

DISPOSITIVO PARA INVESTIGAÇÃO DA RESPOSTA PUPILAR: CONSIDERAÇÕES EXPERIMENTAIS

DEVICE FOR INVESTIGATION OF THE PUPILLARY RESPONSE: EXPERIMENTAL CONSIDERATIONS

C. Bim¹, J. A. Canestri¹, M. A. G. E. Stofél¹, H. N. P. Oliva¹, R. Guimarães², M Pinotti¹

¹ Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais

² Fundação Hospital de Olhos, Minas Gerais



RESUMO

A mudança do tamanho da pupila, em resposta a um estímulo de luz, é baseada em um equilíbrio funcional entre a atividade do sistema nervoso simpático e parassimpático. Dessa forma, a mensuração do tamanho da pupila é uma ferramenta valiosa para estudo de um grande número de funções e disfunções no organismo. Porém, a avaliação da dinâmica da visão é pouco conhecida em alguns aspectos. Logo, é de extrema importância a elaboração de tecnologias que atendem essas necessidades. Diante disso, o objetivo do presente trabalho é apresentar o desenvolvimento de um sistema de estímulo, captura e processamento da imagem da pupila. O aparato permitirá melhor compreensão da dinâmica pupilar uma vez que existem evidências na literatura de que o padrão do movimento dos olhos/pupila são parâmetros importantes para o diagnóstico diferencial. Os resultados alcançados mostram que o dispositivo desenvolvido é capaz de fornecer dados que possibilitam estudo sobre dinâmica pupilar.

ABSTRACT

The change of the pupil size in response to a light stimulus is based on the functional balance between the activity of the sympathetic and parasympathetic nervous system. Thus, the measurement of the pupil size is a valuable tool to study a large number of functions and dysfunctions in the body. However, the vision dynamics' evaluation is hardly known in some aspects. Therefore it is of utmost importance the development of technologies that meet these needs. Consequently, the aim of this paper is to present the development of a system of stimulation, acquisition and processing of the pupillary image. The apparatus will allow better understanding of pupillary dynamics since there is evidence in the literature that the pattern of eye's movement/pupil are important parameters for the differential diagnosis. The results show that the device developed is able to provide data that allow the study of pupillary dynamics

1. INTRODUÇÃO

De maneira simplificada, a luz atinge primeiramente a córnea, posteriormente passa pela pupila (orifício localizado no centro da

íris), em seguida o cristalino focaliza a luz para que ela atinja a retina que contém células fotorreceptoras responsáveis por transformar a luz em impulsos eletroquímicos. Por fim, esses

impulsos são transportados, pelo nervo óptico, para o cérebro, onde serão decodificados pelo sistema nervoso, formando as imagens. A Fig. 1 apresenta algumas estruturas no olho humano.

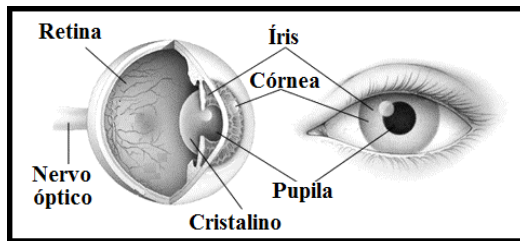


Fig. 1 - Anatomia do olho humano. [Adaptada de <http://www.compuland.com.br/anatomia/olho.htm>]

Os processos de miose (contração) e midríase (expansão) da pupila se manifestam de acordo com a intensidade luminosa incidida no olho (Rocha 2011).

Segundo Gamlin *et al.* (2010), uma pupila humana normal pode ter o diâmetro variado de 1,5 mm a 8 mm, devido a uma variação na iluminação, com isso podem ser estudados padrões para determinar outras causas para essa variação pupilar, entre elas síndromes.

Em geral, o tamanho e capacidade de resposta da pupila humana são regulados pela ação do músculo do esfíncter da pupila, que é responsável pela sua contração, dependente do sistema nervoso parassimpático, e pelo músculo dilatador da íris, dependente do sistema nervoso simpático. Dessa forma, com o estudo pupilar, é possível identificar possíveis anormalidades no organismo humano uma vez que permite avaliar o comportamento do sistema nervoso (Fotiou *et al.* 1998).

Segundo Leal (2008), o estudo do reflexo pupilar atua como indicador objetivo da sensibilidade do nervo óptico à luz e tem um relevante interesse clínico, contribuindo em processos cirúrgicos, possibilitando diagnosticar anomalias e lesões no sistema neurovisual, detecção da presença de elementos químicos no organismo e possivelmente indica o estado emocional e estado de alerta do indivíduo (Carvalho e Romão 2003; Carvalho e Paranhos Jr 2008).

As análises da mecânica pupilar podem ser consideradas um método não invasivo para avaliar atividades neurais (Bernadelli 2011) e a realização das análises pupilar podem ser feitas de diferentes maneiras como, por exemplo, por meio da observação utilizando equipamentos estáticos (Yano 2011) ou através de hardwares como realizado pelo trabalho de Souza (2012).

Uma vez que o sistema neurovisual tem uma importante função para o ser humano no processo de aprendizado, na comunicação, locomoção e muitas outras esferas sociais, há um grande interesse, no cenário hospitalar/clínico, em criar e aprimorar os métodos que possibilita a investigação desse sistema.

Dessa forma, o presente estudo apresenta o desenvolvimento de um sistema de estímulo pupilar, utilizando comprimento de onda no espectro visível, e captura a resposta pupilar para análise.

2. METODOLOGIA

Alguns trabalhos e equipamentos relacionados à análise pupilar podem ser encontrados, Ferrari (2008), Souza (2012), Leal (2008), Costa (2009), Pedroni (2011) e Rocha (2011).

A partir dos dados encontrados na literatura, foi elaborado um hardware que realiza o estímulo e a captura da dinâmica pupilar e, conseqüentemente, foi desenvolvido um software, usando técnicas de visão computacional, capaz de processar as imagens (*frames*) do olho humano para identificar a variação da área da pupila ao longo do tempo.

2.1 Desenvolvimento do Hardware

Utilizando o SolidWorks® e as imagens do Visible Human Project, foram obtidas as dimensões exatas de um modelo de rosto humano com o objetivo de elaborar um equipamento que tenha eficiente vedação da face humana e que, conseqüentemente, fornecerá resultados mais confiáveis uma vez que não permite a influencia de estímulos/iluminação externa.

A Fig. 2 ilustra uma imagem da seção do crânio humano (Visible Human Project) contornada, utilizando o SolidWorks®. Foram utilizadas das 236 imagens possibilitando a extração das medidas exatas da face para projetar o equipamento que proporcione o máximo de vedação rosto-aparelho.



Fig. 2 - Imagem do crânio humano contornada utilizando SolidWorks®.

Para a captura das imagens foi utilizada uma câmera infravermelha (IR). Essa medida foi adotada para suprir a necessidade de captura de imagens em ambientes com pouca iluminação visível e também para obter diferença de contraste entre íris escuras (muito pigmentadas) e a pupila.

Segundo Ferrari (2008) com a iluminação infravermelha não há a estimulação/reacção da pupila. Dessa forma, a iluminação IR não vai influenciar nos resultados do tamanho pupilar.

Diante disso, foi utilizada de uma câmera (Webcam Plug & Play 1.3 MP – Mutilaser), sendo o seu filtro de ondas infravermelhas retirado e colocado um filtro para comprimentos de ondas do espectro visível do ser humano. Dessa forma, foi obtida uma câmera que captura imagens no infravermelho.

O sistema de estímulo luminoso, no comprimento de onda no espectro visível, foi elaborado utilizando um LED branco que emite um pulso de luz de duração igual a 1 segundo.

Segundo Souza (2012), mesmo quando apenas um dos olhos recebe estímulo é observado a reacção em ambas as pupilas. Essa acção é conhecida como resposta

consensual e ocorre devido à conexão dos nervos ópticos dos dois olhos na região denominada quiasma óptico, Rocha (2011).

Dessa forma, os componentes mecânicos foram projetados para que o estímulo luminoso fosse emitido no olho esquerdo e o equipamento capturasse as imagens da resposta pupilar do olho direito.

2.2 Desenvolvimento do Software

Técnicas computacionais, devidamente aplicadas, podem ser um caminho promissor para a detecção e diagnóstico eficiente de doenças estudadas na atualidade. Para o caso de distúrbios associados à visão isto não é diferente.

Segundo Carvalho e Paranhos Jr (2008), a Visão Computacional é o conjunto de transformações das imagens, utilizando métodos e técnicas, para uma representação de dados quantitativos. Os algoritmos, que o computador utiliza para extrair dados dos *frames*, estão relacionados com o processo de aquisição de imagens e da percepção visual do homem.

Logo, o presente trabalho desenvolveu um software, compilado com o Microsoft Visual C++ Express Edition juntamente com o OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*) para análise de imagens do olho de um indivíduo, permitindo avaliar o processo de variação do tamanho pupilar quando submetida a um estímulo luminoso.

OpenCV é uma biblioteca que possibilita a implementação de ferramentas de Visão Computacional. Ela é escrita em C ou C++ e opera nos sistemas Linux, Windows e Mac OS X. Um dos objetivos de OpenCV é proporcionar uma infraestrutura simples de Visão Computacional que ajude as pessoas a implementar rapidamente diversas técnicas na imagem ou vídeo de entrada (Bradski e Kaehler, 2008).

Como este trabalho, assim muitos outros interessados na dinâmica ocular, tem como foco lançar mão de linguagem computacional para detecção das formas circulares do olho. A forma mais amplamente utilizada e comumente recomendada envolve a utilização da Transformada Circular de Hough.

A transformada de Hough é um método para encontrar linhas, círculos ou outras

formas parametrizáveis (Bradski e Kaehler, 2008). Como sua aplicação é compatível à linguagem C++ e permite fácil distinção da região compreendida pela pupila, encaixa-se perfeitamente ao intento do trabalho.

O que fundamenta o algoritmo é a manipulação das cores das imagens e vídeo captados pela câmera utilizada e posterior a essa manipulação, o isolamento de uma ou mais cores para, por fim, delimitar geometrias compreendidas por uma cor em questão na presença de contraste e, com isso, obter o objeto almejado exposto em tela. Em outras palavras, o algoritmo base para o software desenvolvido parte da tarefa de ser capaz de detectar um objeto que se encontra em contraste e delimitar sua geometria, no caso, o tamanho da pupila.

As imagens a serem processadas foram obtidas com a resolução de $6,9 \cdot 10^5$ pixels e uma taxa de 20 frames por segundo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O hardware projetado e seus componentes estão apresentados na Fig. 3. O componente A é formado por dois cilindros onde parte da câmera, do LED e dos fios estarão alojados. O componente B é a base que fixa a câmera e o LED. O componente C é o encaixe facial que faz a vedação da face para que nenhum estímulo luminoso externo influencie nos testes. O componente D é a câmera infravermelha.

Imagens da pupila, obtidas utilizando o aparato projetado com a câmera IR, sem o estímulo luminoso do LED (A) e com o estímulo luminoso (B) são apresentadas na Fig. 4.

Ao executar o programa os resultados podem ser vistos pelas figuras 5, 6 e 7 que ilustram, separadamente, as janelas que são visualizadas com o software em funcionamento.

As três janelas são exibidas simultaneamente em regiões distintas do monitor, permitindo acompanhar os processos em simultâneo.

A Fig. 5, apresenta a imagem processada pela câmera infravermelha.

A Fig. 6 ilustra uma janela do software em

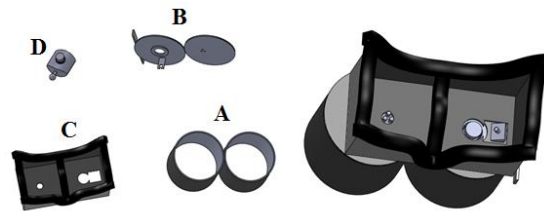


Fig. 3 - Hardware projetado e seus componentes.



Fig. 4 - Imagem da pupila sem o estímulo luminoso (A) e com o estímulo luminoso (B).



Fig. 5 - Imagem da pupila.



Fig. 6 - Imagem no momento em que pupila é detectada.

execução no momento em que a função Transformada de Hough para localização de círculos é executada de modo a distinguir a região da pupila em relação aos demais objetos. É importante observar que, conforme a pupila altera seu diâmetro aproximado, o círculo vermelho que a distingue dos demais elementos tende a acompanhar essa alteração, o que permite um visualizar as proporções da pupila.

A Fig. 7 expõe as imagens, apresentadas anteriormente, porém em escala de cinza – preto/branco, o que permite fácil distinção do círculo da pupila, em relação à qualquer outra geometria observada na imagem, ou seja, qualquer outro elemento da face, como mesmo à íris, que também é circular.

Diante dos resultados apresentados pela Fig. 5, Fig. 6 e Fig. 7, é possível observar a distinção dos elementos do globo ocular, principalmente entre a íris e a pupila. Com isso, é possível obter quantitativamente a variação da área da pupila em relação ao tempo, quando a mesma é submetida a estímulo luminoso intermitente, Fig. 8.



Fig. 7 - Imagens em escala de cinza.

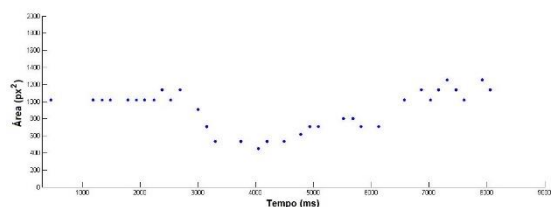


Fig. 8 - Gráfico da área pupilar pelo tempo.

O trabalho de Costa e Gonzaga (2008) também avalia as características dinâmicas de contração e dilatação pupilar alcançando resultados semelhantes aos obtidos por meio do algoritmo detalhado nessa pesquisa.

Trabalhos como o de Souza *et al.* (2013) e Ferrarezi (2010) mostram que diferentes técnicas podem ser empregadas em algoritmo para atingirem fins de analisar dinamicamente a pupila, além de serem possíveis variadas análises considerando parâmetros distintos de estudo.

4 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foi abordada a questão de distúrbios neurovisuais e a importância de desenvolvimento de técnicas para diagnóstico e evolução do tratamento. Também foram ressaltados alguns aspectos fisiológicos que auxiliam na elaboração e desenvolvimento do estudo.

Assim, partindo da compreensão da necessidade de equipamentos mais precisos e específicos para estudo envolvendo a dinâmica da visão, e do conhecimento dos

desafios da elaboração dos mesmos, o trabalho mostra o projeto e a montagem de um equipamento que estimula sistema neurovisual, fornece imagens da pupila em diferentes momentos e as processas fornecendo dados quantitativos do reflexo pupilar.

Dessa maneira, o sistema desenvolvido fornece subsídios preliminares para diversos estudos envolvendo a dinâmica da visão e desenvolvimento de equipamento para mensuração pupilar.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido com apoio da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) e da Fundação Hospital de Olhos Dr. Ricardo Guimarães.

REFERÊNCIAS

- Bernadelli, C.R. 2011. Rastreamento em Vídeo das Características da Pupila, 131 p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia.
- Carvalho, L.A.V. e Paranhos Jr, A. 2008. Resultados preliminares de um sistema computadorizado e estereoscópico para pupilometria *in vivo*, Arquivos Brasileiros de Oftalmologia, 71, p. 775-780.
- Carvalho, L.A.V. e Romão, A.C. 2003. Instrumentação e Digitalização e Processamento Computacional de Imagens da Pupila *in vivo*, Revista de Física Aplicada e Instrumentação, 16 (1), p. 24-29.
- Costa, R.M. 2009. Uma nova abordagem para reconhecimento em características dinâmicas da íris humana, 199 p., Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.
- Costa, R.M. e Gonzaga, A. 2008. Nova abordagem para reconhecimento biométrico baseado em características dinâmicas da íris humana, Proceedings of the 4th Workshop de Visão Computacional, Bauru, Brasil, p. 75-81.
- Ferrarezi, G.P. 2010. Sistema de aquisição de imagem do olho humano para avaliação da

- resposta da pupila submetida a estímulos luminosos, 64 p., Trabalho de conclusão de curso, Universidade de São Paulo.
- Ferrari, G.L. 2008. Pupilometria Dinâmica: Aplicação na Detecção e Avaliação da Neuropatia Anatômica Diabética e Estudo da Correlação entre a Resposta Temporal da Pupila ao Estímulo Visual e a Glicemia, 89 p., Tese de Doutorado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Fotiou, D.F., Goulas, A., Fountoulakis, K., Koutlas, E., Hamlatzis, P. e Papakostopoulos, D. 1998. Changes in psychophysiological processing of vision in Myasthenia Gravis, *Int. J. Psychophysiol.*, 29(3), p. 303-310.
- Gamlin, P.D.R., McDougal, David, H., Darlene, A., Beshae, J.C. e Dana, R. 2010. *Encyclopedia of the Eye*, Oxford: Academic Press, United States. 2344 p.
- Leal, G.N.S.M. 2008. Desenvolvimento de um pupilómetro, 190 p., Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Pedroni, R.U. 2011. Sistema Autônomo em FPGA para captura e processamento em tempo real de imagens da pupila, 88 p., Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Rocha, L.F.F.F. 2011. Resposta da pupila humana submetida a variações de intensidade luminosa e cor, 81 p., Trabalho de conclusão de curso, Universidade de São Paulo.
- Souza, J.K.S. 2012. Construção de uma Plataforma Configurável para Aquisição de Imagens com Aplicações Pupilométricas, 152 p., Tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Souza, J.K.S., Pinto, M. A. da S., Vieira, P. G., Baron, J. e Tierra-Criollo, C. J. 2013. An open-source, FireWire camera-based, Labview-controlled image acquisition system for automated, dynamic pupillometry and blink detection, *Computer methods and programs in biomedicine*, 112, p.607-623.
- Yano, V.A.N. 2011. Sistema Biométrico Multimodal Baseado em Pupilometria Dinâmica, 144 p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná.