigmentar da retina (KOMARÓMY; SMITH; BROOKS, 1998b).

Essa onda é captada quando o animal está adaptado ao escuro e sua resposta aparece tempo após a onda B (SAFATLE *et al.*, 2010). Enquanto a onda A e onda B são captadas em

milissegundos, a onda C é captada em segundos, por isso é considerada mais demorada e é gerada em protocolos de ERG longos (BACELLAR *et al.*, 2008).

Figura 14 - Traçado esquemático de um eletrorretinograma, mostrando as três ondas



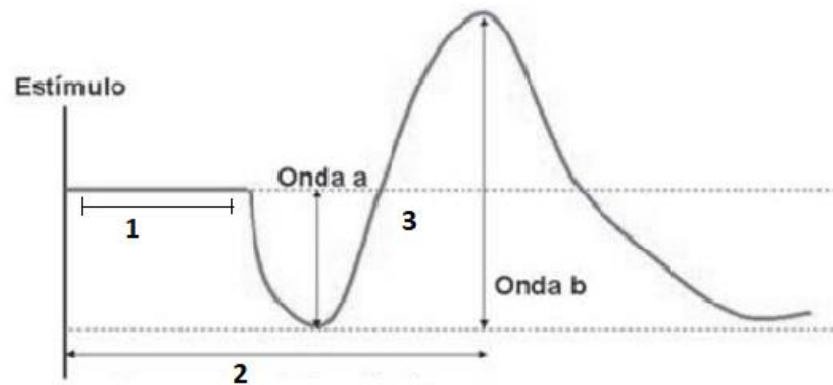
Fonte: BAcellar et al. (2008)

4.6.4 Interpretação

Após entender o que cada traçado do exame significa, deve-se considerar três parâmetros principais para a interpretação da ERG, são eles: latência, tempo implícito e amplitude (HONSHO *et al.*, 2004).

A latência representa o tempo entre o estímulo luminoso e o começo da onda, já o tempo implícito é o tempo entre o flash de luz e o ápice da onda, enquanto que a amplitude representa a distância da base até o ápice da onda e é o parâmetro mais importante a ser avaliado (ORÍÁ *et al.*, 2004).

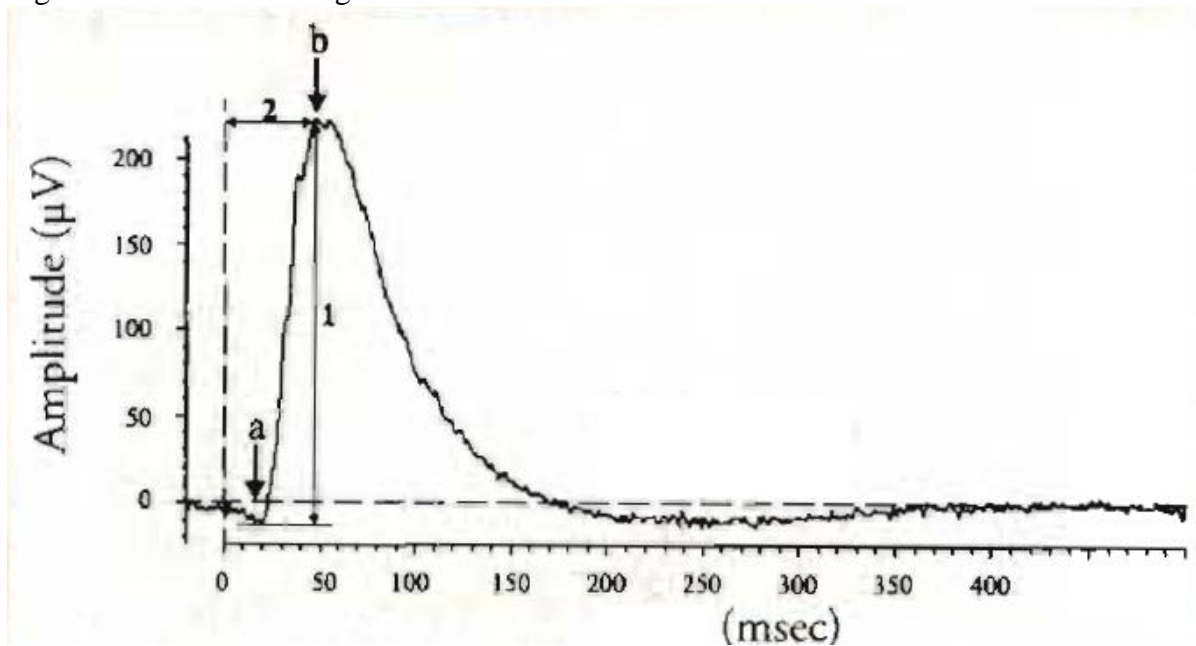
Figura 15 - Representação dos três principais parâmetros para interpretação da ERG



Fonte: Safatle et al. (2010)

A amplitude pode ser medida em qualquer uma das três ondas, mas normalmente a mais utilizada é a onda-b, por ser a maior, portanto a mais fácil de ser medida (KOMARÓMY; SMITH; BROOKS, 1998b). Ela é medida em micro-volts (μv) (HONSHO *et al.*, 2004) e pode ser afetada pela idade do paciente, portanto deve-se sempre levar em consideração que animais jovens tem uma maior amplitude de onda, enquanto que os mais velhos tem ondas menos amplas (SAFATLE *et al.*, 2010).

Figura 16 - FERG de um gato



Fonte: Komáromy, Smith e Brooks (1998b)

Ondas A e B (onda C não é visível em msec), juntamente com a amplitude (1) e tempo implícito(b) da onda B

5. AFECÇÕES OCULARES

A ERG pode auxiliar no diagnóstico e diferenciação de diversas retinopatias que acometem os animais domésticos, além de ser um exame pré-operatório para cirurgia de catarata, também utilizado para acompanhar a progressão de doenças retinianas, investigar causas de cegueira súbita e também para pesquisa (MAGGS; MILLER; OFRI, 2012).

Algumas das afecções que podem ser auxiliadas pela ERG serão descritas em seguida.

5.1 Catarata

A catarata é uma doença que acomete a lente do olho, pode ter diversas causas como doenças sistêmicas, medicamentos ou substâncias tóxicas, pode ser congênita, hereditária, relacionada com a idade e até mesmo com casos de uveíte (GELATT, 2012).

Independente da causa, a catarata se caracteriza pela opacificação do cristalino, proveniente de uma desordem bioquímica que afeta a nutrição, o metabolismo energético ou proteico e o balanço osmótico do cristalino (MAGGS; MILLER; OFRI, 2012). No momento em que a catarata se torna clinicamente evidente, significa que alterações irreversíveis já ocorreram na lente (GELATT, 2013).

Em cães, a catarata é classificada de acordo com seu grau de desenvolvimento, podendo ser incipiente, imatura, madura e hipermadura (GELATT, 2012). O tratamento indicado para catarata é cirúrgico, através da facoemulsificação, técnica essa onde permite a retirada do cristalino (PONTES; CORRÊA, 2011).

Figura 17 - Catarata madura em um cão



Fonte: Gellat (2012)

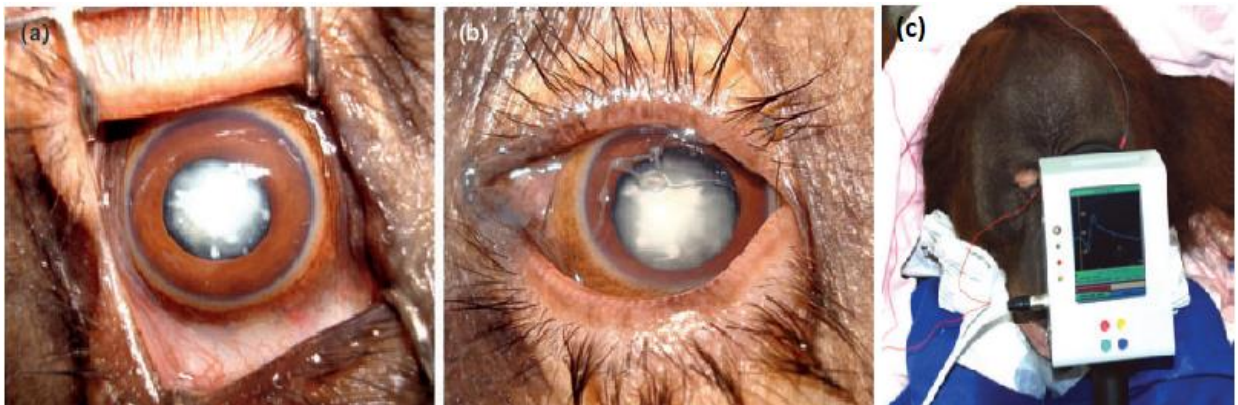
Antes de encaminhar o paciente para a cirurgia, é necessário certificar-se de que o paciente seja um candidato apto para a realização do procedimento. Primeiramente deve-se conhecer a causa da catarata, o estágio, então avaliar o histórico e realizar avaliação sistêmica e oftálmica completa do paciente (GELATT, 2012).

Após realizados exames oftálmicos e sistêmicos é importante que o animal faça a ERG, pois normalmente a avaliação do fundo de olho com um oftalmoscópio não é possível, pois a opacidade da lente impede a visualização da retina (KOMARÓMY; SMITH; BROOKS, 1998b). Também é importante pois alguns animais com catarata podem apresentar outras retinopatias, como atrofia progressiva de retina (OFRI, 2002).

A opacidade da lente irá agir como um filtro, reduzindo a força do estímulo luminoso, portanto a ERG pode apresentar uma amplitude atenuada em cães com a retina normal (MAEHARA *et al.*, 2007). Também é importante lembrar que o exame irá dizer se a retina está funcional, não significando que o animal irá retornar a visão normal após a facoemulsificação e nem que futuramente ele não virá a desenvolver alguma retinopatia (HONSHO *et al.*, 2004).

Montiani-Ferreira (2010) relatou o caso de um orangotango de 14 anos que apresentava catarata madura bilateral, foi submetido à exames oftalmológicos de ultrassom e ERG para realização de facoemulsificação.

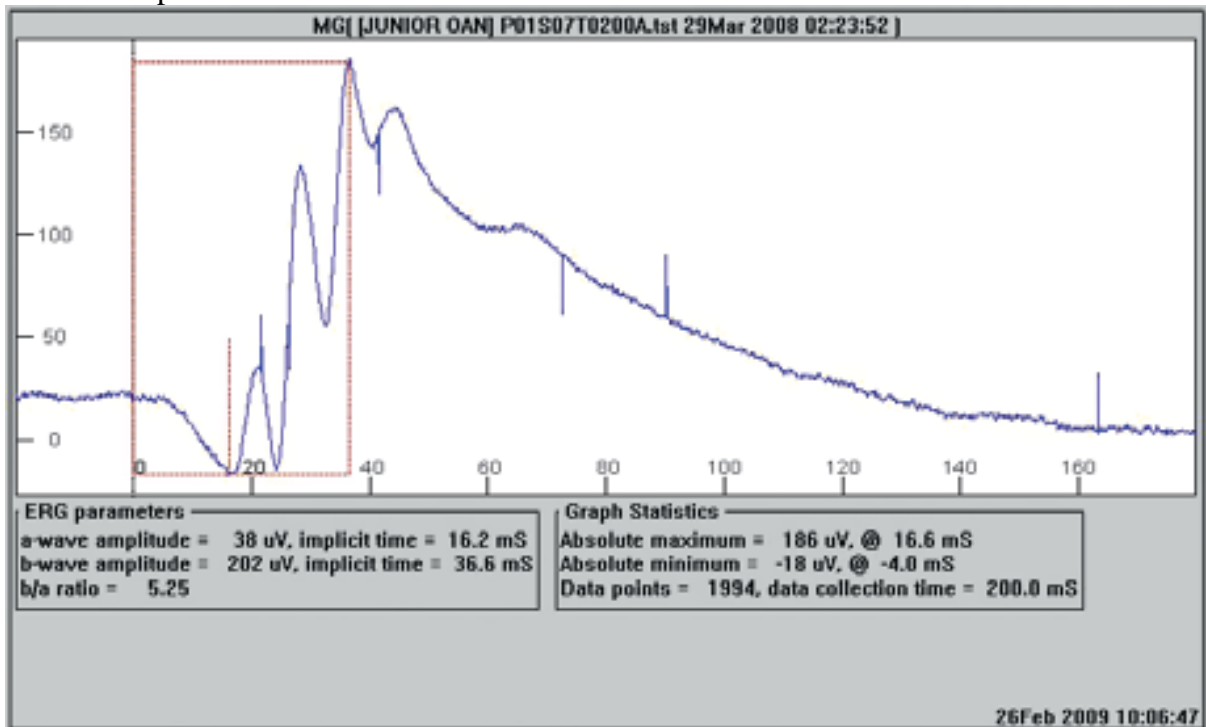
Figura 18 - Orangotango apresentando catarata madura (a) e (b), realizando ERG como exame pré-operatório (c)



Fonte: Montiani-Ferreira (2010)

Apesar de o animal apresentar catarata madura, os exames apresentaram resultados normais, a ERG mostrou que a retina continuava funcional (MONTIANI-FERREIRA *et al.*, 2010).

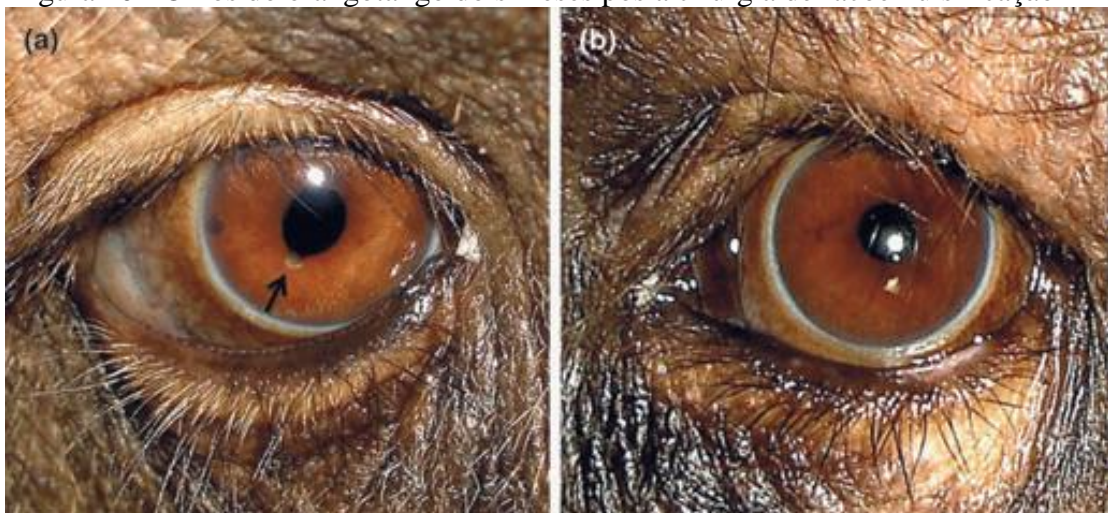
Figura 19 - Traçado resultante da ERG do olho esquerdo do animal, apresentando todos os parâmetros normais



Fonte: Montiani-Ferreira (2010)

Após a realização destes exames, o orangotango foi submetido à cirurgia de facoemulsificação. Dois meses após a cirurgia o animal apresentava visão normal (MONTIANI-FERREIRA *et al.*, 2010).

Figura 20 - Olhos do orangotango dois meses pós a cirurgia de facoemulsificação



Fonte: Montiani-Ferreira (2010)

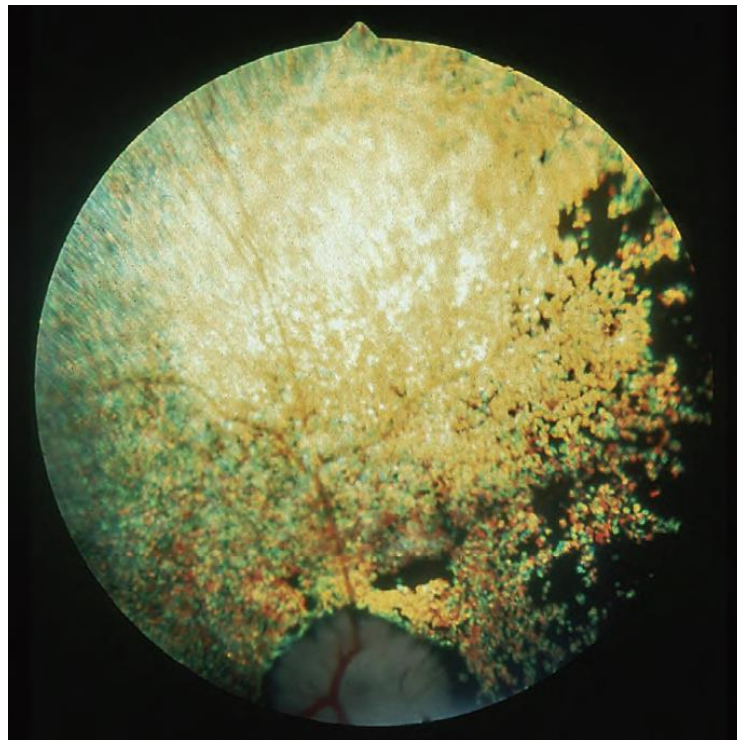
O animal apresentou uma pequena cicatriz de íris (a), mas que não gerou nenhuma alteração da visão

5.2 Atrofia progressiva de retina

Atrofia progressiva de retina (APR) é um nome que compreende todas as doenças degenerativas e displásticas dos fotorreceptores (OFRI, 2002).

Muitos clínicos dividem a APR em dois tipos, baseado no tipo de apresentação do fundo de olho: APR generalizada, que caracteriza-se por uma hiperreflexia de toda a retina, nos estágios finais da doença, resultando em atrofia das estruturas retinianas e cegueira (GELATT, 2012). Já a APR central, caracteriza-se por um acúmulo multifocal de pigmentos na retina, também causando hiperreflexia do fundo, porém sem levar à cegueira (GELATT, 2012).

Figura 21 - Atrofia Progressiva de Retina em estado avançado em um cão da raça Spaniel Tibetano de 7 anos



Fonte: Gellat (2012)

Nota-se a presença de hiperreflexia e atenuação dos vasos do fundo de olho

Nas últimas décadas a classificação da APR passou a ser mais detalhada, podendo ser classificada por idade ou por células afetadas (MAGGS; MILLER; OFRI, 2012).

Em animais jovens, é mais comum de ocorrer a displasia de cones ou bastonetes (pode ocorrer em ambos ao mesmo tempo). Ocorre antes de a retina estar totalmente formada e várias

estruturas dos fotorreceptores apresentam-se alteradas, assim a progressão da doença e a perda dos fotorreceptores é rápida (GELATT, 2012). Já em animais mais velhos, é mais comum de ocorrerem degenerações dos fotorreceptores (GELATT, 2012).

Retinopatias hereditárias acometem cones, bastonetes e células do epitélio pigmentar da retina, podendo-se dividi-las em degeneração de cones, distrofia de cones e bastonetes e distrofia do epitélio pigmentar da retina (MAGGS; MILLER; OFRI, 2012).

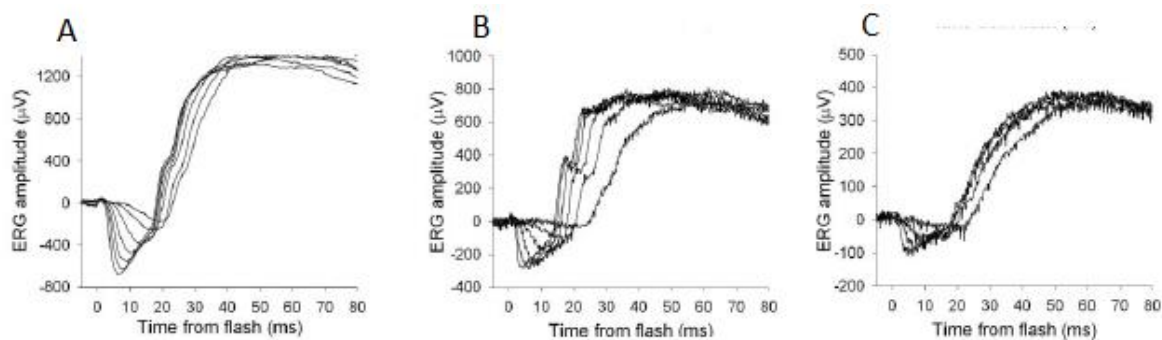
Apesar de APR não ter cura ou tratamento, se diagnosticada precocemente, pode ter prevenção, e esse diagnóstico pode ser feito através da ERG (OFRI, 2002). Por exemplo, quando há displasia de bastonetes, a ERG apresenta ausência de resposta desses fotorreceptores em cães jovens, seguida de diminuição da resposta dos cones quando o animal atinge cerca de 3 anos (OFRI, 2002).

Estudos demonstram que todas as formas de APR são causadas por mutações gênicas e muitas delas podem ser associadas à raças específicas (MIYADERA; ACLAND; AGUIRRE, 2012). Collies podem ser acometidos por diversos tipos de APR, enquanto que Poodles, Cocker Spaniel e Labradores são mais acometidos com degeneração progressiva de cones e bastonetes (OFRI, 2002). Além disso, é importante realizar a ERG pois alguns animais que desenvolvem catarata, podem também possuir APR.

Degeneração de cones também é conhecida como cegueira diurna ou acromatopsia, muito comum em Malamutes do Alaska e não chega a afetar os bastonetes (HURN; HARDMAN; STANLEY, 2003). Já a degeneração dos bastonetes é também conhecida como cegueira noturna e é muito comum em equinos, principalmente da raça Apaloosa e cães da raça Collie (MAGGS; MILLER; OFRI, 2012).

Assim como os cães, gatos também podem ser acometidos por APR, sendo os Absínios considerados modelos para estudo de degeneração retiniana (NARFSTRÖM; DECKMAN; MENOTTI-RAYMOND, 2011).

Figura 22 - Resultados da ERG gatos absínios



Fonte: Narfström, Deckman e Menotti-Raymond (2011)

Resultado de uma retina normal (A); estágio 1 de degeneração retiniana (B) e estágio 3 (C)

OFRI *et al.* (2015) realizaram um estudo caracterizando a APR em gatos da raça Bengal, utilizando a ERG, juntamente com exames oftálmicos e neurológicos, estudos genéticos e raciais e avaliações histológicas.

5.3 Degeneração súbita adquirida de retina (DSAR)

É uma doença que acomete cães, geralmente de meia idade à idosos e também cães acima do peso (KOMÁROMY *et al.*, 2016; GELATT, 2012), onde o paciente apresenta cegueira súbita, fundo de olho normal no começo da doença e pupilas dilatadas e não responsivas (OFRI, 2002).

Cooper (2011) descreveu que esta afeção normalmente ocorre entre dias e semanas, sendo de curso rápido e afeta todas as raças, tendo uma maior predileção por cães de porte pequeno.

A etiopatogenia desta afeção ainda não está totalmente elucidada (BACELLAR; BALDOTTO; MONTIANI-FERREIRA, 2009), mas sabe-se através de avaliações histológicas que ocorrem perdas de fotorreceptores, encontrando-se diversos núcleos apoptóticos (MAGGS; MILLER; OFRI, 2012).

Muitas são as causas de cegueira súbita em cães, desde doenças neurológicas até intoxicações (BACELLAR; BALDOTTO; MONTIANI-FERREIRA, 2009), por isso a ERG é um exame diagnóstico indicado nesses casos, pois enquanto em outras doenças a ERG apresenta sinais atenuados da retina, na DSAR o traçado é inexistente (OFRI, 2002; MAGGS; MILLER; OFRI, 2012), pois não há função de fotorreceptores (KOMÁROMY; SMITH; BROOKS, 1998b).

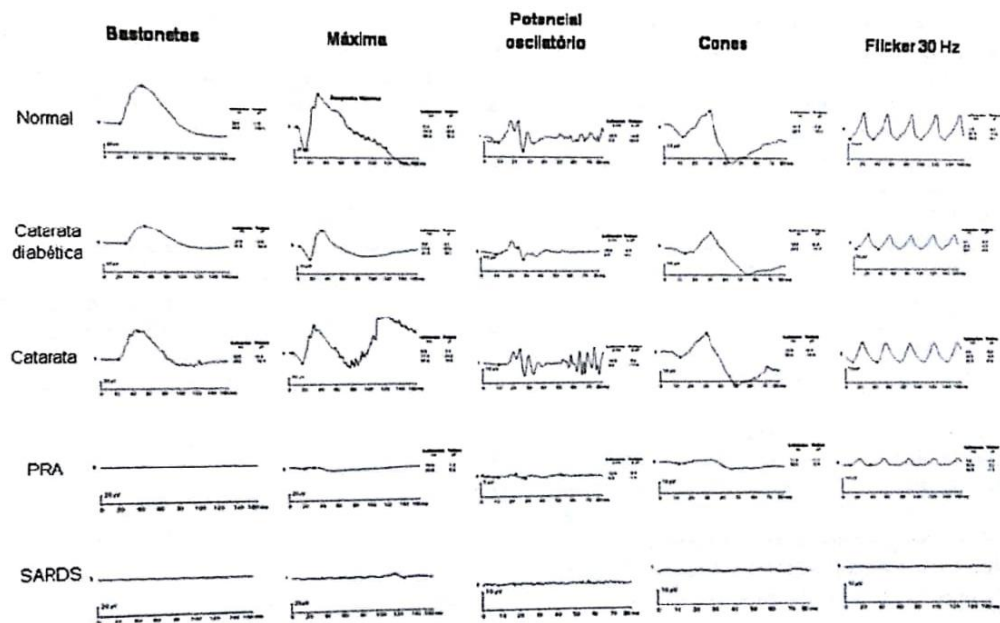
Komáromy *et al.* (2016) relataram que tipicamente os animais com DSAR não apresentam sinais neurológicos óbvios, porém alguns podem apresentar comportamento mais agitado. Apesar de ser considerada uma doença adquirida, ainda não foi possível identificar sua causa primária (MAGGS; MILLER; OFRI, 2012). Antigamente acreditava-se que era resultante de endocrinopatias, pois alguns casos de cães afetados apresentavam poliúria, polidipsia, polifagia, fadiga, ganho de peso e letargia (COOPER, 2011; (MAGGS; MILLER; OFRI, 2012), também suspeita-se de que pode ser uma doença autoimune (KOMÁROMY *et al.*, 2016). Porém não foi possível confirmar essas teorias, portanto considera-se a DSAR como uma degeneração de retina aguda, idiopática, espontânea e não inflamatória (COOPER, 2011).

O diagnóstico definitivo é realizado através da ERG, pois exames neurológicos aparecem inalterados, assim como hemograma e bioquímicos e os exames oftalmológicos

apesar de apresentarem alterações, podem levar o clínico a confundir com APR, portanto após passar por todos estes exames, a ERG irá confirmar o diagnóstico (COOPER, 2011; KOMÁROMY *et al.*, 2016).

Apesar de não ter tratamento ou cura, a DSAR é uma doença não dolorosa e, uma vez que o cão estiver adaptado a cegueira, esta condição não terá grande influência na vida do animal (COOPER, 2011).

Figura 23 - Comparação dos gráficos de ERG obtidos entre um cão normal e cães com diferentes oftalmopatias



Fonte: Safatle et al. (2010, tradução nossa)

6 CONCLUSÕES

A ERG é um exame importante para o diagnóstico tanto diferencial quanto definitivo de diversas retinopatias, apesar de não ser capaz de avaliar a acuidade visual, é o exame que mais se aproxima disto, determinando a funcionalidade retiniana.

Assim como qualquer método diagnóstico, a ERG apresenta vantagens e desvantagens, pois os equipamentos tem um custo alto, demandam tempo e especialização, porém é um exame muito importante quando se fala sobre retina, pois nem sempre é possível avaliar o fundo de olho apenas com o oftalmoscópio.

Com o avanço da oftalmologia veterinária, é importante que os profissionais estejam familiarizados com exames como a ERG, que é cada vez mais discutida e utilizada em consultórios veterinários.

É importante que cada profissional determine seu próprio protocolo e os parâmetros, visto que ainda não foi possível realizar uma padronização para os protocolos de ERG em animais domésticos, devido a grande variedade de espécies e raças.

REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, G. D. Electroretinography in veterinary ophthalmology. **Journal of the American Animal Hospital Association**, Lakewood. v. 9, p. 234, may/jun. 1973.
- ÁVILA, M. A retina no século XXI. **Arquivos Brasileiros de Oftalmologia**, São Paulo v. 66, n. 5, p. 719-730, set/out. 2003.
- BACELLAR, M. *et al.* História da eletrorretinografia. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba. v. 13, n. 4, dez. 2008.
- BACELLAR, M.; BALDOTTO, S. B.; MONTIANI-FERREIRA, F. Observações clínicas e eletrorretinográficas em cães com perda súbita de visão. **Medvep - Revista Científica de Medicina Veterinária - Pequenos Animais e Animais de Estimação**, Curitiba. v.7, n.23, p. 479-483, out/dez. 2009.
- BACH, M. *et al.* ISCEV standard for clinical pattern electroretinography (PERG): 2012 update. **Documenta Ophthalmologica**, Berlin. v. 126, n. 1, p. 1-7, Oct. 2013.
- CHASE, J. The evolution of retinal vascularization in mammals: a comparison of vascular and avascular retinae. **American Academy of Ophthalmology**, Rochester. v. 89, n. 12, p. 1518-1525, Dec. 1982.
- COOPER, S. Sudden acquired retinal degeneration syndrome (SARDS). **Companion Animal**, [s.l.] v. 16, n. 9, p. 29-31, Nov./Dec. 2011.
- DERWENT, J. J. K. *et al.* The electroretinogram components in Abyssinian cats with hereditary retinal degeneration. **Investigative ophthalmology & visual science**, St. Louis, v. 47, n. 8, p. 3673-3682, Aug. 2006.
- EKESTEN, B. *et al.* Guidelines for clinical electroretinography in the dog: 2012 update. **Documenta Ophthalmologica**, Berlin. v. 127, n. 2, p. 79-87, Jun. 2013.
- ERICKSON, Howard H. **Dukes' physiology of domestic animals**. Ames, John Wiley & Sons, 2015.
- GELATT, Kirk N. *et al.* **Veterinary ophthalmology**. Ames, John Wiley & Sons, 2012.
- GELATT, Kirk N. (Ed.). **Essentials of veterinary ophthalmology**. Ames, John Wiley & Sons, 2013.
- HAGIWARA, M. K. *et al.* **Cunningham tratado de fisiologia veterinária** (3 ed). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
- HAMOR, R. E. *et al.* Evaluation of short-term increased intraocular pressure on flash-and pattern-generated electroretinograms of dogs. **American journal of veterinary research**, Chicago, v. 61, n. 9, p. 1087-1091, Sep. 2000.
- HONSHO, C. S. *et al.* The organization of flash electroretinography unit in veterinary medicine. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1097-1104, jul./ago. 2004.
- HOOD, Donald C. *et al.* ISCEV standard for clinical multifocal electroretinography (mfERG) (2011 edition). **Documenta Ophthalmologica**, Berlin, v. 124, n. 1, p. 1-13, Oct. 2012.

- HULL, B. M.; THOMPSON, D. A. A review of the clinical applications of the pattern electroretinogram. **Ophthalmic and Physiological Optics**, Birmingham v. 9, n. 2, p. 143-152, Apr. 1989.
- HURN, S. D.; HARDMAN, C.; STANLEY, R. G. Day-blindness in three dogs: clinical and electroretinographic findings. **Veterinary ophthalmology**, Oxford, v. 6, n. 2, p. 127-130, Jun. 2003.
- JUNQUEIRA, L.C.; CARNEIRO, J. **Histologia Básica: texto e atlas** (12 ed). Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2013.
- KAUFMAN, P. L. *et al.* **Adler's Physiology of the Eye**. New York, Elsevier Health Sciences, 2011.
- KOMÁROMY, A. M. *et al.* Sudden acquired retinal degeneration syndrome (SARDS)—a review and proposed strategies toward a better understanding of pathogenesis, early diagnosis, and therapy. **Veterinary ophthalmology**, Oxford, v. 19, n. 4, p. 319-331, Jul. 2016.
- KOMÁROMY, A. M.; SMITH, P. J.; BROOKS, D. E. Electroretinography in dogs and cats. Part I. Retinal morphology and physiology. **Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian**, Yardley, v. 20, n. 3, p. 343, Jan. 1998.
- KOMÁROMY, A. M.; SMITH, P. J.; BROOKS, D. E. Electroretinography in dogs and cats. Part II. Technique, interpretation, and indications. **Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian**, Yardley, v. 20, n. 3, p. 355-366, 399, Jan. 1998.
- KÖNIG, H. E.; LIEBICH, H. G. **Anatomia dos Animais Domésticos-: Texto e Atlas Colorido**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2011.
- MAEHARA, S. *et al.* The effects of cataract stage, lens-induced uveitis and cataract removal on ERG in dogs with cataract. **Veterinary ophthalmology**, Oxford, v. 10, n. 5, p. 308-312, Sep./Oct. 2007.
- MAGGS, David J.; MILLER, Paul; OFRI, Ron. **Slatter's fundamentals of veterinary ophthalmology**. New York, Elsevier Health Sciences, 2012.
- MARMOR, M. F. *et al.* Standard for clinical electroretinography (2004 update). **Documenta ophthalmologica**, Berlin, v. 108, n. 2, p. 107-114, Mar. 2004.
- MCCULLOCH, D. L. *et al.* ISCEV Standard for full-field clinical electroretinography (2015 update). **Documenta ophthalmologica**, Berlin, v. 130, n. 1, p. 1-12, Aug. 2015.
- MIYADERA, K.; ACLAND, G. M.; AGUIRRE, G. D.; Genetic and phenotypic variations of inherited retinal diseases in dogs: the power of within-and across-breed studies. **Mammalian Genome**, New York, v. 23, n. 1-2, p. 40-61, Feb. 2012.
- MONTIANI-FERREIRA, F. *et al.* CASE REPORT: Bilateral phacoemulsification in an orangutan (*Pongo pygmaeus*). **Veterinary ophthalmology**, Oxford, v. 13, n. s1, p. 91-99, Sep. 2010.
- NARFSTROM, Kristina. Electroretinography in veterinary medicine—easy or accurate? **Veterinary ophthalmology**, Oxford, v. 5, n. 4, p. 249-251, Dec. 2002.

- NARFSTRÖM, Kristina *et al.* Guidelines for clinical electroretinography in the dog. **Documenta Ophthalmologica**, Berlin, v. 105, n. 2, p. 83-92, Sep. 2002.
- NARFSTRÖM, K.; HOLLAND D. K.; MENOTTI-RAYMOND, M. The domestic cat as a large animal model for characterization of disease and therapeutic intervention in hereditary retinal blindness. **Journal of ophthalmology**, New York, v. 2011, Apr. 2011.
- OFRI, R. Clinical electrophysiology in veterinary ophthalmology—the past, present and future. **Documenta ophthalmologica**, Berlin v. 104, n. 1, p. 5-16, Jan. 2002.
- OFRI, R. *et al.* Characterization of an early-onset, autosomal recessive, progressive retinal degeneration in Bengal cats. **Investigative ophthalmology & visual science**, St. Louis, v. 56, n. 9, p. 5299-5308, Aug. 2015.
- ORIÁ, A. P. *et al.* Considerations about electroretinography in dogs. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 323-328, jan./fev. 2004.
- PEREIRA, A. L. *et al.* Electroretinography in dogs using a fiber electrode prototype. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, São Paulo, v. 46, n. 3, p. 257-262, mar. 2013.
- PONTES, L. L.; CORRÊA, F. G. Métodos de diagnóstico por imagem em cães com catarata. **Revista Científica Eletrônica Veterinária**, São Paulo, v. 9, p. 16, jan. 2011.
- REECE, W. O. Fisiologia dos Animais Domésticos (DUKES) (12ed). Rio de Janeiro, **Guanabara & Koogan**, 2007.
- REECE, W. O.; ROWE, E. W. **Functional anatomy and physiology of domestic animals**. Ames, John Wiley & Sons, 2017.
- ROBSON, A. G. *et al.* ISCEV guide to visual electrodiagnostic procedures. **Documenta Ophthalmologica**, Berlin, v. 136, n. 1, p. 1-26, Feb. 2018.
- SAFATLE, A. *et al.* Full field electroretinogram standartization in dogs. Rio de Janeiro, **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 30, n. 9, p. 763-769, set. 2010.
- SISSON, S.; GROSSMAN, J. D.; GETTY, R. Anatomia dos animais domésticos. (5ª edição). Rio de Janeiro, **Guanabara Koogam**, 1986.
- UEMURA, Etsuro E. **Fundamentals of canine neuroanatomy and neurophysiology**. Ames, John Wiley & Sons, 2015.
- VOSS KYHN, M. *et al.* The multifocal electroretinogram (mfERG) in the pig. **Acta Ophthalmologica**, Oxford, v. 85, n. 4, p. 438-444, Jun. 2007.