

O Olho Humano: Acomodação e Presbiopia

(The Human Eye: Accommodation and Presbyopia)

Eden V. Costa e C. A. Faria Leite

Instituto de Física

Universidade Federal Fluminense

R. Prof. Edmundo Marchesini, Boa Viagem,

24210-310, Niterói, RJ, Brasil

Recebido 5 de novembro, 1997

Neste artigo, analisaremos um importante parâmetro da focalização do olho humano, a variação da distância focal do cristalino na acomodação. Utilizaremos os modelos para o olho, desenvolvidos por Le Grand [1] e Lotmar [2], e a equação para lentes espessas. A perda da capacidade de acomodar com a idade, presbiopia, também será analisada. Em sua análise, utilizaremos a equação da regressão linear da amplitude da acomodação, desenvolvida por Fisher [5] e Koretz et al [6].

In this paper we analyse an important parameter of the human eye focusing, the changing of the focal distance of the crystalline lens in the accommodation. For this purpose we use the eye's model suggest by Le grand [1] and Lotmar [2], and the thick lens equation. The loss of capacity of accommodation with age, the presbyopia, is also studied. In this analysis we use the linear regression equation for the accommodation amplitude developed by Fisher [5] and Koretz et al [6].

Introdução

O olho humano é um sistema óptico composto por duas lentes espessas, a córnea e o cristalino, um diafragma, a íris e um anteparo, a retina. Figura 1 [1,2].

Como as distâncias entre os elementos ópticos do olho são constantes, então para se ter sobre a retina imagens nítidas de objetos observados a diferentes distâncias, variamos a distância focal do cristalino. Isto se dá através da sua compressão, por meio dos músculos ciliares. Assim sendo, quando observamos um objeto infinitamente distante, como por exemplo, uma estrela, os músculos ciliares estão totalmente relaxados. E, ao contrário, quando observamos um objeto o mais

próximo possível, capaz de nos permitir visão nítida, os músculos ciliares estão em sua máxima compressão.

Com os dados apresentados na Figura 1, vê-se que não há grande diferença entre os índices de refração do humor vítreo, do humor aquoso e do cristalino. Sendo assim, a luz que penetra no olho se refrata, principalmente na córnea. O cristalino desempenha um papel de "ajuste fino" na focalização, ao que chamamos de acomodação. A medida que o ser humano envelhece, o cristalino perde flexibilidade, fazendo com que os músculos ciliares tenham cada vez mais dificuldade para comprimi-lo. A perda da capacidade de acomodar com a idade chama-se presbiopia.

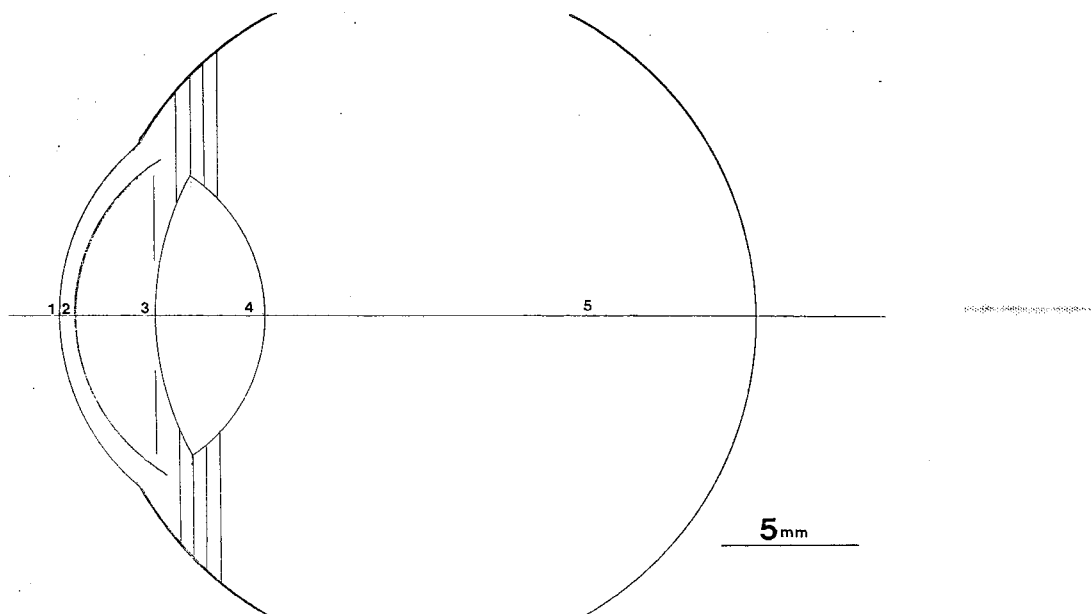


Figure 1. Modelo do olho, com o cristalino não comprimido [1,2].

	raio(mm)	espessura(mm)	índice de refração	meio
1	$r_1=7,8$		1	ar
2	$r_2=6,5$	$e_2=0,55$	1,3771	córnea
3	$r_3=10,2$	$e_3=3,05$	1,3374	h. aquoso, íris
4	$r_4=6,0$	$e_4=4,00$	1,420	músculo ciliar, cristalino
5	$r_5=12,3$	$e_5=16,60$	1,336	h. vítreo, retina

A distância mínima capaz de nos permitir visão nítida, chamamos de ponto próximo. Devido à perda de flexibilidade do cristalino com a idade, o ponto próximo aumenta durante a vida.

Equações básicas

A distância focal f de uma lente, com índice de refração n , espessura t , raios de curvaturas r_1 e r_2 , entre meios cujos índices de refração são n_1 e n_2 , é dada por [3]:

$$\frac{1}{f} = \frac{(n - n_1)(n_2 - n)t - n[(n_2 - n)r_1 + (n - n_1)r_2]}{nr_1r_2n_2} \quad (1)$$

Com a equação (1) e os dados apresentados na figura (1), podemos determinar a distância focal da córnea e do cristalino não comprimido. Seus valores aproximados são respectivamente: 32mm e 61mm.

A relação matemática entre o , distância de um objeto à lente, i , distância de sua imagem à lente e f , para um objeto no meio de índice de refração n_1 , é:

$$\frac{n_2}{f} = \frac{n_1}{o} + \frac{n_2}{i} \quad (2)$$

Acomodação

A variação da distância focal do cristalino na acomodação, devido à variação da distância ao objeto observado, pode ser determinada por meio da equação (2). Aplicando-a inicialmente à córnea, temos:

$$\frac{1}{i} = \frac{1}{32} - \frac{1}{(1,3374)o} \quad (3)$$

A imagem formada pela córnea é um objeto virtual para o cristalino. Desta forma, aplicando a equação (2) ao cristalino temos:

$$\frac{1,336}{f} = 1,3374 \left(\frac{1}{(1,3374)o} - \frac{1}{32} \right) + \frac{1,336}{i} \quad (4)$$

Para um objeto infinitamente distante, situação em que $o \rightarrow \infty$ e $f=61\text{mm}$, $i=21\text{mm}$.

A convergência de uma lente é o inverso de sua distância focal. Para distância focal em metro, a

convergência tem como unidade a diopria (*di*). A acomodação pode ser determinada por meio da convergência do cristalino. A partir da equação (4) podemos chegar à equação da convergência.

$$c(di) = \frac{1,3374}{1,336} \left[\frac{1}{(1,3374)o} - \frac{1}{0,032} \right] + \frac{1}{0,021} \quad (5)$$

$$c(di) = \frac{0,75}{o} + 16 \quad (6)$$

Se tomarmos como referência para a acomodação a convergência do cristalino não comprimido, a equação (6) torna-se:

$$c(di) = \frac{0,75}{o(m)} \quad (7)$$

a variação da convergência na acomodação, pode ser vista na Figura 2. Nela, vê-se que o infinito óptico à 6m, para o olho humano, é uma boa aproximação [4].

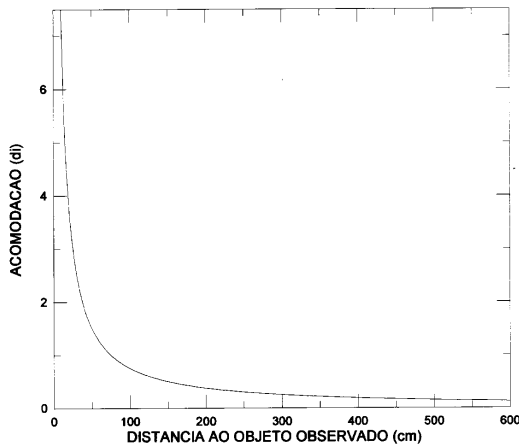


Figura 2. Acomodação versus distância ao objeto observado. Tomamos como referência para a acomodação nula, o olho mirando o infinito.

Presbiopia

A presbiopia, representada por meio da relação entre a convergência máxima e a idade, tem a seguinte equação [5,6]:

$$c_{\max}(di) = -0,16x \text{ (anos)} + 9,6 \quad (8)$$

Veja figura 3.

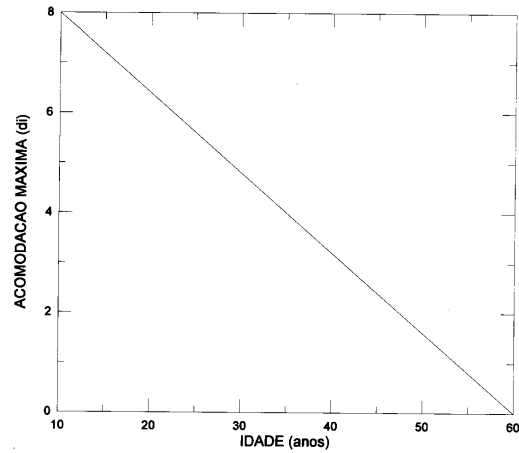


Figura 3. Acomodação versus idade.

Com as equações (7) e (8), podemos chegar à relação entre a idade e o ponto próximo.

$$x(\text{anos}) = 60 - \frac{4,7}{o(m)} \quad (9)$$

Veja as figuras 4 e 5.

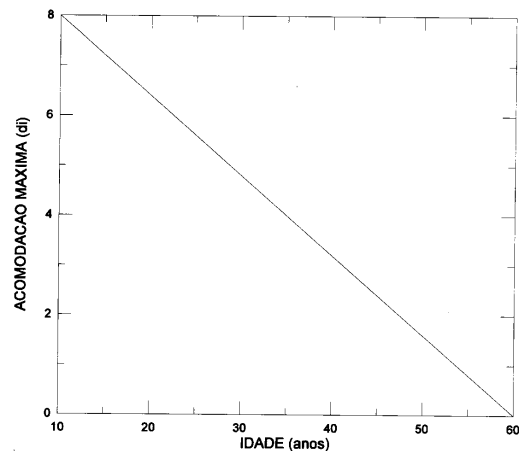


Figura 4. Idade versus ponto próximo.

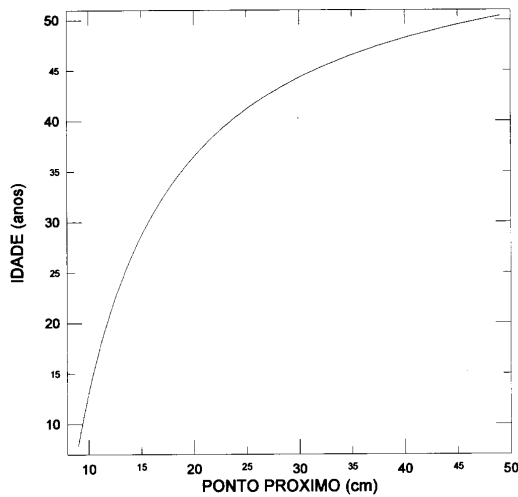


Figura 5. Idade versus ponto próximo.

A presbiopia não deve ser confundida com defeito de visão. Ela ocorre em todas as pessoas. Começa a ser percebida na faixa etária dos quarenta, quando surge, por exemplo, a necessidade de se afastar um jornal para a leitura. A partir de então, o uso de lentes para visão de perto torna-se inevitável. Contudo, é importante destacar que, quem nunca tiver defeito de visão, nunca terá dificuldade para ver à distância.

Referência

1. Y. le Grand. *Optique Physiologique I*. Ed. Rev. Opt., Paris, 1953, p. 52
2. W. Lotmar. "Theoretical Eye Model With Aspherics". *Journal of the Optical Society of America*. Vol. **61**, 1522 (1971).
3. M. Born and E. Wolf *Principles of Optics*. Fifth Edition 1975, Pergamon Press, p. 161.
4. J. F. Koretz, P. L. Kaufman, M. W. Neider and P. A. Goeckner. "Accommodation and Presbyopia in the Human Eye. 1: Evaluation of in vivo of Measurement Techniques". *Applied Optics* Vol. **28**, 1097 (1989).
5. R. F. Fisher. "Presbyopia and the Changes With Age in the Human Crystalline Lens". *J. Physiol.* Vol. **228**, 765 (1973).
6. J. F. Koretz, P. L. Kaufman, M. W. Neider and P. A. Goeckner. "Accommodation and Presbyopia in the Human Eye-Aging of the Anterior Segment". *Vision Res.* Vol. **29**, 1685 (1989).