



RATIO FACULDADE
CURSO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA EM OPTOMETRIA

A RELAÇÃO ENTRE A PERDA
DA CAPACIDADE DE ACOMODAÇÃO E PRESBIOPIA

Claudeniza da Silva Sousa

Fortaleza - Ceará
Abril – 2012

CLAUDENIZA DA SILVA SOUSA

**A RELAÇÃO ENTRE A PERDA
DA CAPACIDADE DE ACOMODAÇÃO E PRESBIOPIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para a obtenção do grau técnico em Optometria, sob a orientação de conteúdo do Professor Antônio Cláudio Maciel e orientação metodológica da Professora Esp. Jade Afonso Romero.

Fortaleza – Ceará
2012

CLAUDENIZA DA SILVA SOUSA

**A RELAÇÃO ENTRE A PERDA DA CAPACIDADE
DE ACOMODAÇÃO E PRESBIOPIA**

Monografia apresentada à banca examinadora e à Coordenação do Curso de Extensão Universitária da Faculdade Ratio, adequada e aprovada para suprir exigência parcial inerente à obtenção do grau de técnico em Optometria.

Fortaleza, CE, 09 de abril de 2012.

Professor da Banca
Prof. Orientador Antônio Cláudio da Silva Maciel

Professor da Banca
Prof.^a. Esp. Jade Afonso Romero

Professora Maria da Glória Oliveira Filgueira
Coordenação do Curso de Extensão Universitária em Optometria

Dedico esse trabalho a minha família, em especial ao meu irmão Francisco, minha figura de pai e quem me apresentou este ramo tão fascinante pelo qual sou apaixonada. As minhas irmãs Cláudia, Claudenia e Claudete, que sempre me incentivaram e apoiaram nos momentos de dificuldades e incertezas, e ao meu esposo pela compreensão de minhas ausências.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas oportunidades que me foram dadas na vida, principalmente por ter conhecido pessoas e lugares interessantes, mas também por ter vivido fases difíceis, que foram matérias-primas de aprendizado. A guerreira mulher Cleomar da Silva Sousa, mãe dedicada que educou com a mínima condição e sozinha seus cinco filhos, mostrando que mesmo nas dificuldades com trabalho e honestidade podemos vencer na vida.

Agradeço a faculdade RATIO por ministrar este curso com professores de alto nível, e todo corpo docente em especial ao professor Cláudio Maciel, por sua paciência e empenho na formação de verdadeiros profissionais, por sua dedicação prestada em cada aula e na orientação deste trabalho.

E aos colegas de curso, e todos os que, de alguma forma, colaboraram para a realização deste trabalho. A todos só posso dizer: Muito Obrigado!

RESUMO

Este estudo tem por objetivo investigar a relação conhecida entre a perda da capacidade de acomodação do olho humano e a presbiopia, a popular vista cansada que geralmente começa a se manifestar no indivíduo por volta dos quarenta anos de idade. Utilizou-se como metodologia uma pesquisa bibliográfica para, a partir do estudo da anatomia e da fisiologia do olho humano, assim como de seu funcionamento óptico, investigar as principais ametropias e buscar estabelecer o que existe sistematizado na literatura acerca da relação existente entre a perda da capacidade de acomodação e a presbiopia. Concluindo que, apesar de se ter obtido grandes avanços na compreensão desse fenômeno refrativo, ainda não existe uma explicação concreta para o mesmo, sendo necessários novos estudos que possam levar à descoberta de suas efetivas causas e perspectivas de correção. Utilizou-se como fonte os autores: Coelho (2004), Dantas (1999) e Oliveira (2006).

Palavras-chave: Olho Humano. Acuidade Visual. Acomodação. Presbiopia

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	10
1. CONCEITOS BÁSICOS DE ANATOMIA E FISIOLOGIA OCULAR.....	12
1.1 A Anatomia do Olho Humano.....	12
1.2 O Sistema Óptico do Olho Humano.....	16
2. A ACUIDADE VISUAL: EMETROPIA E AS AMETROPIAS.....	22
2.1 As Ametropias Mais Comuns.....	23
2.2 Presbiopia (vista cansada) e as Ambliopias.....	28
3. A RELAÇÃO ENTRE PRESBIOPIA E A ACOMODAÇÃO.....	30
3.1 O Mecanismo de Acomodação.....	32
3.2 O Mecanismo de Acomodação e a Presbiopia.....	35
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
REFERÊNCIAS.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema do olho humano.....	13
Figura 2: Comparação entre o olho humano e a máquina fotográfica.....	15
Figura 3: Carta de Snellen.....	22
Figura 4: Olho Humano Normal.....	23
Figura 5: Olho Humano com Miopia e Hipermetropia.....	24
Figura 6: Olho Humano com Presbiopia (vista cansada).....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição Química do Humor Vítreo.....	19
---	----

INTRODUÇÃO

Composto por duas lentes espessas (a córnea e o cristalino), um diafragma (a íris) e um anteparo (a retina), o olho humano é um sistema que pode ser reproduzido em termos físicos, como o é na máquina fotográfica. No caso específico do olho, como as distâncias entre os elementos ópticos que o compõem são constantes, é preciso que exista alguma compensação que permita a formação exata de imagens sobre a retina, nos casos em que se observam objetos colocados a diferentes distâncias, ou seja, deve haver uma variação da distância focal do cristalino. Sabe-se, através dos estudos até hoje realizados, que esta compensação se dá através da compressão do cristalino, através dos músculos ciliares. Assim, quando se observa um objeto muito distante os músculos ciliares estão totalmente relaxados, ao passo que, quando se observa um objeto próximo, estes músculos estão sujeitos à sua tensão máxima.

Por conta, também, dos conhecimentos já existentes, sabe-se que não há uma grande diferença entre os índices de refração do humor vítreo, do humor aquoso e do cristalino e que, deste modo, a luz que penetra no olho se refrata principalmente na córnea, cabendo ao cristalino realizar o trabalho de ajuste fino na focalização, num mecanismo que é chamado de acomodação. Não é difícil entender que, à medida que o indivíduo envelhece, o seu cristalino perda a flexibilidade, fazendo com que os músculos ciliares encontrem cada vez uma maior dificuldade para comprimi-lo, isto é, levando o indivíduo a ver diminuída a sua capacidade de acomodação.

É a essa perda da capacidade de acomodação decorrente da idade que se dá o nome de presbiopia e, desse modo, embora seja uma ametropia, isto é, uma deficiência visual que pode ser corrigida com o uso de lentes, a presbiopia não é uma doença, mas uma situação natural que varia de acordo com a atividade da pessoa e da sua natureza. Um indivíduo é presbiopo quando, em função da diminuição da sua amplitude de acomodação, começa a encontrar dificuldades para ver de perto e, ainda que muitas vezes notada tarde e de forma súbita, a presbiopia constitui um processo contínuo e

progressivo, apesar de ser, geralmente, notado quando o indivíduo beira os 40 anos de idade.

Sabe-se que à medida que a idade avança ocorrem alterações químicas e físicas que tendem a aumentar a resistência da massa do cristalino e, por consequência, alterar sua capacidade para adotar formas mais curvas, mas, apesar de se aceitar que a capacidade de contração do músculo ciliar vá se reduzindo ao longo da vida, ainda não há consenso sobre ser este o principal fator a determinar a presbiopia.

Assim, mesmo sabendo que a compensação da presbiopia pode ser facilmente feita com o uso de lentes e que, por si só, ela constitui um dos mais simples problemas refrativos, entende-se como justificável as discussões sobre suas efetivas causas e que as suas possibilidades de cura devem ser alvo do interesse de todos aqueles que se dedicam ao estudo da Optometria, sendo esta a razão deste estudo que, com base em uma pesquisa bibliográfica, tem por objetivo investigar o que já foi sistematizado na literatura acerca da relação entre a perda da capacidade de acomodação e a presbiopia e, tendo como percurso metodológico uma pesquisa bibliográfica, está estruturado da forma que se segue,

O primeiro capítulo analisa os conceitos básicos da anatomia do olho humano e da fisiologia ocular, além de analisar o seu funcionamento óptico;

Aborda-se no segundo capítulo a acuidade visual, a emetropia e as ametropias, além de descrever *en passant* as ambliopias;

Finalizamos com o terceiro capítulo com a investigação dos conhecimentos já elencados acerca da relação existente entre a presbiopia e a perda da acomodação.

1. CONCEITOS BÁSICOS DE ANATOMIA E FISILOGIA OCULAR

Entende-se por função visual a competência que as pessoas possuem de perceber, integrar e dar um significado aos estímulos luminosos que captam através da visão, tendo os olhos como órgãos vitais para essa função uma vez que são eles que detectam os raios luminosos. E para compreender o que representa o sistema visual e como se desenvolvem as anomalias refrativas que muitas vezes nele se apresentam é necessário se ter um entendimento da constituição anatômica do olho humano e de como ele funciona em termos ópticos.

1.1 A Anatomia do Olho Humano

O sistema visual é formado por um conjunto sensorial (globo ocular, via óptica e centros visuais) e por um conjunto não-sensorial (vasos e nervos), tendo na órbita, nas pálpebras, na conjuntiva e no aparelho lacrimal os elementos responsáveis por sua proteção e nos músculos extra-oculares os elementos que lhe dão mobilidade.

Cada olho se constitui de uma estrutura esférica protegida pelos ossos do crânio em suas laterais e na sua parte posterior, tendo, na parte anterior, a proteção dos chamados anexos oculares, isto é, das sobrancelhas, cílios e pálpebras que são protetores do globo ocular e visam impedir que partículas (como a poeira, por exemplo) caiam dentro do olho. As pálpebras têm ainda a função de distribuir as lágrimas que ocorrem durante o piscar, como assinala Martins Jorge (2006).

O globo ocular, um órgão com forma esférica, aproximadamente 7,5 gramas de peso e comprimento antero-posterior de 24 mm, na pessoa adulta, localiza-se na parte anterior da órbita e é formado por três camadas: esclerótica, coróide e retina.

Segundo Dantas (1999) a esclerótica, a camada externa e mais rígida, constitui o “esqueleto”, do olho, enquanto a córnea, localizada na parte anterior, é um tecido transparente com cerca de 0,5mm de espessura na parte central e com um diâmetro de cerca de 12 mm. A coróide, situada entre a retina e a esclerótica, é uma camada

vascular que dá suporte e nutrição à retina externa. O corpo ciliar e a íris localizam-se na parte anterior e, por fim, se tem a retina, uma camada nervosa que transforma os sinais luminosos em impulsos elétricos e os envia ao cérebro através do nervo óptico. Na zona central da retina existe uma região chamada mácula, no centro da qual se situa a fóvea.

Toda essa estrutura pode ser visualizada na figura 1.

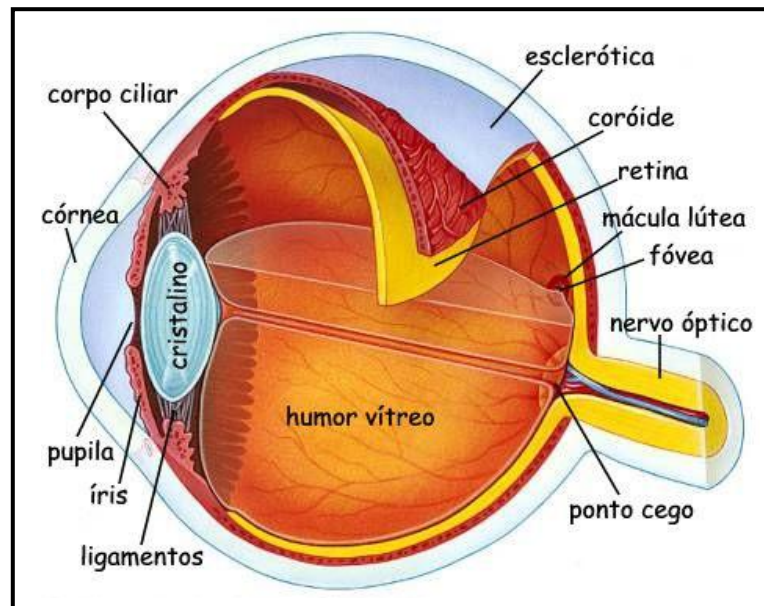


Figura 1: Esquema do olho humano
(Fonte: Martins Jorge, *online*)

Dá-se o nome de conjuntiva à película vascular que recobre a esclerótica em sua porção visível até a córnea, além de recobrir a parte interna das pálpebras inferiores e superiores. Cada olho possui seis músculos que possibilitam a movimentação e quando estes funcionam normalmente os dois olhos sempre miram numa mesma direção, mas se algum deles não funciona bem, ocorre o estrabismo ou vesguice.

De acordo com Dantas (1999) a esclerótica (a “parte branca”) é o revestimento externo do olho e tem uma função protetora e estrutural. A luz penetra na esclerótica na parte anterior do olho, onde a superfície externa é saliente na zona transparente da córnea, e sob cada pálpebra superior existe uma glândula lacrimal cuja atividade mantém a conjuntiva úmida e livre de germes. Ao penetrar no olho, a luz passa através do filme lacrimal da córnea e do humor aquoso, atrás do qual se encontra a íris, um anel muscular em cujo centro existe um orifício: a pupila.

A Córnea é uma membrana transparente que se localiza na frente da íris e tem como funções não apenas permitir a entrada da luz no olho como também a formação de uma imagem nítida na retina. A córnea foca os raios luminosos de modo a passarem através da pupila. Já à íris, um disco colorido com um orifício central chamado de pupila (a popular menina dos olhos) cabe determinar a quantidade de luz a entrar no olho. Na presença de pouca luz, o seu esfíncter relaxa de modo a permitir a entrada de uma maior quantidade de luz; já em presença de luz forte, este esfíncter se contrai de forma a reduzir o tamanho da pupila e restringir a entrada de luz. A exata focagem da luz é controlada pelo cristalino, que é um corpo elástico translúcido e biconvexo, situado atrás da íris.

O Cristalino é uma lente biconvexa, transparente e flexível, capaz de modificar sua forma, que tem por função focar os raios de luz em um ponto certo na retina, uma camada nervosa localizada na parte interior do olho, no qual se encontram células fotorreceptoras. Algumas dessas células têm forma de “cone” e são responsáveis pela visão central e pelas cores, enquanto outras têm forma de “bastonete” e respondem pela visão periférica e noturna. A função primordial da retina é transformar os estímulos luminosos em estímulos nervosos, que são enviados para o cérebro pelo nervo óptico, numa mensagem que, no cérebro, é traduzida em visão.

O cristalino mantém-se em sua posição por estar ligado ao músculo ciliar da parte interna do olho. É a ação deste músculo que, ao provocar alterações na forma do cristalino, permite que os objetos próximos e distantes possam ser igualmente focados. Para a visão dos objetos próximos, esses músculos tornam o cristalino mais curto e espesso, enquanto para a visão de objetos distantes, eles fazem com que o cristalino se torne mais longo e estreito, num mecanismo denominado de acomodação, como assinala Martins Jorge (2006).

Após cruzar o cristalino, a luz passa através do humor vítreo (ou corpo vítreo), uma massa gelatinosa e translúcida que preenche a maior parte do globo ocular. A luz é, então, projetada sobre a retina, que nada mais é do que uma camada sensível à luz no interior da esclerótica e dela separada pela coróide, uma camada de tecido escuro rico em vasos sanguíneos.

Na retina as células receptoras de luz com forma de bastonete detectam os tons branco, preto e cinzento; enquanto as que têm forma de cones são sensíveis às cores. Em resposta à luz absorvida, os bastonetes e cones emitem impulsos nervosos que passam pelo nervo óptico e chegam ao cérebro, sendo, então, interpretados como visão. A concentração de cones é mais densa numa zona do olho denominada de fóvea; já na zona em que o nervo óptico abandona a parte posterior do olho não existem bastonetes nem cones e, dessa forma, essa pequena área não é impressionada pela luz e recebe a denominação de ponto cego.

Comparável a uma câmara fotográfica, como se pode observar na figura 2, o olho humano é formado por um complexo conjunto de elementos que atuam de modo harmonioso para que se possa enxergar. O globo ocular situa-se em uma cavidade óssea e tem cerca de 24 mm de diâmetro antero-posterior e 12mm de largura.

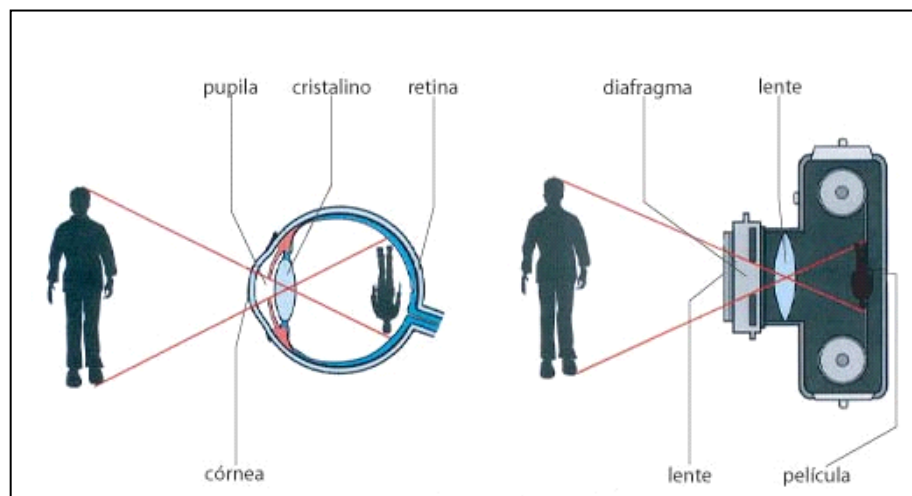


Figura 2: Comparação entre o olho humano e a máquina fotográfica
(Fonte: Dantas, *online*)

A imagem formada na retina é invertida, em relação ao objeto, mas o cérebro é capaz de processar essa informação da forma correta, concebendo uma forma visual normal. Vale aqui, distinguir os conceitos de “formação da imagem na retina” e “visão”, que para muitos parecem representar a mesma coisa, mas são distintos. A formação da visão na retina é um processo físico, que pode ser reproduzido, como se vê na câmera fotográfica; já a visão um processo psicofísico que envolve uma aprendizagem, a decodificação de sinais e outros detalhes ainda desconhecidos. Em geral, se parte da premissa de que uma imagem nítida na retina pode ser associada a uma boa visão.

E, desse modo, pode se depreender que a função do olho pode ser descrita como sendo de converter a luz em sinal elétrico, sinal este que é transmitido para o cérebro pelo nervo óptico. É no cérebro que este sinal é convertido em imagem, gerando a visão que se obtém ao fixar a vista em qualquer objeto. E, de forma simplificada, pode-se dizer que o olho humano é formado por: córnea, íris, pupila, cristalino, retina, esclera e nervo óptico.

1.2 O Sistema Óptico do Olho Humano

Entender o processo da visão implica saber cada etapa que leva à formação da imagem no cérebro. E o primeiro passo nesse sentido requer que se conheça o percurso dos raios luminosos desde o objeto até a formação da imagem sobre a retina (córnea, humor aquoso, cristalino e, por fim, o humor vítreo).

Em termos ópticos, entende-se a emetropia como o estado normal, isto é, um olho sem erro refrativo, e a ametropia como uma dificuldade visual causada por um olho com erro refrativo. A emetropia, como colocam Costa e Faria Leite (2000), depende da perfeita coordenação entre a potência refrativa dos dioptrios oculares e o comprimento axial (CA).

Costa e Faria Leite (2000) apontam o sistema óptico do olho humano como sendo formado por cinco elementos principais: córnea; humor aquoso; cristalino; humor vítreo; e retina.

A córnea, por ser o elemento que está em interface com o ar, é mais facilmente acessível aos estudos, sabendo-se que a interface ar – córnea apresenta a maior variação de índice de refração do olho, o que implica dizer que cerca de 80% do poder óptico, isto é, do poder de convergência se deve a essa face anterior.

O humor aquoso se localiza entre a córnea e o cristalino, sendo composto por substâncias orgânicas (proteínas, glicose, uréia, creatina e ácido úrico) e inorgânicas (sódio, cloro, potássio, cálcio e outras) e, em torno de 99% de água. As análises feitas indicam que ele não apresenta camadas e assim, como assinalam Costa e Faria Leite

(2000), se pode considerar que o humor aquoso é apenas um meio no qual o índice de refração é constante para cada comprimento de onda.

Já Martins Jorge (2006) registra que o humor aquoso tem cinco funções principais: a função óptica; a função estática; a função dinâmica; a função trófica; e a função protetora.

Para Martins Jorge:

- 1) A função óptica é considerada porque o humor aquoso faz parte do sistema dióptrico (segundo meio transparente).
- 2) A função estática pode ser decomposta em função tensional e função de sustentação.
- 3) A função dinâmica evita o estabelecimento de aderências entre a íris e a córnea, ou o cristalino, permitindo, por conseguinte, que a pupila se feche ou abra livremente em estado normal.
- 4) A função trófica desenvolve-se porque o humor aquoso serve de veículo nutritivo e metabólico para o cristalino e a córnea.
- 5) A função protetora provém da absorção da radiação infravermelha que ainda passa pela córnea, constituindo-se, junto com o cristalino, o filtro protetor da retina contra as tais radiações (MARTINS JORGE, 2006, p. 78).

A grande maioria dos estudiosos do olho humano considera o cristalino como sendo seu elemento mais interessante em função de uma propriedade denominada 'acomodação' que permite ao olho modificar seu poder dióptrico, de modo a manter nítida a imagem retiniana do objeto, quando a distância entre ele e o observador é alterada. Dantas (1999) assinala que quando está em uma configuração relaxada (não acomodado) o cristalino diminui de espessura, tornando-se mais plano, capaz de focalizar objetos distantes. Já quando assume uma configuração acomodada, aumenta sua espessura e a curvatura de suas faces, de modo a focalizar objetos mais próximos. De acordo como o autor, o seu poder óptico pode variar de até 14 (quatorze) dioptrias, dependendo da idade e saúde do indivíduo e, para isso, ele altera a sua curvatura através de um sistema muscular próprio.

Dentre as teorias que visam explicar o ato da acomodação, a mais aceita hoje em dia propõe que o mecanismo básico da acomodação é a contração do músculo ciliar e o conseqüente relaxamento da zônula, o que permite ao cristalino aumentar sua curvatura e, secundariamente, a coróide ser tracionada para frente, teoria que, segundo Dantas (1999) foi desenvolvida por Helmholtz (e, posteriormente, complementada pelas contribuições de Fincham e Gullstrand) e tem sido confirmada pelas experiências práticas.

Ainda de acordo Dantas (1999) Fincham contribuiu ao mostrar que a deformação da face anterior do cristalino se devia à contração causada pela maior espessura da cápsula nessa região. Já Gullstrand contribuiu ao propor que durante a acomodação havia um aumento do índice de refração da lente, em face do movimento centrípeto das micelas cristalínias.

Durante muito tempo se achou que o processo da acomodação fosse controlado apenas pelo sistema nervoso parassimpático, acreditando-se que a aproximação do objeto do olho provocava a contração do músculo ciliar, e que as modificações de acomodação no olhar para longe se deviam somente ao relaxamento desse músculo.

Martins Jorge (2006) lembra que embora, em 1937, Cogan já apresentasse argumentos consistentes para se entender que o sistema nervoso simpático tinha uma participação ativa no ato acomodativo, foi só com os trabalhos posteriores de Olmstead, em 1944 e de Törnqvist, em 1967, que se passou a aceitar essa suposição, quando se verificou que, ao se olhar para longe, ocorre uma contração das fibras radiais do músculo ciliar, mediada pelos receptores betas do sistema nervoso simpático. Hoje, em função dos avanços obtidos, pode-se afirmar que, em condições naturais, a acomodação é mediada por uma ampla gama de estímulos, os quais possuem graus diferentes de efetividade e importância.

As dimensões do cristalino variam o que é coerente com o fato de que o olho de cada indivíduo pode ter uma conformação própria, mas segundo Martins Jorge (2006), o que importa é o conjunto, a função visão e não os detalhes estruturais de forma isolada. Ainda assim, uma consulta à literatura permite se obter uma boa noção das dimensões do cristalino, sabendo que o seu (*diâmetro equatorial*) mede sete milímetros em um recém nascido e cerca de nove a dez milímetros em um adulto. Já a sua espessura (*diâmetro sagital*) mede entre três e cinco milímetros, dependendo a idade do indivíduo.

O cristalino, como um todo, é um corpo elástico que se deforma e retoma sua forma primitiva em função de como deseja atuar. Sua densidade e elasticidade variam com a idade, sendo brando e gelatinoso no feto e endurecendo em um adulto. Por outro

lado, independentemente de ocorrer ou não alterações patológicas, ele adquire, uma dureza considerável na chamada fase da presbiopia.

Costa e Faria Leite (2000) assinalam que, diferentemente dos tecidos dermóides (peles, unhas e cabelo) que eliminam os tecidos mortos dando lugar aos novos, os intracristalinianos ficam retidos, sendo possível encontrar partes que ali se encontravam desde o começo da vida. Os autores registram, ainda, que o cristalino adulto se compõe de três partes: no centro fica o núcleo fetal, que se mantém como estava desde o seu desenvolvimento durante a vida intra-uterina; ao redor dele, fica o núcleo adulto, que se desenvolve durante a juventude; e por fim, existe o córtex, que se desenvolve de forma contínua durante toda a vida, mas lembram que esta divisão é apenas didática, uma vez que tanto a densidade quanto a elasticidade variam continuamente nas diferentes regiões do cristalino.

Ainda de acordo com Costa e Faria Leite (2000), sabe-se que quanto menor a elasticidade de uma região maior é o seu índice de refração e, desse modo, como a elasticidade varia continuamente nas várias regiões do cristalino, em função da idade, o mesmo ocorre com o índice de refração. Os autores registram que, embora isto ainda não esteja bem estabelecido, a distribuição dos índices de refração parece acompanhar o perfil elástico, aumentando da periferia para o centro, o que faz do cristalino um meio opticamente heterogêneo, que influencia a propagação da luz e toda a óptica do olho, vindo daí a sua importância.

O humor vítreo, massa transparente e gelatinosa que preenche todo o espaço entre o cristalino e a retina, tem em sua composição química os elementos mostrados na tabela 1.

Substância	Porcentagem (%)
Albumina	0,16
Cloreto de Sódio	1,42
Substâncias solúveis em água	0,02
Água	98,40

Tabela 1: Composição Química do Humor Vítreo
(Fonte: Martins Jorge, *online*)

A análise da composição química do humor vítreo mostra que a sua maior parte é composta de água e não há sinais da existência de camadas neste meio. Logo, assim como ocorre com o humor aquoso (que preenche a região entre a córnea e o cristalino) se pode considerar que o humor vítreo também funciona apenas como um meio; e que também como o humor aquoso, ele apresenta um índice de refração constante para cada comprimento de onda.

A retina é a região fotossensível do olho onde se encontram as células receptoras de luz. Estas células podem ter forma de cones, principais responsáveis pela visão de cores, ou de bastonetes, principais responsáveis pela visão no escuro. Quando os cones e os bastonetes são excitados, os sinais são transmitidos através de neurônios sucessivos, na própria retina, e finalmente pelas fibras do nervo óptico até o córtex cerebral.

Carvalho (2002) assinala que ao se considerar apenas a imagem central, e não a periférica, se pode entender a retina como um plano onde as imagens são formadas, pois considerá-la como uma superfície curva não iria afetar o resultado, uma vez que a imagem central é formada na fóvea, uma região muito pequena. O autor frisa que, teoricamente, um ponto luminoso quando focalizado sobre a retina deveria ser infinitamente pequeno, mas que esse ponto se distribui no o sistema óptico do olho com diferente intensidade, sendo mais luminoso em seu centro e escurecendo em direção as bordas.

A forma como a retina capta o sinal luminoso recebido e o transforma em impulsos elétricos, e como tais impulsos são posteriormente decodificados pelo cérebro, ainda é um desafio para os estudiosos e gera controvérsias, não havendo ainda uma boa explicação para o fenômeno, mas, segundo Carvalho (2002), ao se considerar a componente psicofísica própria de cada indivíduo, se pode concluir que a formação da imagem na retina é apenas um dos mais simples aspectos da visão.

A pupila funciona como um regulador da quantidade de luz que incide sobre a retina, e esse mecanismo de regulação tem por finalidade tentar garantir que os receptores da retina não fiquem saturados permanentemente.

De acordo com Carvalho (2002) entre os outros efeitos relacionados ao tamanho da abertura pupilar se pode citar a variação da profundidade do foco e a limitação na região de propagação da luz, efeitos estes que acabam implicando na formação de uma imagem mais bem resolvida, na retina. Uma grande abertura permite que a luz se propague por regiões mais afastadas do eixo principal, que apresentam maior heterogeneidade óptica, implicando em redução da resolução. Por outro lado, os efeitos de difração na abertura pupilar não parecem ter muita importância para a formação da imagem central, uma vez que seu diâmetro mínimo é da ordem de 1,0 mm. Por outro lado, a visão periférica que apresenta menor resolução, porém maior sensibilidade é favorecida com o aumento da abertura.

Deste modo, pode se depreender que, além de depender de fatores orgânicos que variam de pessoa para pessoa, o funcionamento óptico do olho humano depende também de fatores ambientais, entre os quais se pode citar a luminosidade

2. A ACUIDADE VISUAL: EMETROPIA E AS AMETROPIAS

O campo visual é o espaço que o olho teoricamente imóvel consegue perceber. A medida do campo visual pode ser monocular ou binocular, isto é, referir-se a um único olho ou à visão conjunta dos dois. Existe um campo visual dinâmico que é aquele espaço que o olho em movimento pode perceber. Entretanto, para o exame do campo visual é fundamental a imobilidade ocular. O exame pode ser realizado nos instrumentos computadorizados ou manuais.

A avaliação da acuidade visual, ou seja, da capacidade de diferenciar detalhes de um objeto distante, pela própria complexidade do sistema óptico do olho, não pode ser feito de maneira objetiva. Primeiro, porque não se tem acesso às propriedades ópticas específicas do olho do indivíduo em estudo. Segundo, porque os mecanismos que acontecem na retina ainda não são totalmente bem estabelecidos.

Por fim, e este seria o principal obstáculo para a definição exata e objetiva da capacidade visual, o olho é um sistema que trabalha como um todo, sofrendo influência de todo o organismo, que está interessado na qualidade da função visão, e não nos detalhes de seus componentes (dentro das limitações anatômicas e fisiológicas).

A melhor maneira de avaliar a acuidade visual é usar um método clínico, onde o indivíduo, sob a orientação de um especialista, classifica a sua visão. O método clínico, geralmente utilizado para testar a acuidade visual consiste em um quadro de exame, contendo uma série de letras com tamanho variável (conhecido como carta de Snellen e mostrado na figura 3) que é colocado a 6 metros (ou 20 pés) do indivíduo.

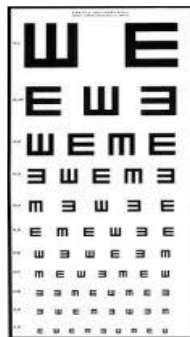


Figura 3: Carta de Snellen
(Fonte: Dantas, *online*)

Cada grupo de tamanho de letras tem seus detalhes inscritos num ângulo de visão específico. Ao procurar o menor tamanho de letra que pode ser resolvido (avaliação subjetiva), o indivíduo define o menor ângulo de visão, ou ainda, a menor distância no objeto, que pode ser visualizada. O padrão aceito como “visão normal” corresponde a um ângulo de 5 (cinco) minutos de arco, para os limites externos da letra e 1 (um) minuto de arco para os detalhes da letra .

Nessas condições, o indivíduo consegue resolver a 20 pés, aquilo que ele deveria resolver, por padrão, a 20 pés. Essa condição é conhecida por visão 20/20.

Se o indivíduo consegue resolver a 20 pés, aquilo que é padronizado para 60 metros (200 pés), ele tem uma visão de 20/200 (subvisão). Existem casos em que o indivíduo consegue resolver a 20 metros, o que deveria ser resolvido em 4,5 metros (15 pés), ou seja, enxerga melhor do que o padrão normal. Essa condição é conhecida por 20/15, chamada ainda de super-visão, e vem sendo usada como objetivo de algumas cirurgias de correção da topografia da córnea.

2.1 As Ametropias Mais Comuns

A figura 4 mostra um olho capaz de focalizar na retina, na condição relaxada, os raios provenientes de um objeto distante. Tal conformação caracteriza o chamado olho emetropo, ou seja, um olho normal, com boa visão.

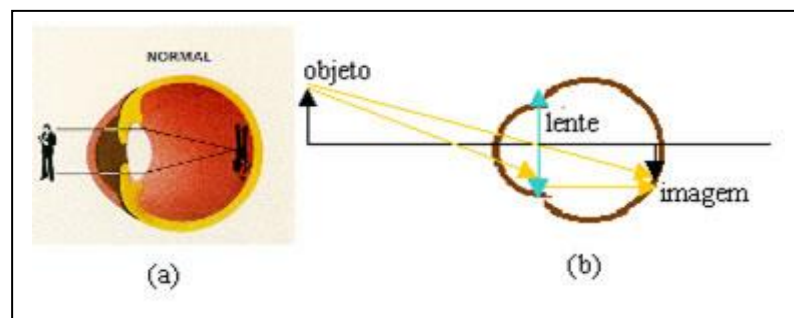


Figura 4: Olho Humano Normal
(Fonte: Martins Jorge, *online*)

Ametropias são configurações do sistema óptico que levam à formação de uma imagem pouco nítida ou de baixa resolução. Quando o globo ocular é pequeno demais ou o sistema de lentes é fraco temos a focalização além da retina, a chamada

hipermetropia ou visão para longe. Quando ocorre ao contrário, isto é, nos casos em que o globo ocular é grande ou tem poder óptico das lentes muito forte configura-se a chamada miopia ou visão para perto, como se vê na figura 5.

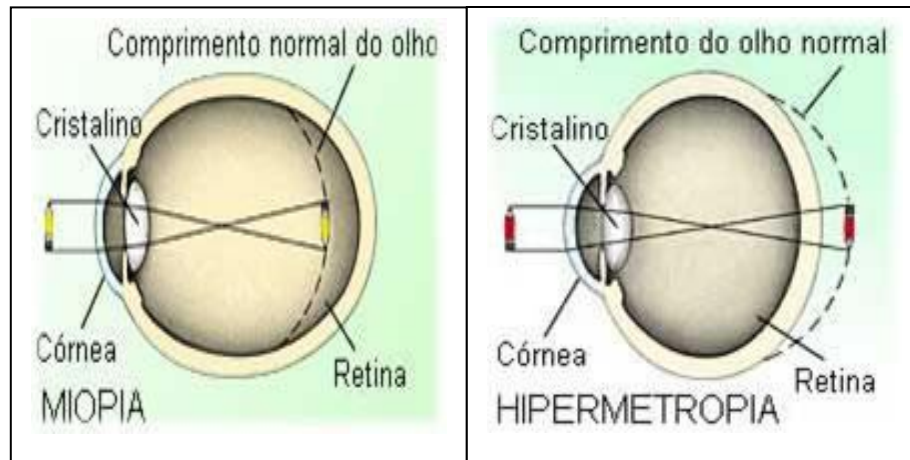


Figura 5: Olho Humano com Miopia e Hipermetropia
(Fonte: Martins Jorge, *online*)

Um terceiro tipo de ametropia comum é o astigmatismo, que é ocasionado por um perfil cilíndrico na curvatura da córnea e mais raramente, no cristalino.

Estas são as principais *ametropias* ou erros de refração do olho humano. A correção para estes problemas normalmente é feita através do uso de lentes esféricas ou cilíndricas (ou combinação destas). Assim, usam-se lentes divergentes para a miopia, convergentes para a hipermetropia e cilíndricas para o astigmatismo.

Pode-se entender que os olhos, assim como uma câmara fotográfica, possui uma abertura para a passagem de luz, uma lente e um anteparo no qual a imagem é recebida e registrada. Quando os raios de luz provenientes de um objeto atravessam essa lente, forma-se uma imagem real e invertida que deve se localizar exatamente sobre a retina para que ela seja nítida. É assim que o indivíduo enxerga, e todo olho que tem visão normal é dito emetrope, enquanto o olho que não tem visão normal possui uma ametropia, ou seja, dá-se o nome de “ametropia” a toda deficiência de visão que pode ser corrigida com lentes.

Os defeitos de refração se devem a fatores de desenvolvimento e hereditários, sobre os quais não se tem controle. Do mesmo modo como se herda a cor dos olhos

se herda também a forma como a córnea, o cristalino e a retina trabalham em conjunto para obter uma visão clara.

Se a córnea não é redonda ou se ela é muito curva ou muito plana em relação ao tamanho do olho, as imagens se focam adiante ou atrás da retina resultando no que se chama “defeito de refração”, como os já citados casos de miopias, hipermetropias e astigmatismo.

Sá e Plutt (2006) assinalam a miopia como sendo a impossibilidade de a pessoa ver nitidamente objetos colocados à distância e destaca que ela pode ser de dois tipos: de campo e ou de curva. O autor acrescenta que a miopia pode ser vista não como uma doença e sim como uma variação anatômica do olho, uma vez que ela é dita miopia de campo nos casos em que o olho é mais alongado e é chamada de miopia de curva quando a córnea é muito acentuada.

Já Oliveira (2007) acrescenta que a miopia se apresenta sob várias formas e, por isso mesmo, recebe algumas denominações especiais, lembrando que ela também pode vir conjugada com outra ametropia.

Assim é que existe a miopia com astigmatismo, quando em um olho míope, no qual o encontro focal ocorre antes da retina, este encontro se dá em dois diferentes pontos. Sá e Plutt (2006) registram que a miopia composta com astigmatismo é, de fato, um caso de duas miopias: uma em cada direção e cada uma delas com determinado valor, destacando que estes casos são corrigidos com lentes cujos meridianos principais são negativos, porém com valores diferentes.

Outro caso apontado por Oliveira (2007) é o da chamada Miopia Noturna ou Espacial, uma miopia especial que é vista, geralmente, em indivíduos que trabalham em locais com pouca iluminação ambiental e com ausência de contrastes e pontos de fixação. Isto provoca em pessoas emétopes, uma acomodação excessiva em resposta à falta de estimulação acomodativa, produzindo miopias de até 1,50 Dpt.

Oliveira (2007), por sua vez, destaca a Pseudomiopia ou Falsa Miopia que ocorre quando, por vários motivos diversos, o sistema ocular pode, tal qual ocorre na miopia noturna, apresentar um estado acomodativo excessivo, convergindo assim o foco da imagem para antes da retina, o que aparentemente seria uma miopia. Mas, ao

contrário da miopia, estes casos são corrigidos com lentes positivas que suprimem a acomodação do cristalino gradativamente até que o seu funcionamento normal se estabeleça e a falsa miopia desapareça.

De um modo geral, as correções da miopia, um defeito refrativo, são feitas com o uso de lentes negativas (divergentes), pois é desta forma que os raios são divergidos, levando o foco da imagem para trás e fazendo com que ele caia exatamente na retina. Os estudiosos e pesquisadores ainda discutem a causa real da miopia, porém algumas explicações para esta ametropia convergem para a idéia de que pode tratar-se de uma disfunção recebida por herança, por fatores hereditários e/ou por trabalho excessivo de visão próxima, ou seja, por uma excessiva sobrecarga de acomodação.

Já a Hipermetropia é o inverso da miopia, e a impossibilidade do hipermetrope é maior para perto, embora também atinja a visão de longe. Pode ser causada pela curva muito baixa da córnea ou pelo fato do tamanho do olho ser pequeno no plano horizontal. O hipermetrope nem sempre enxerga mal para perto.

Já Oliveira (2007) aponta que o astigmatismo pode se apresentar sobre três formas distintas, além de poder também, vir combinado com miopia e hipermetropia.

O astigmatismo miópico simples é a impossibilidade de se ver nitidamente em apenas um meridiano, sendo normal a visão no meridiano oposto. O astigmatismo impede a visão nítida para longe e perto, mas as pessoas sentem mais falta de lentes corretoras quando dirigem o carro à noite e assistem cinema ou televisão. Geralmente o astigmatismo é provocado pela curva vertical da córnea ser mais acentuada do que a curva horizontal, o que leva a imagem a ser focalizada antes da retina em plano vertical, embora a focalização ocorra na retina no plano horizontal. Isto faz com que sejam necessárias correções com lentes negativas apenas no meridiano vertical e no horizontal seja a lente plana.

O astigmatismo hipermetrópico simples é uma deficiência de visão que também ocorre em apenas um dos meridianos, mas, ao contrário do astigmatismo miópico, a imagem, num plano, é focalizada atrás da retina (e não na frente), enquanto no outro se focaliza exatamente na retina. Ele é corrigido com lente plano-cilíndrica positiva.

Há também o astigmatismo misto, que ocorre quando numa direção as imagens são focalizadas dentro do olho, antes da retina; e na direção oposta elas são focalizadas atrás da retina, caracterizando esta ametropia. Ele é misto porque precisa de lentes corretoras que tenham um meridiano positivo e outro oposto, negativo, com cilíndrico sempre maior que o esférico.

A miopia composta com astigmatismo é corrigida com lentes cujos meridianos principais são negativos, mas apresentam valores diferentes; enquanto a hipermetropia composta com astigmatismo é corrigida com lentes cujos meridianos principais são positivos e têm com valores diferentes.

Entre as ametropias ainda registradas Oliveira (2007) aponta ainda a afácia e estrabismo.

A afácia, também chamada de Afaquia, é uma ametropia causada pela extração cirúrgica do cristalino quando o indivíduo é portador de uma catarata, uma doença que vai opacificando pouco a pouco o cristalino, até deixar o indivíduo cego. Após a cirurgia é feita, então, a correção com óculos específico.

Já o estrabismo, como registram Sá e Plutt (2006) é uma ametropia que provoca dupla visão e, desse modo, todo estrábico tem visão dupla. Geralmente o estrábico teve uma ametropia que ocasionou o abandono de um dos olhos, fazendo com que a visão deste olho se atrofie. Com a visão atrofiada, o olho toma uma posição qualquer, saindo da posição normal. Assim, quando o estrábico tenta fundir as duas imagens e não consegue, abandona a visão em um dos olhos e daí surge o estrabismo.

Durante os dois ou três anos iniciais, o estrabismo pode ser curado, mas depois dessa tempo sua recuperação se torna problemática. A recuperação estética até pode ser obtida, mas a recuperação visual é muito difícil. Sob certas circunstâncias, essa ametropia pode ser recuperada com o uso de lentes prismáticas.

Sá e Plutt (2006) destacam, ainda, que o estrabismo pode ser latente e aparente. O estrabismo latente é classificado em cinco tipos: Esoforia (olho desviado para dentro); Exofovia (olho desviado para fora); Hiperforia (olho desviado para cima); Hipoforia (olho

desviado para baixo); e Cicloforia (olho se desvia em torno de si). Já o estrabismo aparente classifica-se em: Esotropia (olho desviado para dentro); Exotropia (olho desviado para fora); Hipertropia (olho desviado para cima); Hipotropia (olho desviado para baixo); e Ciclotropia (olho se desvia em torno de si). O estrabismo pode ser tratado através de exercícios de ortóptica e/ou com o auxílio de lentes especiais.

2.2 A Presbiopia (vista cansada) e as Ambliopias

A Presbiopia (mais conhecida como vista cansada) é a mais popular das ametropias, ou seja, a que maior número de óculos exige. Estima-se que a presbiopia chegue a contribuir com 50% das pessoas que usam óculos. Ela ocorre na grande maioria das pessoas, geralmente após os 42 anos de idade, visto que o cristalino começa a perder seu poder de acomodação para perto, a partir dos 30 anos.

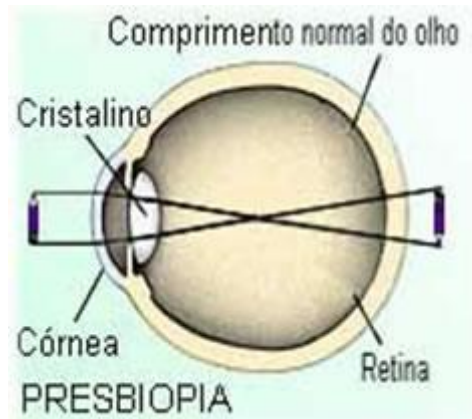


Figura 6: Olho Humano com Presbiopia (vista cansada)
(Fonte: Martins Jorge, *online*)

Quando passa dos 40 anos (isto também depende da atividade da pessoa) começa a distanciar as pequenas letras para vê-las corretamente e só quando o braço não mais consegue trazer essa nitidez é que, geralmente, o indivíduo entende que está na hora de buscar ajuda.

A presbiopia também é corrigida com lentes esféricas positivas ou convergentes, designadas pelo sinal (+). A presbiopia cresce tanto, até 65 anos, que chega a atingir a visão de longe. Assim um présbita começa corrigindo sua visão para perto e com o tempo necessita também grau positivo para longe, mesmo não tendo sido hipermetrope

na juventude. A progressão da presbiopia varia de acordo com a atividade da pessoa e da sua natureza.

A presbiopia é uma ametropia, isto é, pode ser corrigida com o uso de lentes, e foi aqui separada das demais não apenas por ser a mais comum das ametropias, mas também por se constituir o foco deste estudo, que busca relacioná-la com a perda de acomodação decorrente da idade, como será visto no capítulo seguinte.

E, além das ametropias, Oliveira (2007) assinala que existem também as “ambliopias”, os problemas de visão que não podem ser compensados através do uso de lentes comuns e constituem dois grupos distintos: aqueles derivados de problemas nos olhos e os que derivem de problemas orgânicos.

Os casos de problemas nos olhos são os de perda de visão pelo cérebro em função de distúrbios como o estrabismo (quando traz desequilíbrio à musculatura externa do olho) e de anisometropia (que é uma elevada diferença de dioptria entre os olhos, geralmente acima de 3.00)

Já as alterações orgânicas são decorrentes de infecções bacteriológicas ou substâncias tóxicas ingeridas junto com alimentos e/ou medicamentos, sendo que entre elas Sá e Plutt (2006, p. 128) destacam:

Nistagmo: caracterizado pelo descontrole neuromuscular do globo ocular que pode ser congênito ou adquirido.

Doenças da córnea: a córnea pode ser acometida de várias doenças, além de muito sensível a pequenos traumatismos; vejamos algumas destas moléstias:

Queratite: inflamação da córnea devido à ação de vírus, bactérias ou fungos;

Ceratocone: caracteriza-se pelo enfraquecimento da córnea, fazendo com que a mesma assuma a forma de um cone devido à pressão do humor aquoso;

Pterígio: proliferação fibrovascular da conjuntiva sobre a córnea.

Leucoma: opacificação após um trauma

Edema; endotélio tem dificuldade para retirar líquido da córnea.

E, por paradoxal que possa parecer, em meio a todos estes males que podem acometer a visão a deficiência mais frequente, a presbiopia, parece não constituir uma doença em si, isto é, não decorrer da existência de problemas no aparelho ocular ou no organismo, mas sim dever-se tão somente ao envelhecimento humano e à perda natural da capacidade de acomodação do cristalino, como se busca aferir neste estudo.

3. A RELAÇÃO ENTRE PRESBIOPIA E A ACOMODAÇÃO

A presbiopia, vulgarmente conhecida como 'vista cansada', é uma anomalia da visão que decorre do envelhecimento do indivíduo, que ocasiona o enrijecimento dos músculos ciliares, e costuma ocorrer por volta dos 40 anos de idade, embora as pessoas que apresentam hipermetropia ou tenham diabetes mellitus possam vir a apresentar a presbiopia mais cedo, por volta dos 35 anos de idade.

Em sua fisiologia normal, o olho, para se enxergar de perto, necessita que o seu poder de refração seja aumentado, de modo a que a imagem seja focalizada. De acordo com Dantas (1999), a 33 centímetros de distância, que é a distância normal da leitura, faz-se necessário um aumento de 3 dioptrias para que a imagem seja vista com nitidez. Normalmente, o indivíduo consegue fazer isso contraindo os músculos ciliares e, dessa forma, modificando o formato do cristalino de modo a aumentar o seu poder dióptrico, num processo, já mencionado neste estudo, chamado de acomodação.

Assim, a presbiopia, que é a mais comum das desordens refrativas da vida adulta, está relacionada a diminuição da amplitude de acomodação e os seus sintomas começam com a dificuldade em focalizar objetos próximos, avançando para o cansaço visual durante a leitura, às vezes acompanhado de ardência ocular e lacrimejamento. Letras pequenas tornam-se ilegíveis na distância habitual levando ao borramento da imagem. Os sintomas são intensificados sob luz inadequada e tendem a ser piores ao final do dia.

A presbiopia se deve a vários fatores, entre eles o contínuo aumento do cristalino e a perda de elasticidade de sua cápsula, o que impede os músculos ciliares de conseguir modificar o seu formato e ocasiona falta de focalização para as imagens de perto. Este processo é progressivo e costuma piorar com a elevação da idade, embora em grande parte dos casos se estabilize quando o indivíduo chega aos 60 anos.

A correção da presbiopia pode ser feita através do uso de lentes corretoras multifocais, bifocais ou pelo uso de óculos para leitura. Dantas (1999) registra que existem cirurgias experimentais destinadas a aumentar o espaço onde o cristalino se encontra, de modo a fazer com que este volte a ter capacidade de acomodação, mas assinala que isto apenas retarda o surgimento da presbiopia, além de ainda não existir nenhum estudo que avalie as complicações desta cirurgia em longo prazo.

É também Dantas (1999) a registrar que uma alternativa natural e sem restrições é a realização dos exercícios visuais elaborados pelo Dr. Horatio Bates e/ou o uso temporário dos óculos terapêuticos de *PinHole* (literalmente, pequenos furos), os quais permitem, na maioria dos casos, que o indivíduo possa enxergar sem lentes de grau, fortalecendo a musculatura do sistema ocular e reprogramando as funções cérebro visuais, além de relaxar a musculatura e devolver ao globo ocular o seu formato original, mas destaca que, apesar de alguns indícios, essa alternativa ainda não tem comprovação científica.

De acordo com Werner *et. al.* (2000) a palavra 'acomodação' foi introduzida por Burow em 1841 e os livros anteriores usavam o termo 'adaptação', que hoje é aceito como relacionado às variações da sensibilidade retiniana devido às mudanças na intensidade luminosa.

Explicações de como a acomodação ocorre têm sido propostas desde longa data. Em uma revisão de literatura sobre acomodação e presbiopia veremos que muito do que se assume ser conhecido é ainda controverso. Se a inervação responsável pela acomodação não está bem caracterizada, também o mecanismo de desenvolvimento da presbiopia é de certo modo teórico.

Cientistas têm estudado as alterações da amplitude de acomodação em relação a idade e os resultados parecem indicar que a amplitude de acomodação diminui de maneira linear com a idade, declínio que ocorre de maneira universal e previsível. De acordo com Carvalho (2002), se um indivíduo está adequadamente corrigido para distância, sua idade pode ser calculada com uma variação de um ano e meio, medindo-se sua amplitude de acomodação.

Sob esse prisma, percebe-se que uma teoria com vista a explicar a relação entre o mecanismo de acomodação e a presbiopia deve levar em conta as alterações observáveis no olho durante o esforço de acomodação, além de trazer uma explicação razoável para o seu declínio em função da idade, mas se observa que, apesar das inúmeras teorias propostas ao longo do tempo, o mecanismo e as inter-relações entre acomodação e presbiopia não estão completamente esclarecidos.

3.1 O Mecanismo de Acomodação

O reflexo de acomodação é entendido como um sistema "*feedback*" que opera de modo a aumentar ou otimizar o contraste luminoso da imagem retiniana. Quando se altera a fixação do olhar de um objeto distante para outro que está perto, cada olho acomoda e ambos convergem no interesse de manter a visão binocular.

Os mecanismos que operam esta mudança e as variáveis que a afetam têm despertado o interesse dos estudiosos há muito tempo. Historicamente, existem registros de que a existência de um mecanismo acomodativo foi abordada pela primeira vez por Scheiner no ano de 1619 quando, de acordo com Carvalho (2002) ele, através de uma experiência feita em um cartão onde os objetos eram vistos a uma distância variável através de furos, provou que no olho existe um mecanismo controlando o ajuste de foco.

A explicação para este fato, no entanto, só foi dada em 1759 quando, ainda de acordo com Carvalho (2002), William Porterfield sugeriu que a acomodação era uma consequência de mudanças no cristalino. A partir daí outras possíveis explicações surgiram e, neste contexto, Albrecht Von Haller, em 1763, considerou que a contração da pupila diminuía os círculos borrados, num mecanismo semelhante à câmara obscura presente em alguns animais, enquanto outros estudiosos sugeriram que o alongamento do globo ocular causado pela contração dos músculos extra-oculares seria responsável pela acomodação.

A possibilidade de que a acomodação estaria relacionada a mudanças na forma do cristalino, foi sugerida por Descartes, em 1677, mas só muito tempo depois é que Helmholtz, entre 1853 e 1856, foi capaz de demonstrar que o ato de acomodação

provido pelo músculo ciliar era acompanhado por um incremento na curvatura de ambas as faces do cristalino levando a um aumento na sua espessura.

Helmholtz, como assinala Carvalho (2002), observou que o centro do cristalino aumentava de espessura durante a acomodação e, baseado nesta observação, afirmou que quando o olho acomoda, o músculo ciliar se contrai, reduzindo a tensão zonular e levando, assim, ao aumento do espaço entre o corpo ciliar e o equador do cristalino. É esta diminuição de forças aplicada no equador do cristalino que permite a contração de sua cápsula elástica, causando um aumento do diâmetro antero-posterior do cristalino e um aumento do seu poder óptico.

Desse modo, o ato de acomodação resultaria de uma contração do músculo ciliar que reduz o diâmetro do corpo ciliar e relaxa a tensão zonular, permitindo que os cristalinos jovens retomem suas formas originais, de curvaturas acentuadas e elevado poder óptico, para focalizar objetos próximos sobre a retina. Quando a acomodação cessa, o músculo ciliar relaxa e retorna a sua configuração "desacomodada", a tensão zonular é novamente aumentada e o cristalino é tracionado no equador aumentando assim sua distância focal. De acordo com Helmholtz, citado por Dantas (1999), essa é a razão do movimento do equador do cristalino ser em direção oposta à esclera durante o processo de acomodação e em sua direção quando do relaxamento do músculo ciliar.

Mesmo admitindo que a influência da cápsula na determinação da forma do cristalino é verdadeira, essa teoria de Helmholtz não explicava a forma assumida pela superfície anterior do cristalino e só muitos anos depois é que Fincham sugeriu que a forma peculiar do cristalino se devia à sua estrutura capsular: muito mais espessa na frente do que atrás; e tendo as porções anterior e posterior mais espessas lateralmente do que nos pólos, justamente dentro da inserção das fibras zonulares.

A diferente espessura nas várias partes da cápsula sugere que o cristalino adquiria uma forma plana preferencialmente na periferia, onde a cápsula é mais espessa e resistente, assumindo a forma convexa na região axial onde é mais fraca. No pólo posterior a cápsula é muito fina, e neste ponto ocorre o encurvamento máximo, mesmo no estado de desacomodação. Assim, era à diferença de espessura da parte central e

lateral da cápsula anterior que Fincham atribuía a responsabilidade pela forma hiperbólica da superfície anterior do cristalino durante a acomodação.

Este mecanismo de acomodação proveniente da teoria de Helmholtz foi consensual durante muitos anos, embora recentemente tenha surgido um mecanismo de acomodação alternativo que sugere uma outra explicação para a acomodação.

De acordo com Dantas (1999), assim como a de Helmholtz, essa nova teoria, proposta por Schachar e Anderson, afirma que a zônula equatorial se insere no músculo ciliar anterior, na base da íris, e que as zônulas anterior e posterior se inserem na porção posterior do músculo ciliar. Diferentemente da outra, no entanto, ela propõe que durante a contração do músculo ciliar, através da ação das fibras radiais e longitudinais, a porção anterior do músculo ciliar se desloca em direção a esclera na base da íris. Este movimento aumenta a tensão na zônula equatorial enquanto relaxa a tensão nas fibras zonulares anterior e posterior.

Schachar e Anderson entendem que as forças assim aplicadas tracionariam o equador do cristalino em direção a esclera durante a acomodação e, juntamente com o relaxamento das fibras zonulares anterior e posterior, haveria um aplanamento da periferia do cristalino enquanto o centro aumenta sua curvatura. O movimento do equador do cristalino seria, então, em direção a esclera durante a acomodação e em direção oposta a ela quando do relaxamento do músculo ciliar.

A base da teoria de Schachar é que o diâmetro equatorial aumenta durante a acomodação, mas estudos recentes demonstraram através do uso de imagem, que o diâmetro do cristalino diminui durante a acomodação, como descreve a maioria dos autores. Também, a descrição das inserções zonulares conflita com as evidências observadas pelas análises histológicas e de microscopia eletrônica de varredura, uma vez que não há inserção de fibras zonulares equatoriais ou nenhuma outra fibra zonular na base da íris e no músculo ciliar anterior.

Werner *et. al.* (2000) destaca que, apesar dos altos custos anuais acarretados pela presbiopia, as suas causas básicas ainda permanecem sem explicação, mesmo com os vários estudos baseados na teoria de Helmholtz que tentaram entender o porquê da perda da acomodação em indivíduos idosos. Alguns estudos sugerem uma

perda da elasticidade capsular e zonular com a idade, por isto, quando a zônula está relaxada o cristalino não é capaz de alterar sua forma. Outros trabalhos sugerem uma atrofia do músculo ciliar com a idade, enquanto outros fazem referência à uma deposição contínua de fibras sobre o cristalino tornando-o mais compacto e pouco maleável. O fator mais importante para a perda da acomodação poderia ser também o aumento do grau de dureza do cristalino envelhecido, levando a uma inabilidade de responder ao estímulo acomodativo.

3.2 O Mecanismo de Acomodação e a Presbiopia

Segundo Dantas (1999), o conjunto de teorias proposta para se explicar as alterações que podem ocorrer no olho resultando na presbiopia são agrupadas em três categorias: as teorias baseadas no cristalino e cápsula, que consideram as alterações na elasticidade e complacência do cristalino e da cápsula; as teorias extralenticulares, que consideram as alterações no músculo ciliar e coróide; e as teorias geométricas, que consideram as alterações da inserção zonular no cristalino.

Dantas (1999), registra ainda que Fincham adicionou dados que davam suporte a teoria acomodativa de Helmholtz, oferecendo evidências de que a presbiopia era causada pela inabilidade da cápsula em moldar a substância endurecida do cristalino para a forma acomodada. O autor lembra que Fischer também apoiou a teoria da presbiopia de Fincham, atribuindo a perda da capacidade de acomodação às alterações das propriedades elásticas do cristalino e inovou ao mostrar que a elasticidade capsular diminui pela metade entre a juventude e os 60 anos de idade. E baseado nestas evidências, se percebe que a redução da elasticidade capsular sozinha não pode explicar a presbiopia, somente diminuindo a capacidade de alterar a curvatura do cristalino.

Avaliando-se a pressão da cápsula em função do estiramento lenticular, Fischer concluiu que a diminuição da amplitude está relacionada a redução da elasticidade capsular, às alterações da elasticidade da substância do cristalino e ao aplanamento do mesmo. Estas conclusões deram suporte à teoria de Fincham da presbiopia, porque

uma menor elasticidade capsular exerceria menos força na substância endurecida do cristalino idoso, como coloca.

Dantas (1999), ao analisar o trabalho de Fischer, lembra que quando o cristalino é desencapsulado ele torna-se fino e aplanado e que a substância do cristalino tende a restaurar as forças, mantendo-o no estado desacomodado. Estas forças, em contrapartida, entram em antagonismo com a elasticidade capsular e, a partir daí, Fischer sugeriu que em olhos jovens, as forças elásticas são dominantes, enquanto as forças restauradoras da substância do cristalino predominam na presbiopia.

As teorias baseadas no cristalino e cápsula aceitam, indiretamente, que o músculo ciliar é capaz de prover a mesma magnitude de força em olhos jovens e présbitas e as medidas de impedância, feitas através de ciclografia, têm demonstrado que a contração do músculo ciliar mantém-se estável até a idade de 60 anos, o que dá suporte a estas teorias. Entretanto, estes estudos são passíveis de critica devido à incerteza sobre o que, exatamente, estes exames são capazes de medir, uma vez que, como foi observado, um determinado estímulo acomodativo não gera consistentemente uma mesma impedância.

Já Werner *et. al.* (2000) cita outras experiência feitas e assinala que em macacos *rhesus*, que possuem sistema acomodativo similar ao do homem e também desenvolvem presbiopia em função do envelhecimento, a habilidade do músculo ciliar de alterar a sua configuração em resposta a drogas ou estimulação elétrica declina claramente com a idade. Estes resultados, em princípio controversos, podem sugerir uma possível perda da função do músculo ciliar concorrente com o desenvolvimento da presbiopia, mas se este desgaste do músculo ciliar fosse significativo um exercício vigoroso, como a leitura de perto prolongada, poderia reverter a presbiopia, e não existe evidência científica de que isto possa ocorrer.

Werner *et. al.* (2000) também registra que Brown sugeriu que a presbiopia está associada com a liquefação do vítreo, uma vez que os dois processos ocorrem aproximadamente na mesma época da vida, mas lembra que esta teoria não explicaria porque a amplitude de acomodação, em muitos casos, começa a declinar muito cedo na vida.

Outra possibilidade mencionada por Werner *et. al.* (2000) que poderia dar suporte ao conceito de teorias geométricas, observa que a localização das inserções zonulo-lenticulares em relação ao equador do cristalino e do músculo ciliar mudam com a idade, enquanto o cristalino aumenta de tamanho. Este tipo de alteração na geometria do segmento anterior resultaria em uma maior retenção das forças zonulares aplicadas no cristalino durante a contração do músculo ciliar, sem necessariamente requerer outras mudanças nas propriedades do segmento anterior.

Para Werner *et. al.* (2000), a constatação de um aumento do cristalino com a idade, alterando suas curvaturas e provocando uma mudança das inserções zonulares no cristalino, levaram a sugestão de que fatores distintos podem interagir e contribuir para a falência de um cristalino envelhecido para acomodar, permanecendo então em um estado desacomodado. Mais recentemente, a presbiopia foi descrita como sendo uma desordem geométrica secundária somente às alterações do tamanho e volume do cristalino.

Dantas (1999), por sua vez, assinala que Schachar propôs que a tensão zonular aumenta durante a acomodação em indivíduos jovens, acreditando que a presbiopia resulta de uma diminuição da tensão zonular causada pelo crescimento normal do cristalino com a idade. Este possui uma origem ectodérmica e continua a crescer durante toda a vida, tendo o seu diâmetro equatorial aumentado na ordem de 0,02 mm/ano. De acordo com o autor, a distância entre o músculo ciliar e o equador do cristalino diminui durante a vida. Como consequência, a força efetiva que o músculo ciliar poderia exercer no equador do cristalino ficaria reduzida de maneira linear com a idade.

Para Schachar, segundo Dantas (1999), a amplitude de acomodação diminui linearmente com a idade resultando na presbiopia e isto seria uma consequência do crescimento normal do cristalino. De acordo com Schachar, a expansão cirúrgica da esclera em torno do corpo ciliar pode restaurar a acomodação, sendo então uma solução para a presbiopia. Essa cirurgia de expansão escleral envolve a implantação de anéis de plástico ou arcos de plásticos na esclera que circunda o corpo ciliar, de modo a aumentar o espaço entre o corpo ciliar e o equador do cristalino.

De acordo com Dantas (1999), foram registrados, até hoje, quatro casos de pacientes que passaram por essa cirurgia, sendo que a visão para perto melhorou em dois pacientes, enquanto a amplitude de acomodação permaneceu estável em todos os casos. Para este autor, estes resultados não são suficientes para se concluir que a eficácia da cirurgia de expansão escleral como forma de tratamento da presbiopia tenha sido completamente determinada, pois existem evidências de que a melhora obtida pelos pacientes em questão pode ser apenas consequência de aberrações lenticulares, resultando num sistema óptico multifocal, ao invés de uma verdadeira acomodação.

Uma análise da literatura especializada mostra que o conceito de perda da acomodação com a idade estar relacionado com a diminuição da tensão zonular que resulta do contínuo crescimento do cristalino durante a vida, ao invés de atribuí-la à esclerose do cristalino, é quase consensual entre os autores, tendo sido descrita também por Weale, Bitom e Miranda, além dos autores já mencionados ao longo deste estudo.

Entretanto, a tese de que a diminuição da acomodação com a idade está relacionada com o contínuo crescimento equatorial do cristalino além de não ter respaldo experimental não é universalmente aceita, pois, como demonstrado por Farnsworth e Shyne, a distância do corpo ciliar à inserção zonular sobre o cristalino não se altera com a idade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora existam várias teorias que visam explicar as alterações que podem ocorrer no olho e dar origem à presbiopia, não há ainda uma clara compreensão do que efetivamente ocorre na determinação desta ametropia.

As teorias propostas seguem três linhas de explicações possíveis, cada uma delas focada em um ponto distinto do olho e apresentando argumentos que explicam alguns fatos e deixam outros em aberto, sem que nenhuma das três vertentes, por si só ou mesmo associada às demais, possa explicar satisfatoriamente o fenômeno.

As teorias baseadas no cristalino e cápsula consideram a existência de alterações na elasticidade e na complacência do cristalino e da cápsula, mas os estudos até hoje feitos não foram suficientes para determinar as efetivas alterações das propriedades ópticas do mesmo com a idade.

Por outro lado, também se observam controvérsias nas próprias teorias que adotam essa vertente de estudo, uma vez que algumas delas atribuem a presbiopia puramente ao crescimento do cristalino, que se mantém maleável durante toda a vida, enquanto outras defendem o ponto de vista de que o cristalino se torna enrijecido com o passar dos anos.

Do mesmo modo, as teorias extralenticulares, que consideram as alterações no músculo ciliar e coróide não se mostram definitivas na medida em que foi constatado que a distância do corpo ciliar à inserção zonular não se altera com a idade, além de não trazer nenhuma evidência experimental que reforce a idéia de que a esclerose do cristalino não ocorre.

Já as teorias geométricas, que consideram as alterações da inserção zonular no cristalino e propõem que a presbiopia resulta da diminuição da tensão zonular em função do próprio crescimento normal do cristalino, uma vez que este continua a crescer durante toda a vida esbarram na constatação de que, excetuando-se os casos em que o indivíduo apresenta miopia progressiva, as dimensões da esclera não mudam significativamente após os 13 anos de idade.

Percebe-se, assim, que nenhuma dessas três vertentes, ainda que trazendo explicações para determinados fatos, conseguiu definir com clareza o processo de instalação da doença e que, apesar de haver um maior número de estudiosos a apoiar a tese de que são as alterações na elasticidade e na complacência do cristalino e da cápsula que ocasionam a presbiopia, a disputa por essa descoberta ainda está longe de uma conclusão definitiva.

Depreende-se, pelo exposto ao longo deste estudo, que mecanismos do cristalino aparecem, à luz do conhecimento já amalhado, como o fato mais importante na determinação da presbiopia, e que, pelo menos por enquanto, parece ter sido Helmholtz o pesquisador que trouxe a teoria que melhor explica o mecanismo físico da acomodação, mas percebe-se, também, que ainda não se pode apontar conclusivamente a perda de acomodação como causa única e determinante da presbiopia, concluindo que se fazem necessários novos estudos para dissipar algumas noções ainda não aclaradas sobre o desenvolvimento dessa deficiência e que se identifique, além dos fatores relacionados a idade que de fato contribuem para a perda da capacidade de acomodação, outras perdas orgânicas que contribuam para o seu surgimento e os mecanismos através dos quais ela se instala.

Se por um lado, o do conhecimento, deve-se admitir o fato de a presbiopia ser ainda uma condição irreversível, por outro, pelo lado humano, pode-se destacar como positivo o fato de que o seu diagnóstico e tratamento com óculos são o mais simples dos problemas refrativos, e que a descoberta de sua causa e cura ao invés de ser vista como um problema deve ser encarado como um desafio.

REFERÊNCIAS

AMARAL, M.M., **Determinação de Curvas de Isoíndice para o Cristalino Humano, via simulação computacional**, 2003. Universidade Estadual Paulista São Paulo. – Brasil.

BITO, L. Z, MIRANDA, O. C. Accommodation and presbyopia. In Reinecke RD (Ed.), Ophthalmology annual. In WERNER, Leonardo; TRINDADE, Fernando; PEREIRA, Frederico; WERNER, Liliana. Fisiologia da acomodação e presbiopia. In **Arquivos Brasileiros de Oftalmologia**, 2000:63:487-93. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abo/v63n6/9615.pdf>. Acesso em: 10/03/12.

BROWN, N. P. **The change in lens curvature with age**. Exp Eye Res 1974;19:175-83.
CARVALHO, L.A.V. Avaliação precisa dos defeitos do olho, **Ciência Hoje**, v.30, nº 179. 2002.

COELHO, M. S. **Avaliação Neurológica Infantil**. São Paulo: Ática, 2004. 228p.

DANTAS, A. M. **Anatomia Funcional do Olho Humano e Seus Anexos**. 4ed. Rio de Janeiro: Colina Editora, 1999. 435p.

FARNSWORTH P.N. Anterior zonular shifts with age. Exp Eye Res 1979;28:291-7. In WERNER, Leonardo; TRINDADE, Fernando; PEREIRA, Frederico; WERNER, Liliana. Fisiologia da acomodação e presbiopia. In **Arquivos Brasileiros de Oftalmologia**, 2000:63:487-93. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abo/v63n6/9615.pdf>. Acesso em: 10/03/12.

FINCHAM, E. F. **The mechanism of accommodation**. (1951). In WERNER, Leonardo; TRINDADE, Fernando; PEREIRA, Frederico; WERNER, Liliana. Fisiologia da

acomodação e presbiopia. In **Arquivos Brasileiros de Oftalmologia**, 2000:63:487-93. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abo/v63n6/9615.pdf>. Acesso em: 10/03/12.

GONÇALVES, P. **Oftalmologia**. 8ed. São Paulo: Atheneu, 1995.

KRONFELD, P. C., McHUGH, G., POLYAK, S. L. **Anatomia do Olho Humano com Ilustrações Transparentes**. 1ed. Tradução de José, L.N. New York: Bausch e Lomb. Rochester, 1943. 106p. Disponível em: <http://.vrmny.com/anatomy.htm>.

MARTINS JORGE, Jorge Manuel. **Preditores das alterações visuais em jovens estudantes**. Tese de doutorado da Universidade de Minho. 2006. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/5945/3/Preditores%20das%20alter%C3%A7%C3%B5es%20visuais%20em%20jovens%20estudantes%C3%A1rios.pdf>

OLIVEIRA, Marcelo Parreira de. A idade e o olho: estudo físico do olho. (2007). São Paulo. Disponível em: <http://www.algosobre.com.br/fisica/>. Acesso em: 20/02/12.

SÁ, Luís; PLUTT, Mauro. **Anatomia e fisiologia ocular: acomodação**. Portugal: Editora Universidade da Beira Interior, 2006.

SCHACHAR, R. A, Black TD, Kash RL, Cudmore DP, Schanzlin DJ. The mechanism of accommodation and presbyopia in the primate. *Ann Ophthalmol* 1995;27:58-67.

STEIN, H. A., FREEMAN, M. J., STENSON, S. M. **Guia CLAO para refração e Óculos**. 2ed., tradução por José, N.K., CORAL-GHANEM, C., OLIVEIRA, P. R., 2004. 134p.

WERNER, Leonardo; TRINDADE, Fernando; PEREIRA, Frederico; WERNER, Liliana. Fisiologia da acomodação e presbiopia. In **Arquivos Brasileiros de Oftalmologia**, 2000:63:487-93. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abo/v63n6/9615.pdf>. Acesso em: 10/03/12.