

# STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

**Obor č. 6: Zdravotnictví**

Vliv obrazovek na zrak

**David Vlasák**  
**Jihočeský kraj**

**České Budějovice 2023**

# STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 6: Zdravotnictví

Vliv obrazovek na zrak

**How computer displays affect eyesight**

**Autor:** David Vlasák

**Škola:** Česko-anglické gymnázium, Třebízského 1010/9, 370 06  
České Budějovice 5

**Kraj:** Jihočeský

**Konzultant:** RNDr. Mgr. Pavel Soukup, Ph.D.

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval/a samostatně a použil/a jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

V Českých Budějovicích dne 18.3. 2024 .....

David Vlasák

## **Poděkování**

Děkuji svému konzultantovi, Pavlu Soukupovi, za spolupráci a pomoc při tvorbě této práce.

## **Anotace**

Ve své práci SOČ jsem se zabýval dopadem používání obrazovek na lidské oči. Moderní a starší technologie ovlivňují zrak srovnatelným způsobem. U všech technologií mohou nastat stejné oční vady, avšak všem těmto problémům je možno předejít. Krátkozrakost může nastat při dlouhodobém používání obrazovky z nepřiměřené vzdálenosti. *Computer vision syndrome* – CVS, tvoří soubor několika menších příznaků v důsledku nesprávného či příliš dlouhého hledění do obrazovky. Modré světlo může mít negativní dopad na spánek v důsledku snižování sekrece melatoninu ve večerních hodinách.

## **Klíčová slova**

Krátkozrakost, computer vision syndrome, modré světlo, technologie obrazovek, zrak

## **Annotation**

In this paper I have investigated the impact of screen use on human eyes. Both modern and older technologies affect vision in similar ways. Eye defects can occur irrespective of the display technology, however, all of these problems are preventable. Myopia can occur with a prolonged use of a screen from an inadequate distance. *Computer vision syndrome* - CVS, is a collection of several minor symptoms due to incorrect usage or excessive simultaneous time spent looking at a screen. Blue light can have a negative impact on sleep due to a reduction in melatonin secretion in the evening.

## **Keywords**

Myopia, computer vision syndrome, blue-light, display technology, vision

# Obsah

1	Úvod.....	6
2	Obrazovky.....	8
2.1	CRT displeje.....	8
2.2	LCD monitory.....	9
2.2.1	TN panely.....	10
2.2.2	IPS panely.....	12
2.3	Plazmové displeje.....	13
2.4	OLED displeje.....	13
3	Zrak.....	14
3.1	Lidské oko.....	14
3.1.1	Stěna oční koule.....	15
3.1.2	Obsah oční koule.....	18
3.2	Proces vidění.....	19
4	Poruchy zraku.....	20
4.1	Vady refrakce (ametropie).....	20
4.2	Syndrom počítačového vidění.....	23
4.3	Modré světlo.....	25
5	Vliv obrazovek na zrak.....	27
6	Závěr.....	31
7	Seznam použité literatury.....	33
8	Seznam použitých obrázků.....	39

# 1 ÚVOD

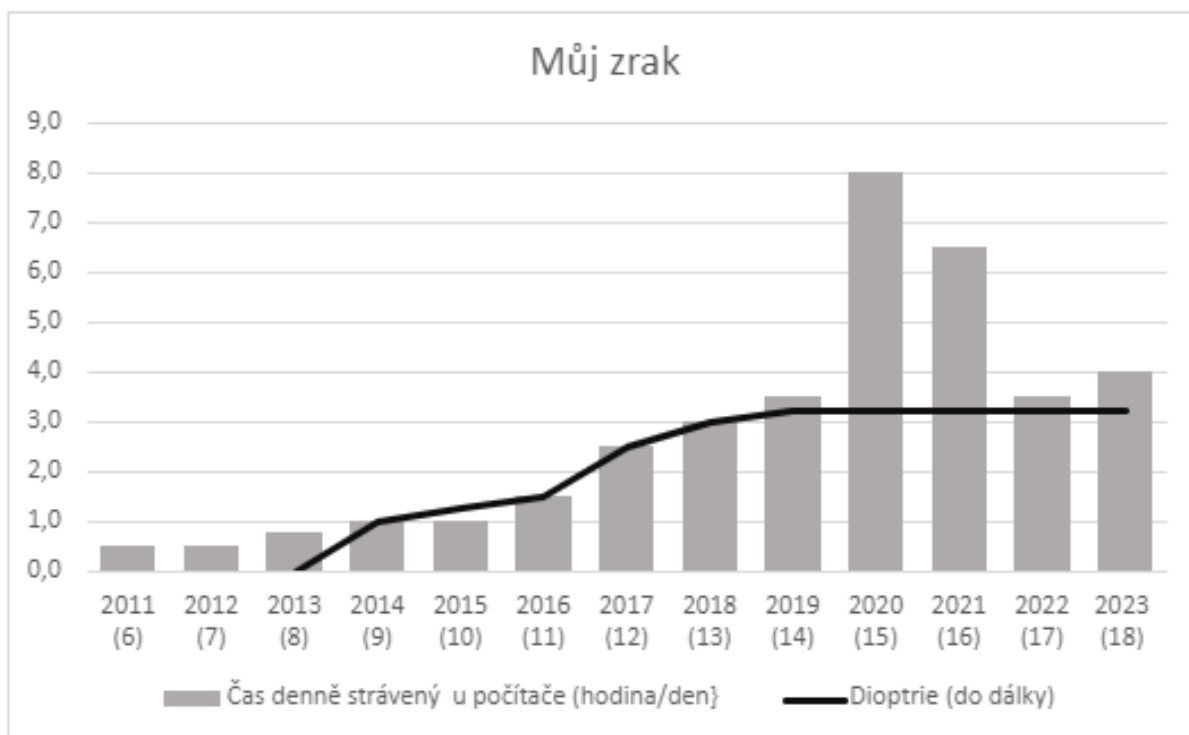
Během prvních 18 let svého života jsem strávil několik tisíc hodin sledováním nějaké obrazovky a často mi bylo mými rodiči předznamenáváno, jaký dopad to bude mít na moje oči. Údajně se mi “zhorší”, nebo si je “zkazím”. Zřejmě tím měli na mysli nástup krátkozrakosti a neschopnost číst malý text z dálky, třeba na tabuli ve škole, když sedím v zadní lavici. Jejich vize byla taková, že když budu sedět moc dlouho – či dokonce moc blízko u monitoru, moje oči se *zhorší* ve sledování věcí na dálku. Myslím si, že tuto koncepci má v hlavě velká část populace.

Asi v šesti letech jsem začal používat sestřin počítač, který byl pořízen v dobré víře spolu se vzdělávacími programy pro předškolní a školní děti, abychom se sestrou rozvíjeli svůj intelekt. Primárně byla tato koupě mířena na sestru nastupující do školy, já jsem jej používat v zásadě ani neměl. Po pár dnech, při kterých jsem měl *pouze* sledovat sestru jak jej používá, jsem se začal také angažovat, k čemuž rodiče svolili. Asi týden šlo vše podle plánu, poté jsem místo vzdělávacích programů začal upřednostňovat hry, které byly zakoupeny jen pro *zpestření* vzdělávání. Jakožto nadšenec do aut a techniky jsem byl okouzlen závodními hrami, nejprve realistickými a poté arkádami, jako například *Need for speed: Undercover*. Unesen rychlými auty a policejními honičkami, trávil jsem u počítače více a více času. Rodiče začali mít obavy nejen ohledně mého rozvoje, který by údajně mohl být narušen přílišným hraním her, ale také o mé oči. V devíti letech se mi navíc začala projevovat krátkozrakost, což rodiče ujistilo o jejich předtuše o negativním vlivu obrazovky na mé oči. Časem zapojili různá opatření, která mi měla čas u počítače limitovat, například budík nastaven na stanovený čas, nebo program přímo určený na tuto záležitost. Žádná z těchto opatření neobstála ve zkoušce času a moje touha po hraní na počítači je časem předčila.

V 11 letech jsem obdržel svůj vlastní počítač a bylo mi řečeno, že nastává doba, kdy je čas strávený počítači jen v mých rukou, a že rodiče už do toho zasahovat nebudou – jsem přeci dost velký a zodpovědný. I přesto se má počítačová aktivita bez zásahů rodičů neobešla.

Moje krátkozrakost se postupně horšila, v takových vlnách přibývaly dioptrie od jedné v 9 letech až do tří na obou očích ve 13 letech. Zajímavé je, že se od té doby dioptrie prakticky nezměnily (pouze o 0,25 v 15 letech), a to i přes veliký nárůst času stráveného před obrazovkou,

spolu s přiblížením obrazovky k obličejí ve výsledku adaptace na krátkozrakost. Vývoj času u počítače a mojí myopie ukazuje Obrázek 1.



Obrázek 1: Graf vývoje mé krátkozrakosti a obvyklého denního času stráveného před monitorem.

Má matka trpěla krátkozrakostí v přibližně stejném časovém rozmezí života jako já, ale do větší míry – 5 dioptrií na jednom a 6 dioptrií na druhém oku ve 20 letech. V období dospívání dochází k největšímu rozvoji těchto vad (Wu et al. 2016) což vzbuzuje debatu o příčinné souvislosti mezi krátkozrakostí a počítačem – zřejmě půjde o kombinaci různých faktů, včetně genů.

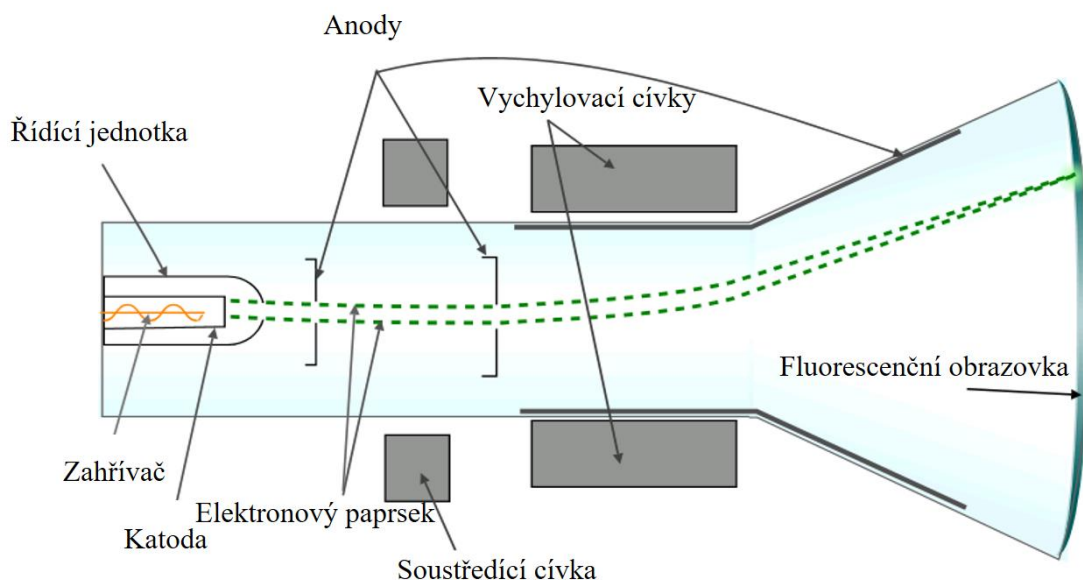
Člověk prostřednictvím očí vnímá přibližně 80 % informací o jeho vnějším prostředí. Pomocí fotoreceptorů, které mění viditelnou světelnou energii na nervové podráždění, dokáže získávat, využívat a uchovávat obrovské množství podnětů. Je to tedy bezpochyby nezbytný orgán, který je potřeba si chránit a nevystavovat ho zbytečným rizikům či škodlivým podnětům. Nečiníme ale tak na denní bázi sledováním nějaké obrazovky, ať už telefonní, televizní nebo počítačové? Jaké typy obrazovek jsou případně nejškodlivější a jak tomu bylo v historii? V této práci bych chtěl přesně tyto otázky zodpovědět.



## 2 OBRAZOVKY

### 2.1 CRT displeje

Dnes již pouze zřídka používanou, ale historicky důležitou zobrazovací technologií jsou CRT obrazovky. *Cathode Ray Tubes* neboli katodová trubice funguje na bázi světelných paprsků vyzařovaných elektronovým dělem na fluorescenční obrazovku před skleněným povrchem. Tři barvy (červená, zelená a modrá) zastoupeny elektronovými děly se různě kombinují na fluorescenční desce, aby vytvořily konečný obraz. Od 20. let minulého století až do jeho konce byla tato technologie klíčovou součástí spotřebitelských televizí a později i stolních počítačů a je zodpovědná za revoluci způsobu celosvětové komunikace a zábavy. Přestože dnes, po nástupu LCD a jiných moderních technologií, již není zdaleka tak relevantní, je třeba podotknout že CRT dominovalo displejový průmysl více než 70 let (Gassler 2016, Handbook of Visual Display Technology).



Obrázek 2: Schéma katodové trubice, přeloženo z AJ

převzato 10. 12. 2023 z: [https://simple.wikipedia.org/wiki/Cathode\\_ray\\_tube](https://simple.wikipedia.org/wiki/Cathode_ray_tube)

Hlavní součásti katodové trubice jsou katoda, dvě anody, soustředící a vychylovací cívky a fluorescenční obrazovka. Na obrázku lze pozorovat elektronový paprsek vycházející z katody, letící rovně až do oblasti s vychylovacími deskami, kde mění směr, a na konci se paprsek přemění na obraz na monitoru po dopadu na pixely fluorescenční obrazovky.

Pojmy anoda a katoda se v elektronice používají jako synonyma pro kladné a záporné svorky. Když monitor zapojíme do obvodu, protože napětí na katodě je nižší než napětí na anodě, budou v obvodu proudit elektrony od katody k anodě. Katoda je tedy poskytovatelem záporných elektronů, a jelikož elektrony jsou záporné, budou přitahovány ke kladné anodě. Elektrony však nemohou být z katody vytaženy pouze přitažlivou silou anody, protože elektrony potřebují dostatek energie k přerušování vazeb s jádry atomů, než uniknou. Katoda je prakticky zahřáté vlákno, nacházející se ve vakuu vytvořeném uvnitř skleněné trubice. Svazek elektronů je generován a přirozeně vylétává z rozžhavené katody do vakua. Když proud zahřeje vlákno, zvýší se kinetická energie elektronů. Po krátké době zahřívání tak budou mít elektrony dostatečnou rychlost, aby unikly z atomů. Anody poté fungují jako akcelerátory elektronů, které zlepšují kvalitu obrazu díky vyšší rychlosti elektronů dopadajících na obrazovku. Soustředící cívky poté proud elektronů zužují na tenčí paprsek pomocí magnetického pole, ve kterém do sebe elektrony různě narážejí a snižují svůj rozptyl. Užší paprsek zlepšuje kvalitu obrazu, jelikož se snažíme o co nejmenší pixely, potřebujeme i menší paprsek. Tisíce pixelů poté musí být tímto paprskem ozářeny zvláště, k čemuž slouží vychylovací cívky. Ty fungují na velmi podobném principu čili elektronový paprsek vychylují pomocí magnetického pole a směřují ho do jednotlivých pixelů. Každý pixel se skládá ze tří fosforových destiček, zastoupených červenou, zelenou a modrou barvou, ohraničených kovovou deskou s otvory přesně pro dané destičky. Při ozáření paprskem se destičky rozsvítí a na skleněné desce tvoří konečný obraz. Paprsek ozařuje celou obrazovku ze strany na stranu shora dolů, standardně 60× za sekundu čili s obnovovací frekvencí 60 Hz (Chen Y., Dr. Bray H. 2017).

## 2.2 LCD monitory

LCD (*liquid crystal display*) monitory vznikly jakožto nástupce CRT obrazovek ve snaze dosáhnout kvalitnějšího obrazu a lehčeji transportovatelného média. V 90. letech minulého století se tato technologie začala uplatňovat u notebooků, u stolních počítačů ještě převládaly CRT monitory. V roce 1997 byla na trh uvedena technologie PDP (*plasma display panel*) čili plazmových displejů, u kterých se předpokládalo, že ovládnou trh velkých obrazovek a LCD zůstane u malých displejů a časem bude nahrazeno novými technologiemi, jako OLED (*organic light emitting diode*). K tomu ovšem úplně nedošlo a po přelomu milénia se LCD stalo dominantní technologií, hlavně díky svým několika podtypům, které mezi sebou na trhu soutěžily, rapidně se vyvíjely a jsou dodnes relevantní. (Kim, Song 2009)

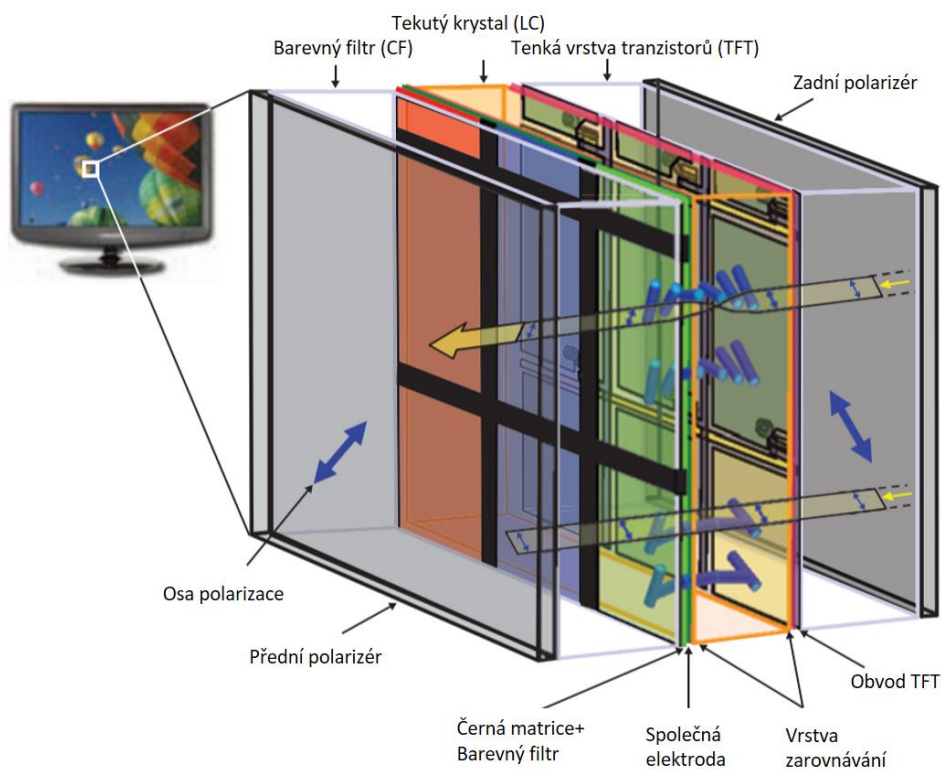
Při navrhování struktury buněk z tekutých krystalů (LC) jsou možné různé kombinace. Počáteční směry zarovnání LC lze řídit tak, aby byly homogenní nebo homeotropní, a to výběrem zarovnávacího materiálu. Směr elektrického pole může být buď vertikální, nebo rovinný, a to vytvořením rovinných elektrod na každé straně dvou substrátů nebo vytvořením jedné linie elektrod na jednom ze substrátů. Molekuly LC se vyrovnávají rovnoběžně s elektrickým polem u LC s kladnou dielektrickou anizotropií a kolmo na elektrické pole u LC se zápornou dielektrickou anizotropií. Pokud vezmeme v úvahu tyto kombinace, lze pro zobrazovací aplikace použít několik různých struktur a každá z nich má své vlastní odlišné vlastnosti. (Hyunki Hong 2016, Handbook of Visual Display Technology)

LCD panely jsou transmisivní a nemohou samy vyzařovat světlo, a proto potřebují **podsvícení** pro generování barev na obrazovce. Světlo, tedy příčné vlnění, kmitá v rovině kolmé ke směru šíření. Směr roviny kmitání je u normálního světla (tedy nepolarizovaného) náhodný. Když nepolarizované světlo projde polarizátorem, rovina kmitání všech světelných vln se stane kolmou na směr šíření. V LCD je tekutý krystal umístěn mezi dva zkřížené polarizátory. Pokud molekuly leží kolmo k rovině polarizátoru čili ve směru světelného paprsku, k polarizaci nedochází a zkřížený polarizátor nepropouští světlo, v důsledku čehož se pixel jeví jako černý. Pokud jsou molekuly rovnoběžné s rovinou polarizátoru čili podél směru roviny kmitání světla, dochází k polarizaci. Kapalně krystaly vykazují vlastnosti kapalného i pevného skupenství. Všechny molekuly kapalných krystalů mají tendenci se uspořádat ve stejném specifickém směru, což jim umožňuje proudit jako kapalina. (Tyagi, Chatterjee 2013)

### 2.2.1 TN panely

TN (*twisted nematic*) je jedním z nejrozšířenějších typů pro LCD panely a je dodnes relevantní. Vynález TN čili jeho elektro-optického efektu v roce 1971 (Schadt, Helfrich 1971) položil základní kámen pro LCD technologii. Původní TN zařízení měla displeje s nízkým informačním obsahem, které zobrazovaly pouze několik znaků nebo čísel s omezeným množstvím informací, klasickým případem takových displejů jsou tradiční náramkové hodinky a kalkulačka, které se používají dodnes. S rozvojem trhu rostla poptávka po displejích s větším množstvím informací a brzy se ukázalo, že hlavní nevýhodou základního TN zařízení je nemožnost multiplexovat nebo sdílet elektrody. V 80. letech se objevily dvě nové, zcela odlišné technologie, které změnilo množství informací, jež bylo možné na LCD displejích zobrazit. Jednou z nich je TFT (*thin-film transistor* – tenkovrstvý tranzistor), který se používá u

standardního zařízení TN. Druhá je STN (*supertwisted nematic*), kde byla geometrie TN zařízení změněna tak, aby vznikla jiná struktura zařízení, která by mohla zobrazovat velké množství informací bez nutnosti použití TFT. (Peter Raynes 2016, Handbook of Visual Display Technology)



Obrázek 3: Schéma TN TFT panelu, přeloženo z AJ, zdroj: Technical evolution of liquid crystal displays (Kim, Song 2009) Kroucená LC struktura otáčí polarizaci dopadajícího světla (horní pixel) bez elektrického pole a vyrovnává polarizaci s předním polarizátorem (jasný stav). Když je aplikován elektrický proud (dolní pixel), LC vrstva se homeotropicky vyrovná a polarizace světla již není vyrovnána s předním polarizátorem (tmavý stav).

Vrstva LC (*liquid crystal* – tekutý krystal) je vložena mezi substrát TFT (*thin film transistor* – vrstva tenkých tranzistorů) a substrát CF (*color filter* - barevný filtr). Obvody TFT (datové a hradlové sběrnice), elektrody pixelů a kanály TFT jsou vloženy do substrátu TFT a substrát CF se skládá z postupně naskládaných vrstev BM (*black matrix* - černá matrice), barevného filtru CF a průhledné vrstvy společných elektrod. Na vnějších plochách panelu jsou připevněny dva ortogonálně zarovnané polarizátory. Molekuly LC jsou zarovnány povrchovým ukotvením k vyrovnávacím vrstvám vytvořeným na vnitřních površích obou substrátů pomocí tření v

jednom směru, což vede k přednostnímu vyrovnání molekul LC. Směry tření obou substrátů svírají v režimu TN pravý úhel, což vede k vytvoření LC vrstvy se strukturou stočenou o  $90^\circ$  v nepřítomnosti elektrického pole. Zkroucená LC struktura otáčí polarizaci světla procházejícího buňkou, vyrovnává polarizaci s polarizací předního polarizátoru a umožňuje průchod světla (jasný stav). Při zvýšení elektrického pole přiloženého mezi pixelem a společnou elektrodou se LC vyrovnají s elektrickým polem, čímž se sníží dvojlom (otočení polarizace) LC vrstvy a výsledkem je šedý nebo tmavý stav pixelu. LCD displeje založené na struktuře TN tak využívají dvojlomu efektu LC vrstvy přímo k řízení polarizace světla a propustnosti panelu. Protože se však zdánlivá dvojlomnost LC vrstvy mění se směrem pohledu, dochází při pozorování z úhlu ke zkreslení obrazu. Toto zhoršení kvality obrazu mimo osu je obecně považováno za nejslabší stránku technologie LCD a bylo řešeno vývojem nových technologií LC. Nicméně režim TN je jednoduchý a nabízí dobré parametry jasu a doby odezvy (Kim, Song 2009).

### 2.2.2 IPS panely

IPS (*in-plane switching*) panel byl původně vyvinut pro velkoplošné displeje, jako televize, kvůli úhlové závislosti předešlého TN panelu. S rostoucím významem multimediálních aplikací byl vyžadován rychlý dynamický výkon, a tak se doba odezvy IPS postupně zlepšovala díky optimalizaci materiálů LC a schémat řízení. Se zdokonalováním technik přesného vzorování elektrod se postupně zvyšovala i propustnost režimu IPS. Tradičně známé nedostatky LCD displejů, jako je úzký pozorovací úhel a pomalá odezva, jsou pomocí režimů IPS většinou překonány a LCD displeje s režimem IPS se v současné době úspěšně používají pro velké multimediální aplikace. A díky stabilitě domény při použití vnějšího tlaku jsou LCD displeje s režimem IPS vhodné i pro aplikace s dotykovou obrazovkou (Hyungki Hong 2016, Handbook of Visual Display Technology).

V režimu IPS, který byl poprvé navržen v roce 1992, jsou rovnoměrně uspořádané molekuly LC s kladnou dielektrickou anizotropií otáčeny azimutálně na skleněné desce elektrickým polem rovnoběžným s deskou. Elektrické pole pro azimutální přepínání je aplikováno prostřednictvím proložených elektrod vytvořených na jedné ze substrátů. Propustnost světla článku je řízena přiloženým elektrickým polem. Vyrovnávací vrstva se tře rovnoběžně s osou polarizátoru, aby se vyrovnaly molekuly LC v tmavém stavu (Kim, Song 2009).

## 2.3 Plazmové displeje

PDP (plasma display panel) byl vynalezen v 60. letech 20. století, myšlenkou bylo použít matici pixelů na průsečících řádkových a sloupcových elektrod a na vybrané pixely vysílat světlo emitující plynové výboje. Žhavicí výboj může být jak vynikajícím spínačem, tak efektivním zdrojem světla, a to vysvětluje vytrvalost výzkumníků a společností během téměř čtyř desetiletí, kteří se snažili dosáhnout cíle, kterými byly barevné televizní displeje s úhlopříčkou až 60 palců. Plazmový displej se skládá ze dvou skleněných desek oddělených plynovou mezerou o velikosti přibližně 100  $\mu\text{m}$ , které jsou naplněny směsí vzácných plynů (obvykle Xe-Ne nebo Xe-Ne-He) schopnou emitovat UV fotony. Na každé desce je umístěno pole elektrod. Elektrodová pole jsou pokryta 20-40  $\mu\text{m}$  silnou dielektrickou vrstvou (Boeuf 2003).

Dva hlavní typy jsou stejnosměrné (*direct current* - DC) a střídavé (*alternating current* - AC) PDP. Výhodou stejnosměrného PDP je jednoduchost, zatímco výhodou střídavého PDP je delší provozní životnost. U stejnosměrného PDP jsou dvě elektrody přímo vystaveny plynu, takže jej lze provozovat ve stejnosměrném režimu. Hlavní nevýhodou tohoto způsobu provozu je relativně krátká provozní životnost, protože plazma přímo bombarduje elektrody a fosfor. Naproti tomu střídavý PDP využívá střídavý proud, takže je zapotřebí dielektrická vrstva. Kromě toho lze žádoucím způsobem nanést ochrannou vrstvu, která poskytuje ochranu před působením plazmatu, a tím se prodlužuje provozní životnost. Střídavý PDP je nejpoužívanějším typem PDP (Liu 2016, Handbook of Visual Display Technology). Vývoj plazmové technologie se pozastavil a tato zařízení již nejsou v domácnostech běžná, podobné nebo lepší zobrazovací vlastnosti nyní umožňují technicky využívající světelné diody.

## 2.4 OLED displeje

Vývoj OLED (*Organic light-emitting diode* - organická světelná dioda) displejů začal již v 50. letech minulého století. Pomalý vývoj rapidně zrychlil v 90. letech díky objevu fosforeskujících materiálů vyzařujících světlo, které výrazně zlepšily kvantovou účinnost této technologie. Teprve po přelomu tisíciletí se tyto displeje začaly objevovat na trhu ve formě televizních obrazovek. Největší výrobci té doby (Sony, Samsung, Toshiba...) mezi sebou několik let ostře soupeřili ve snaze vytvořit co největší a nejkvalitnější televizi. Výsledkem byly četné technologické pokroky, díky kterým je tato technologie dnes používána a nadále zkoumána (Ruiqing Ma 2016, Handbook of Visual Display Technology).

OLED je světelná dioda (LED), jejíž emitující elektroluminiscenční vrstva je tvořena filmem z organické sloučeniny, která v reakci na elektrický proud vyzařuje světlo. Tato vrstva organického polovodičového materiálu je umístěna mezi dvěma elektrodami. Obvykle je alespoň jedna z těchto elektrod průhledná. Existují dvě hlavní skupiny OLED: na bázi malých molekul a na bázi polymerů. Displeje OLED mohou používat buď adresovací schémata s pasivní maticí (PMOLED), nebo s aktivní maticí. OLED s aktivní maticí (AMOLED) vyžadují k zapnutí nebo vypnutí každého jednotlivého pixelu zadní desku s tenkovrstvými tranzistory, ale umožňují vyšší rozlišení a větší rozměry displeje. Displeje OLED pracují bez podsvícení, jelikož světlo emitují samy. Mohou tedy zobrazovat hlubokou černou barvu a jsou tenčí a lehčí než displeje z tekutých krystalů (LCD). Dále poskytují velmi široké pozorovací úhly, až 170 stupňů. V podmínkách s nízkým okolním osvětlením, například v tmavé místnosti, obrazovka OLED dosahuje vyššího kontrastního poměru než LCD, ať už LCD používá zářivky se studenou katodou nebo podsvícení LED. Ovšem kvůli nízké tepelné vodivosti OLED vyzařuje obvykle méně světla na plochu než anorganická LED. OLED technologie má také relativně nízkou životnost a je velmi citlivá na vlhkost. Co se týče spotřeby, při zobrazování tmavého až černého obrazu OLED využívá méně než polovinu elektřiny, kterou používá LCD displej, pro většinu regulérních snímků tvoří spotřeba asi 75 %, ovšem u čistě bílé s maximálním jasem může OLED konzumovat až trojnásobek elektřiny, než LCD (Khazanchi et al. 2012).

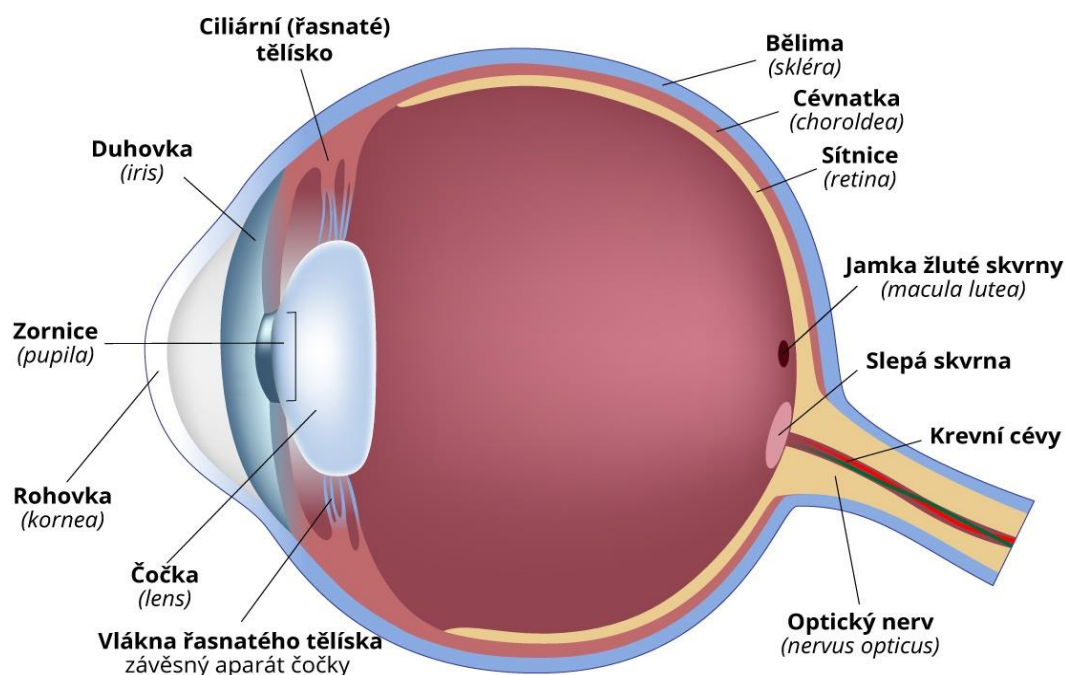
Abychom mohli uvážit vliv zmíněných zobrazovacích technologií na lidský zrak, v další části práce stručně popíšeme, jak vidíme.

## 3 ZRAK

### 3.1 Lidské oko

Pro porozumění potížím s očima, musíme nejprve vědět, jak fungují. Oči jsou složitý párový orgán, který tvoří periferní část zrakového ústrojí. Umožňují vnímání světla, barev a ohromného množství informací o okolním prostředí, čímž mimo jiné usnadňují orientaci v prostoru. Zrakový orgán je umístěn v očnici a je tvořen oční koulí a přídatnými očními orgány. Oční koule má přibližně kulovitý tvar o průměru 23-26 mm. Je složená ze **stěny oční koule** a **obsahu oční koule**.

# Stavba oka



Obrázek 4: Anatomické schéma lidského oka. Zdroj: <https://www.symptomty.cz/anatomie/oci/stavba-oka.jpg>, staženo dne: 10.10.2023

## 3.1.1 Stěna oční koule

Stěna oční koule se skládá ze 3 částí:

### 1) Zevní vazivová vrstva

Tvoří tuhý a pevný obal oční koule. Udržuje její tvar a je místem úponů šlach okohybných svalů. Její přední částí vstupuje do oka světlo. Je tvořena **bělimou** a **rohovkou**.

### Bělima

Bělima (skléra) je pevná zevní vazivová blána a tvoří zadních 5/6 oční koule. Je to ochranný obal pro hlubší oddíly oční koule a představuje pevnou oporu pro připojující se šlachy okohybných svalů. Bělima je prakticky bezcévná, a má proto bílou barvu, v dospělosti je porcelánově bílá, ve stáří je vlivem ukládání pigmentu z opotřebení nažloutlá (Synek, Skorkovská 2014). Tloušťka se pohybuje mezi 0,3 a 1,5mm, v zadní části je silnější, nejslabší je těsně pod úpony okohybných svalů. V zadní části okolo optického nervu je tloušťka



dvojnásobná. Je složena z neuspořádané sítě kolagenových vláken, která umožňuje rozptýl všech vlnových délek viditelného světla a má zářivě bílou barvu. V místě spojení rohovky a skléry se toto nepravidelné uspořádání náhle mění na pravidelné a systematické uspořádání (Cholkar et al. 2013).

## **Rohovka**

Rohovka (cornea) s přesahem uzavírá kruhový otvor o průměru asi 12 mm v předním okraji bělimy, doplňuje zbylou přední 1/6 oční koule. Má tvar segmentu koule, který se vyklenuje konvexně dopředu, přední (konvexní) strana vybíhá ve vrchol rohovky a zadní (konkávní) plocha rohovky se obrací do přední komory oční. V epitelu končí mnoho volných nervových zakončení, proto je povrch rohovky velmi citlivý na dotyk (Synek, Skorkovská 2014). Rohovka chrání zbytek oka před bakteriemi, prachem a dalšími škodlivými podněty. Pohlcuje nejškodlivější ultrafialové vlnové délky světla od Slunce a je hlavní součástí oka napomáhající zaostření světla na sítnici. Tak jako většina průhledných součástí rohovka ohýbá světlo bez deformace, což umožňuje světlu pokračovat v původním směru. Světelný paprsek je ohýbán a soustředěn do středu oka, čímž zmenšuje refraktovaný obraz (Zhu, Zhang, Del Rio-Tsonis 2012). Má větší refrakční index (1.3375) než vzduch, čímž světlo po kontaktu zpomaluje. Je zodpovědná za asi tři čtvrtiny refrakční síly oka – asi 40 dioptrií (Eghrari, Riazuddin, Gottsch 2015).

## **2) Prostřední vrstva**

Uvea (živnatka) obsahuje několik důležitých orgánů, reguluje množství světla v oku, tvoří se v ní komorová voda, která orgány vyživuje a pomáhá při regulaci nitroočního tlaku. Také formuje hemato-vodnou bariéru, která zachovává průzračnost komorové vody a sklivce. Funguje také jako tepelně izolační vrstva. Skládá se z: **duhovky, cévnatky a řasnatého tělesa** (Paul E. Miller 2009).

## **Duhovka**

Duhovka (iris) je nejvíce dopředu vysunutá část prostřední vrstvy. Tvoří malý kulatý otvor pro zornici, která se nachází uprostřed duhovky, funguje jako optická clona a dohromady regulují množství světla vstupujícího do oka pomocí 2 skupin svalů (svěrače a rozvěrače zornice). Zmenšení zornice také způsobí nárůst hloubky ostroty pro blízké objekty a snižuje určité optické odchylky (Paul E. Miller 2009). Duhovka i zornice jsou pokryty konvexní průhlednou

rohovkou, hlavní refrakční složkou oka. Barva duhovky záleží na množství pigmentu v melanocytech – zevní vrstvě duhovky. Modrá barva značí malé množství pigmentu melaninu, často se vyskytuje u dětí, ale časem se může měnit. Na textuře duhovky se podílí mnoho dalších faktorů, díky kterým je každá duhovka unikátní, liší se i levá a pravá u jedince. Toto umožňuje užívat duhovku jako biometrické rozpoznávací prostředky lidí (Irsch, Guyton 2009).

### **Cévnatka**

Cévnatka (choroid) je 0,01-0,02 mm tenká, různě pigmentovaná extrémně cévnatá tkáň, s cévami uspořádanými v jediné vrstvě na vnitřním povrchu pro zásobování fotoreceptorů (tyčinek a čípků) kyslíkem a živinami na vnější vrstvě sítnice. Vnitřně se spojuje s řasnatým tělesem a leží mezi sítnicí a bělimou (Paul E. Miller 2009). Mezi další funkce patří absorpce světla (zábrana odrazu světla a přesvětlení oka), termoregulace prostřednictvím rozptylu tepla a regulace nitroočního tlaku prostřednictvím vazomotorické kontroly průtoku krve. Pomocí cévnatky také odtéká komorová voda *uveosklerální* cestou (Nickla, Wallman 2010).

### **Řasnaté těleso**

Řasnaté těleso (corpus ciliare) je komplexní, specializovaná tkáň, která obsahuje několik typů buněk. Leží bezprostředně za duhovkou, při pohledu v řezu je řasnaté těleso trojúhelníkové, s jednou stranou přiléhající ke bělmu, jednou stranou obrácenou ke sklivci a základnou stoupá k duhovce. Ciliární sval se nachází na základně řasnatého tělíska a jeho vazy se připojují k čočce. Kontrakce a relaxace svalu mění napětí na čočce, což způsobuje změnu tvaru čočky a posun zaostřeného světla. Řasnaté těleso je také zodpovědné za produkci komorového moku. Jeho povrch je zpracován do řady hřebenů nazývaných ciliární procesy, z důvodu zvýšení povrchu pro sekreci komorového moku (Delamere 2005).

## **3) Vnitřní vrstva**

### **Sítnice**

Vnitřní vrstvu oka tvoří sítnice (retina). Vystýlá celou dutinovou stranu oční koule až k pupilárnímu okraji duhovky. Svou zevní plochou naléhá na prostřední vrstvu oční stěny a na její vnitřní plochu se přikládá sklivce. Lehce laterálně proti zadnímu pólu oka leží žlutá skvrna kruhovitěho tvaru o průměru asi 3 mm. V jejím středu je prohlubeň, která leží ve vrcholu optické osy oka a představuje místo nejostřejšího vidění, protože se do ní promítá centrální

paprsek (Synek, Skorkovská 2014). Během embryonálního vývoje se sítnice a optický nerv rozkládají z *diencefala*, a jsou tak považovány za součást CNS. Sítnice se skládá z vrstev specializovaných neuronů, které jsou vzájemně propojeny prostřednictvím synapsí. Světlo, které vstupuje do oka, je zachycováno fotoreceptorovými buňkami v nejvzdálenější vrstvě sítnice, což zpustí sérii neuronových signálů, které nakonec dosáhnou gangliových buněk sítnice, jejichž axony tvoří zrakový nerv (London, Benhar, Schwartz 2013). Nejvzdálenější vrstvou sítnice je fotoreceptorová vrstva, která přispívá k vertikálnímu přenosu signálů v sítnici. Tato vrstva se skládá ze dvou typů fotoreceptorů – tyčinek a čípků – které jsou odpovědné za příjem a přeměnu fotonů světla na elektrochemické impulsy. Ze 130 milionů fotoreceptorů přítomných v lidském oku je přibližně 120 milionů dlouhých, válcovitých struktur známých jako tyčinky. Tyčinky jsou extrémně citlivé na světlo, ale do mozku přenášejí pouze odstíny šedé. Čípky jsou naproti tomu tlustší, kratší buňky, které jsou schopny zaznamenat jemné detaily a barvy, pokud dostanou dostatek světla. Foto transdukce je možná pomocí fotopigmentů obsažených v tyčinkách a čípcích. Obě buňky obsahují světlocitlivý protein opsin. Tyčinky obsahují pouze *rodopsin*, Čípky však obsahují tři různé typy opsinů, které jsou schopné vázat se na vitamín A, čímž tvoří tři třídy *fotopsinů*. Každá třída fotopsinů reaguje na různé rozsahy světelné frekvence a je tak zodpovědná za vytvoření jedné ze tří primárních barev (červená, modrá a zelená), jak je interpretuje mozek (Zhu, Zhang, Del Rio-Tsonis 2012).

### 3.1.2 Obsah oční koule

Obsah oční koule se skládá z průhledných a čirých orgánů, které světlo propouští a soustředí (lámou) jej na sítnici. Je to optické prostředí oka, tvoří jej **čočka** a **sklivec**, obsah přední a zadní oční komory vyplňuje **komorový mok**.

#### Čočka

Čočka (*lens cristallina*) je průhledný, bezcévný a bikonvexní orgán. Je umístěna za zornicí a duhovkou, uchycena zonulárními vlákny řasnatého tělesa. Přední část je méně vyklenutá než zadní část a ohraničuje zadní část komory. Zadní část je vložena do sklivce (Cholkar et al. 2013). Jakožto jediný refrakční orgán oka s akomodačními schopnostmi dokáže pomocí svalů řasnatého tělesa zaostřit objekty v různé vzdálenosti a lámat tak světlo na sítnici. Má refrakční

sílu okolo 16-20 dioptrií, tato schopnost s věkem klesá. V neposlední řadě chrání sítnici před většinou ultrafialového světla (Chen, Tan, Chen 2016).

### **Sklivec**

Sklivec (corpus vitreum) zabírá dutinu mezi čočkou a sítnicí, tvoří přibližně dvě třetiny objemu celého oka. Složení je 99 % z vody, s malým množstvím kolagenu, je čirý a bezcévný, s gelovitou konzistencí. Slouží jako průhledná struktura, kterou může procházet světlo lomené čočkou a rohovkou. Sklivec je také v kontaktu se sítnicí, byť pouze na disku zřetivého nervu; pomáhá udržet sítnici na místě tím, že na ni vyvíjí tlak (Zhu, Zhang, Del Rio-Tsonis 2012).

### **Komorový mok**

Komorový mok (humor aquosus) či komorová voda je čirá tekutina, která vyplňuje a pomáhá formovat přední a zadní oční komory. Poskytuje průhledné a bezbarvé médium mezi rohovkou a čočkou, které musí zůstat čisté, aby umožnily přenos světla, a proto nemohou obsahovat cévy. Komorová voda je analogická krevní náhrada těchto struktur, zajišťuje výživu, odstraňuje sekreční produkty z metabolismu, stabilizuje oční strukturu a přispívá k regulaci homeostázy těchto očních tkání. Komorová voda také umožňuje cirkulaci zánětlivých buněk a mediátorů v oku za patologických stavů, stejně jako distribuci léčiv do různých očních struktur (Goel et al. 2010).

## **3.2 Proces vidění**

Světlo je v momentě proniknutí do oka zpomaleno, ohýbáno, poté absorbováno, a nakonec přeměno na elektrochemické impulsy, se kterými mozek dovede pracovat. Jako první je do kontaktu se světlem uvedena rohovka, která světlo láme a usměrňuje pro následné zpracování duhovkou a zornicí. V závislosti na intenzitě a dostupnosti světla zornice za pomoci duhovky mění svou velikost, aby množství světla v oku regulovala: při nedostatku světla se zvětšuje, při nadbytku se smršťuje. Po průniku zornicí je světlo zachyceno čočkou, která díky pomocným svalům dovede měnit svůj tvar a zaostřit tak na objekty v různých vzdálenostech od oka – proces akomodace. Čočka také lehce zlepšuje již zpracovaný obraz od rohovky a promítá jej na sítnici. Jak název napovídá, sítnice jakožto síť zachytává světlo prostřednictvím svých fotoreceptorů a pigmentových epitelových buněk. Fotopigmentové molekuly těchto fotoreceptorů vstřebají světlo, což vede ke změně elektrických impulsů. Tato proměna světelné

energie na elektrické impulsy spouští řadu signálů, které se pohybují skrz neurony sítnice do optického nervu, vedoucího do mozku. Tyto signály jsou poté přijímány a zpracovány mozkem jako hotové snímky.

## 4 PORUCHY ZRAKU

### 4.1 Vady refrakce (ametropie)

Refrakce oka znamená poměr mezi délkou optické osy oka a optické mohutnosti refrakčních struktur oka. Hlavní refrakční struktury jsou rohovka a čočka. Pokud vše funguje správně, hovoříme o **emetropii** čili stavu, kdy poměr refrakční síly oka a délka optické osy oka sami sebe nulují, oko dosahuje perfektního zaostření objektů v nekonečné vzdálenosti a jedinec tak nepotřebuje žádné podpůrné předměty pro zlepšení zraku. Vada refrakce – **ametropie**, nastává, když jsou refrakční síly a délka optické osy v nepoměru, paralelní paprsky světla se sbíhají mimo povrch sítnice. Pokud se ohnisko paprsků vyskytuje před sítnicí, nastává krátkozrakost (myopie) a v případě, že ohnisko je za sítnicí, jedná se o dalekozrakost (hyperopie). Další typ vadné refrakce je astigmatismus, který je způsoben nerovnoměrnou refrakcí světla, tvoří tak ohnisko ve dvou rovinách mimo sítnici (Vlková, Horáčková 2004).

#### Příčiny

Emetropizace je proces vedoucí k **emetropii**, nastává v raném dětství. Od narození oko roste v kruhovém tvaru, na konci druhého roka života dosáhne prakticky konečné velikosti. V následujících letech se prodlužuje optická osa oka, přizpůsobuje se rohovce a čočce a v ideálním případě dojde k emetropii (Tideman et al. 2018). Jinak dochází k předem zmíněným vadám. Není zcela objasněno, jaký mechanismus emetropii způsobuje, tedy ani co způsobuje vady s ním spojené.

Existuje řada teorií, které samy sebe vyvrací. Jedna teorie hovoří o aktivním procesu a zpětné vazbě, druhá o pasivním a předurčeném stavu. Další teorie poukazují na kombinaci těchto dvou (Yackle, Fitzgerald 1998). V posledních letech se výzkum přiklání k té aktivní teorii, přesněji tedy k *Teorii zpětné vazby* emetropizace. Ta praví, že emetropizace a její zpětná vazba je ten hlavní mechanismus ovlivňující krátkozrakost a považuje krátkozrakost za důsledek narušení emetropizace korekčními čočkami. Teorie zpětné vazby pouze vyžaduje, aby existoval opticky

produkovaný signál související se stavem refrakce nebo její chybou, a ten signál byl poté zpětně přiváděn do oka pro korekci případné refrakční chyby. Krátkozrakost není vada nebo chyba emetropizace, je to výsledek zasahování do emetropizace (Medina 2022).

Počáteční objevy emetropizace ukázaly, že refrakční vady u novorozenců byly rozděleny normálně (Gaussovo r.), časem se rozdělení stalo leptokurtické, čili k emetropizaci došlo u více očí, než by došlo náhodou (Straub M. 1909). Širší a modernější definice zní: „Emetropizace je řídicí proces, který reguluje refrakci lidského oka k dosažení optimální zrakové ostrosti v průběhu let“ (Medina A. 1987). Tato definice spojuje a vysvětluje všechna pozorování, nemá žádná časová omezení a již netvrdí, že emetropizace usiluje o emetropii. Podle této definice je emetropizace homeostatický neboli zpětnovazební proces, jelikož aktivně reguluje refrakci oka. To také znamená, že pokud je refrakce změněna uměle, například použitím čoček, bude emetropizace chybně vedena. Jinými slovy, emetropizace může nasměrovat oko k tomu, aby se stalo myopickým nebo hyperopickým namísto emetropickým, protože na toto oko byla umístěna korekční čočka (Medina 2022).

Terminologie „optimální zraková ostrost“ má určitou záměrnou obecnost, protože optimální zraková ostrost nemusí nutně znamenat nulovou refrakční vadu, ani neznamena nejlepší ostrost na dálku. Znamená to ostrost, která je optimální pro výchozí bod daného jedince, nastavený rozsahem vzdáleností, kterým je jedinec vystavován a v kterých funguje (Flitcroft 2014). Lehká krátkozrakost může být výhodná, pokud jedinec často koná práci na blízko, protože jeho akomodace nebude přetěžována a jeho zrak na blízko bude ostřejší. I ostrost mírně dalekozrakého dítěte může být optimální, podle jeho denních aktivit (Medina 2022).

Nulová refrakční chyba nemusí nutně znamenat nulovou chybu zpětné vazby. Jedinec může mít krátkozrakost 1 D (nebo více), protože to je přesně to, co jeho emetropizační systém hledá, přičemž alternativní nebo dodatečná příčina může být práce na blízko (Medina A. 1987). V takovém případě je chyba zpětné vazby nulová pro refrakční chybu -1 D. Pouze když se rozhodneme, že hodnota není správná a na oko nasadíme -1 D „korekční“ čočku, emetropizace oko prodlouží, aby znovu získalo svou cílovou 1D krátkozrakost, což vede k tomu, že lékař předepíše další, silnější čočky znovu a znovu. Otevře se smyčka zpětné vazby emetropizace, která se stále opakuje a krátkozrakost navyšuje (Medina 2015). V podstatě to, co bychom mohli nazvat malou „normální krátkozrakostí“ postupuje nekontrolovaně a vyvrcholí v krátkozrakost, která nás skutečně znepokojuje. My krátkozrakost nekorigujeme čočkami, ale emetropizace

koriguje oko podle čočky, kterou před něj vložíme. Pokud budeme bojovat s emetropizací, emetropizace se bude bránit a výsledkem bude krátkozrakost. Nyní tedy víme, že příčinou krátkozrakosti jsou negativní čočky (Medina 2022).

Emetropizace a Teorie zpětné vazby nepotřebují informace o rozostření, ale o refrakční vadě. Rozostření samo o sobě je k určování refrakce zbytečné; nelze odvodit z obrazu sítnice. Rozostření nelze ze samotného obrazu identifikovat (Wallman, Winawer 2004). Lidský zrakový systém nemůže odvodit refrakční chybu z rozmazaného obrazu sítnice jednoduše, protože je to nemožné. Pokud vezmeme snímek sítnice jakékoli vzdálené scény v myopickém oku a dáme ji před emetropické oko, budou mít obě oči stejný rozmazaný obraz sítnice; jejich refrakce však může být různá. Stejný obraz sítnice nemůže být základem pro odvození dvou různých refrakcí. Bez ohledu na to, jak může být rozostření vypočteno nebo použito akomodačním systémem, nemůže být použito k odvození refrakce, protože neexistuje žádná funkce, která by s nimi souvisela. Emetropizace musí mít jiné způsoby měření lomu, které však není doposud známé (Medina 2022).

Další otázkou je, proč a kdy se vývoj ametropie zastaví. Částečná odpověď byla již zmíněna – emetropizace operuje pouze během růstového věku. Zároveň během toho procesu pravděpodobně dojde k saturaci systému zpětné vazby, jelikož oko nemůže do nekonečna růst po své ose a bude limitováno anatomii oční jamky. Stabilizaci také napomáhá částečné užívání korekčních čoček, pokud je jedinec nosí omezeně, teorie předpovídá rychlejší stabilizaci vývoje ametropie. Pokud ovšem neznáme přesné údaje všech těchto aspektů, vývoj a doba vývoje se nedá předvídat.

### **Práce na blízko**

Práce na blízko je s krátkozrakostí spojována nejen veřejností, ale i odborníky. Již řadu let se čtení a používání elektronických displejů na blízko objevuje v odborných literaturách jako faktor ve vývoji krátkozrakosti (Rosenfield, Gilmartin 1998) a podobný názor nám nejspíše poskytne i prostý člověk. Čas strávený získáváním vzdělání se považuje za rizikový faktor pro krátkozrakost (Mirshahi et al. 2014). Čím delší vzdělávání, tím více práce na blízko, čemuž odpovídá i krátkozrakost. Teorie zpětné vazby si zakládá na principu ekvivalence mezi pohledem na blízký objekt a pohledem na vzdálený objekt za použití negativní korekční čočky (Medina A. 1987). Podle ní není možné rozeznat oko zaostřené na vzdálený objekt skrz čočku o síle  $-1/d$  a oko zaostřené na ten stejný objekt zmenšený pro stejný optický úhel ve vzdálenosti

d. Například pohled jednoho oka na obrázek hory na počítačovém monitoru ve vzdálenosti 1/2 metru je nerozeznatelný od pohledu na skutečnou horu v reálu skrz čočku -2D. Není to jen obraz na sítnici, který je stejný, je to i vše ostatní, jako stav řasnatého tělesa, akomodace a optické vlastnosti oka. Takže pokud oči při pohledu skrz negativní čočku nabývají krátkozrakosti, tak budou i při práci na blízko (Huang, Chang, Wu 2015). Studie ukazující, že čím kratší vzdálenost, tím vyšší krátkozrakost (Gifford et al. 2019) se shodují s Teorií zpětné vazby.

### **Epidemie krátkozrakosti**

Genetika může hrát roli ve vývoji krátkozrakosti, protože je známo, že děti krátkozrakých rodičů jsou vystaveny vyššímu riziku rozvoje myopie, ale tato role je omezená. Dítě může zdědit krátkozrakost, ale po sléze to jsou negativní čočky, které způsobují pokrok myopie a jsou příčinou jakékoli významné krátkozrakosti. Nedávná epidemie krátkozrakosti, jako každá epidemie, nemůže být genetického původu (Medina 2022). Související a stále pozorování ukazuje, že během posledních sto let se u Evropanů posunula průměrná oční refrakce z +1,5 D na -2,5 D (Tideman et al. 2016). V roce 2050 má být přes 50 % Evropanů krátkozrakých (Holden et al. 2016).

Navzdory tomu se zatím neprojevila jasná souvislost mezi časem stráveným u obrazovky a krátkozrakostí. Výsledky studií hovoří nejasně a proměnlivě, poukazují více na souvislost vzdělání a krátkozrakosti, která byla již v minulosti prokázána, např.: (Morgan, Rose 2019). Jako hlavní ohnisko krátkozrakosti se jeví východní Asie, primárně tedy vysoce vzdělané městské oblasti, kde byl největší nárůst zaznamenán v 80. letech minulého století a je připisován delšímu času strávenému vzděláním. Navíc se neprojevil ani významný nárůst času stráveného prací na blízko, což navrhuje možnost výměny času stráveného čtením či tradičními aktivitami na blízko za užívání digitálních zařízení. Některé studie sice ukázaly vyšší šanci krátkozrakosti u dětí, které tráví více času prací na blízko a méně času aktivitami venku, není to ale dostatečný důkaz (Lanca, Saw 2020).

## **4.2 Syndrom počítačového vidění**

Syndrom počítačového vidění (*computer vision syndrome*), nebo také digitální oční námaha (*digital eye strain*) se dá široce definovat jako potíže s očima a zrakem v důsledku používání digitálních obrazovek, ať už telefonních, počítačových či televizních. Problémy se mohou



projevit sníženým komfortem a produktivitou, v krajních případech bolestí a nutností ukončit aktivitu. Mezi symptomy dále patří bolest či únava očí, sucho, svědění nebo jiné dráždivé pocity v očích (Rosenfield, McOptom 2016).

## **Vzdálenost**

Stěžejní faktor u většiny souvisejících potíží je **úhel pohledu** a **vzdálenost** od obrazovky. Zatímco u počítačových monitorů a televizí se dají tyto parametry relativně přesně nastavit a udržovat, telefony, tablety a čtečky jsou mnohem lehčeji manipulovatelné, zvláště když je držíme v rukou. Můžeme je jednoduše dostat do pozic nevyhovujícím našim očím či tělu a nemusíme si toho ani být vědomi.

Důležitá je také velikost textu v poměru velikosti obrazovky. U ručních zařízení může být v souvislosti s technologickým pokrokem a vyššími rozlišeními problém s nadměrnými nároky na zaostření při čtení malého textu na obrazovce. Čtení na okraji rozlišení a naší schopnosti zaostření na malý text může vést k vysokému diskomfortu, pro dlouhodobé komfortní čtení je potřeba mít rezervu ostrosti. Produktivita i pohodlí se se zvětšením textu zvyšují, zvláště u mladších subjektů (Ko et al. 2014).

Ametropie při snaze nastavení optimální vzdálenosti od obrazovky představuje velkou překážku, zejména při používání několika různých zařízení, jelikož každé vyžaduje jinou vzdálenost pro komfortní používání. Vzdálenosti 70 cm a 20 cm korespondují s dioptrickou refrakcí 1,4D a 5D, z toho vyplývá, že je prakticky nemožné mít u každého zařízení optimální refrakci a korekční čočky. Oči se tedy občas budou muset přizpůsobit, což může při delší aktivitě vést k předem zmíněným symptomům. Je tedy třeba dbát na nepřilísné používání negativních čoček při pohledu na blízko a užívání obrazovek z velké blízkosti obecně. Pokud bude přizpůsobení znatelné a dlouhodobé, může se postupem času oko přizpůsobit prodloužením své optické osy a stát se více krátkozraké (viz. [Kapitola 3.1](#)).

Nadměrné množství světla směřující do oka, ať už odleskem od monitoru či umístěním jej před nebo přímo za okno bez záclon může také vyvolat předem zmíněné příznaky.

## **Suché oči**

Suchost očí s digitální oční námahou úzce souvisí a je považována za její primární příčinu. Jako hlavní faktory pro suchost očí Rosenfield (2011) se uvádí:

1. Odumírání rohovky v důsledku okolních faktorů jako nedostatečná vlhkost vzduchu, nadměrné přímé topení či klimatizace, přímá ventilace z větráku nebo nečistoty ve vzduchu.
2. Zvýšené odkrytí rohovky kvůli přímému pohledu na obrazovku – při čtení fyzického materiálu většinou směřuje pohled dolů, což snižuje odrytí oka a rohovky. Větší odkrytá plocha zvyšuje možnost pro odpařování slz.
3. Věk a pohlaví. Suché oči se objevují častěji u žen a u starší populace (Gayton L Johnny 2009).
4. Související onemocnění či léky. Výskyt je častější u subjektů s artritidou a alergiemi. Dále byl zaznamenán vyšší výskyt u pacientů užívajících antihistamika, léky proti úzkosti, antidepresiva a perorální steroidy či vitamíny. Možná překvapivě byl zjištěn nižší výskyt při vyšší konzumaci alkoholu (Moss, Klein, K Klein 2008).

Jiné možné vysvětlení pro suché oči může být mrkání a jeho změna při používání obrazovky. V dřívější studii bylo naměřeno normální mrkání v klidu (22/min), nižší frekvence při čtení knihy (10/min), a ještě nižší při používání počítače (7/min) (Tsubota 1993). Ovšem tato měření se lišila nejen ve způsobu prezentace, ale také zadání činnosti. Později bylo zjištěno, že frekvence mrkání klesá i s velikostí písma a kontrastem (Gowrisankaran, Sheedy, Hayes 2007), a také s nárůstem kognitivní námahy dané činnosti (Cardona et al. 2011). Tím pádem změny pozorované ve studii (Tsubota 1993) byly důsledkem nárůstu obtížnosti činnosti, spíše než důsledkem přechodu z tištěného materiálu na digitální obrazovku. Což bylo potvrzeno ve studii (Chu et al. 2014), kde nebyla zjištěna zásadní změna ve frekvenci mrkání mezi čtením stejného textu z papíru a digitální obrazovky. Na druhou stranu bylo zjištěno zvýšené množství neúplných mrknutí na 7 % u monitoru ze 4,3 % u papíru. Toto může být důležité, jelikož se projevila spojitost mezi symptomy po skončení činnosti a množstvím neúplných mrknutí. Dále se ukázalo, že zvýšení frekvence mrkání zásadně nesnížilo symptomy (Rosenfield, Portello 2015). To nasvědčuje, že symptomy jsou více spojené s neúplným mrkáním spíše než frekvencí mrkání (Rosenfield, McOptom 2016).

### 4.3 Modré světlo

Studie provedené v posledních pár letech ustanovily, že umělé světlo v noci (*artificial light at night* – ALAN), zvláště tedy světlo krátkých vln v modré oblasti (~400–500 nm) může narušit cirkadiální rytmus, způsobit problémy se spánkem nebo vést k metabolické dysregulaci.

Přestože ve dne může modré světlo zlepšit například pozornost a zkrátit reakční čas, v noci má účinky spíše negativní a je spojováno se zdravotními problémy jako špatná kvalita spánku, mentální problémy či zvýšené riziko rakoviny. Některé studie uvádí i snížení kognitivních schopností a zvýšení pravděpodobnosti tvořit chyby (Haghani et al. 2023).

## **Cirkadiální rytmus**

Cirkadiální rytmus je přirozený vnitřní proces, který reguluje cykly spánku a bdění, a přestože je endogenní, může být ovlivněn vnějšími faktory, jako světlo, teplota a redoxní cykly (Edgar et al. 2012). Všichni savci, jako jsou lidé, mají společný systém časování: párové Suprachiasmatické jádro (suprachiasmatic nucleus - SCN) uložené v hypothalamu (části mozku), které slouží jako "biologické hodiny" a reguluje různé denní rytmy, jako spánkový cyklus a denně se resetuje východem slunce. Tím pádem narušení SCN může vést k narušení pravidelného spánkového rytmu (Ko, Takahashi 2006). Pravidelné změny světla tedy způsobují úpravu klíčových tělesných funkcí včetně sekrece hormonů (jako melatonin a kortizol), pozornosti, tělesné teploty, srdečního tepu, kognitivních funkcí a chování. To znamená, že digitální obrazovky a další zdroje umělého světla mohou ovlivnit hlavní hodiny v SCN, snížit noční syntézu melatoninu a narušit tak cirkadiální rytmy (Giudice et al. 2018).

## **Melatonin**

Na lidské sítnici se kromě visuálních opsinů rodopsinu a fotopsinu (viz. kapitola **Sítnice**) nachází i nevisuální (přímo se nepodílející na vidění) opsin melanopsin, obsažen ve vnitřně fotosensitivních gangliových buňkách (*intrinsically photosensitive retinal ganglion cells – ipRGCs*). Melanopsin je velmi citlivý na krátké vlny světla, hlavně tedy na světlo modré, a je zodpovědný za regulaci spánkového rytmu pomocí **melatoninu** (Hattar S et al. 2002). Informace melanopsinu jsou retinohypotalamickým traktem (*retinohypothalamic tract*) posílány do SCN, přesněji do šišinky (*pineal gland*), která poté reguluje sekreci melatoninu (Giudice et al. 2018).

Hladina melatoninu během dne kolísá. Vlivem hlavně modrého světla se snižuje a jelikož je zodpovědný za denní cyklus spánku a bdění, pozornost, metabolismus a kognitivní činnost, jeho hladina bude přes den vlivem světla nízká a přes noc vysoká, čili je to světlocitlivý hormon. Teplota světla také hraje roli, studie poukazují na zvýšenou pozornost a sníženou dobu reakce po vystavení subjektů studeným barvám světla čili snížení melatoninu. Na noc se tedy

doporučuje světlo teplejší, jelikož studené světlo může způsobit narušení spánku (Haghani et al. 2023).

Z předešlých studií také vzešlo, že reakce na modré světlo je silnější u dětí než u dospělých, a zvláště silnější než u starých lidí. Vyšší věk je spojován s různými změnami v mozku, v tomto případě hlavně s úbytkem fotosensitivních gangliových buněk (ipRGCs) (Semo et al. 2003). Nižší množství nevizuálních buněk způsobuje snížení množství světla v SCN čili celá regulace spánkového rytmu slábne. Věk je zde důležitější faktor než degenerace sítnice. (Lupi, Semo, Foster 2012). Narušení spánku vlivem vyššího věku je také spojované se snížením citlivosti odpovědných orgánů (Scheuermaier, Lee, Duffy 2019).

## 5 VLIV OBRAZOVEK NA ZRAK

Všechny typy obrazovek mohou mít vliv na náš zrak, přičemž vliv a vady s ním spojené lze rozlišit na dlouhodobé a krátkodobé.

### Dlouhodobé

Jedinou dlouhodobou vadou, kterou mohou obrazovky přivodit uživatelům je myopie (krátkozrakost). Myopie trvale *mění* zrak, ovšem vzhledem ke způsobu, kterým funguje, záměrně nepoužívám slovo *poškozuje* (viz. Kapitola [Ametropie](#)). Jedná se totiž o zpětnovazebný proces, který oko přizpůsobuje podmínkám, v nichž se dlouhodobě vyskytuje (Flitcroft 2014). V případě dlouhodobého používání obrazovky z nízké vzdálenosti se oku fyzicky může prodloužit optická osa ve snaze trvalejšího zaostření na blízký předmět, ulehčující práci očním svalům, které by jinak musely při pohledu na obrazovku neustále pracovat (Medina 2022). Teoreticky je to proto výhodné, reálně se ovšem pouze zřídka setkáme s někým, kdo by chtěl obětovat ostrý zrak na dálku v zájmu ostrého zraku na blízko bez nutnosti ostření.

Vznik a vývoj myopie bohužel stále není plně vědecky probádán, a tak její příčiny nejsou přesně známé. Navíc tato vada je dědičná, ale není jasné, do jaké míry, a její vývoj nelze s jistotou předvídat, čili v této době nelze vytyčit ideální postup pro zamezení této vady. Je totiž možné, že někteří jedinci budou do obrazovky hledět z nepřiměřené vzdálenosti a nadměrnou dobu celý život a zrak budou mít naprosto v pořádku, a jiným se zrak bude měnit bez ohledu na vnější faktory pouze vlivem genetiky. U většiny lidí se ovšem na zraku a jeho případném

zhoršení podílejí oba tyto aspekty, čili v případě krátkozrakosti jde o kombinaci vrozené vady a vnějších faktorů, které ji dále zhoršují (Wang et al. 2022).

Vnější faktory narozdíl od těch genetických můžeme ovládat a alespoň částečně víme, jak krátkozrakost zmírnit. V zásadě bychom neměli oči vystavovat situacím, kdy musí delší dobu ostřit na blízkou vzdálenost, obzvláště když používáme korekční čočky, ať už ve formě kontaktních čoček či brýlí. Tyto pomůcky mají sloužit pouze pro pohled do dálky, při pohledu na blízko skrz korekční čočky nutíme oko ostřit ještě více na blízko, tím pádem bude mít tendenci se tomu přizpůsobit a být více krátkozraké (Huang, Chang, Wu 2015). Co se týče vzdálenosti od obrazovky jakéhokoliv zařízení, měli bychom se snažit ji umístit do vzdálenosti, kdy nebudeme potřebovat korekční čočky a zároveň nebudeme ostřit moc nablízko, čili obrazovka by měla být v co největší vzdálenosti, na kterou jste schopní médium komfortně používat. Ne vždy je možné oba tyto cíle splnit a oči tedy budou muset do nějaké míry ostřit na blízko. Navzdory tomu se zatím neprojevila *jasná* spojitost mezi myopií a časem stráveným před obrazovkou, výsledky studií jsou proměnlivé (Lanca, Saw 2020). Jakožto důležitý faktor pro zmírnění potenciálního nástupu myopie, hlavně v raném dětství, se jeví venkovní aktivity, neboli čas strávený v přírodním osvětlení spolu s možností sledovat širokou škálu objektů ve vyšší vzdálenosti (Saw, Matsumura, Hoang 2019).

### **Krátkodobé**

Vady, které po určité době samy zmizí a zároveň nejsou nadměru závažné označují za krátkodobé. Jde tedy o vedlejší efekty způsobené používáním nějaké obrazovky, přičemž většinou vznikají v důsledku používání z nepřiměřené vzdálenosti, nadměrné množství času, v nepřiměřených světelných podmínkách či kombinací všech tří. Mezi nejčastější problémy tohoto charakteru patří *syndrom počítačového vidění* neboli soubor podobných problémů spojených s používáním obrazovky (viz. [Kapitola 4.2](#)). Tyto vady mohou způsobit diskomfort buď přímo v očích nebo v celé hlavě, ovšem ve většině případů v rámci pár minut / hodin po přerušení aktivity přestanou, a tak se můžete k používání obrazovky vrátit. Při dodržení základních doporučení ohledně vzdálenosti a okolního světla, čili snížení rozdílu jasu obrazovky a množství světla v místnosti, kde se nacházíte, následky hledění do monitoru značně snížíte. Pokud svůj čas před obrazovkou dále obohatíte přiměřenými pauzami podle potřeb (každých 20-60 min) těmto vadám se lze prakticky zcela vyhnout, a v případě že nastanou, jednoduše se jich lze zbavit (Rosenfield, Mcoptom 2016).

Někam na rozhraní krátkodobých a dlouhodobých vad bych zařadil potíže spojené s modrým světlem. Vlivem modrého světla se může snížit sekrece melatoninu v mozku a snížit kvalita spánku. To může mít široký dopad na náš život, jak krátkodobý, tak dlouhodobý. Používání brýlí s filtrem na modré světlo či používání obdobné funkce na monitoru dokáže problémy snížit (Haghani et al. 2023), avšak při přetrvávající nespavosti se doporučuje elektronická zařízení alespoň hodinu před spaním nepoužívat vůbec, bez ohledu na filtry. Filtr totiž nepropouští pouze tzv. „near-blue“ světlo, které není nebo téměř není zrakem viditelné, ale má na tvorbu melatoninu vliv. Efektivnost těchto filtrů není v tuto chvíli přesvědčivě probádána, objektivní měření spánku naznačují, že se jedná spíše o placebo efekt (Bigalke et al. 2021). Vnímání běžného modrého světla lze zmírnit teplým osvětlením v místnosti kde se nacházíte, nebo zkreslením barev na monitoru tak, aby byly teplé. Některé druhy práce, zejména v grafickém odvětví toto však neumožňují, protože přesnost barevného podání se tím výrazně zkresluje.

## **Typy obrazovek**

Stěžejní otázka této práce utkvívá v tom, zdali rozdílné typy obrazovek mají rozdílný vliv na lidské oči, popřípadě jaký a jaké jsou vůči očím nejšetrnější. Prvotní hypotéza spočívala v tom, že novější monitory budou šetrnější, ovšem během rešerše jsem neshledal zásadní rozdíly mezi staršími a novějšími monitory v jejich dopadu na lidské oči, čili jejich vliv na oči je velmi podobný a bude spíše ovlivněn stylem používání a časem před nimi stráveným. Důležitější roli tedy bude hrát například médium, prostřednictvím kterého se na obrazovku díváme. Mobilní telefon a počítačový monitor mohou používat identickou displejovou technologii, ale jejich vliv na oči může být rozdílný podle našeho přístupu a používání, převážně tedy vlivem rozdílné vzdálenosti (Gowrisankaran, Sheedy 2015). To, co lidem dodává dojem o škodlivosti obrazovek je zřejmě jejich zkušenost s únavou očí po delším souvislém používání nějaké obrazovky dané sníženou frekvencí mrkání a možností očí se přirozeně zavlažovat. To je převážně způsobené zvýšenou koncentrací na danou aktivitu na obrazovce. Dále to může být podpořeno nízkou vzdáleností nutící oční svaly ostřit, nízkým kontrastem monitoru, který vyžaduje vyšší kognitivní činnost způsobující předem zmíněné, sníženou frekvencí mrkání, či odleskem od povrchu obrazovky, který posílá více světla do již namáhaného oka (Rosenfield, Mcoptom 2016).

Je pravda, že moderní monitory mají většinou mnohem širší možnosti nastavení jasu, kontrastu nebo jsou například schopné snížit množství modrého světla. Starší monitory takové nastavení často postrádají, čili i když jejich zobrazovací technologie jako taková škodlivá není, je možné, že budeme nuceni je používat v méně vyhovujících podmínkách.

CRT monitory, jakožto nejstarší displejová technologie, tedy nemají zásadně rozdílný vliv na oči v porovnání s moderními technologiemi. U CRT monitorů/televizí může docházet k únavě očí častěji kvůli relativně nízké obnovovací frekvenci (zpravidla 50 hertzů v Evropě a 60 ve Spojených státech a Japonsku). Moderní monitory sice často používají velmi podobné frekvence, u těch to ale netvoří takový problém, jelikož se obraz obnovuje po celé obrazovce najednou. CRT monitory pokrývají celou obrazovku kousek po kousku, ze strany na stranu a shora dolů, a pouhým okem je vidět, jak obraz problikává (flickering), což může způsobovat diskomfort (Chen Y., Dr. Bray H. 2017).

## 6 ZÁVĚR

Zobrazovací technologie prošly za posledních 50 let ohromným vývojem. Od původních CRT monitorů, přes LCD a plazmové displeje až po nejnovější OLED monitory a televize. Časem se dostáváme technologicky i ekonomicky ke stále lepším obrazovkám, avšak moderní zobrazovací zařízení mají zdravotní účinky prakticky identické s těmi staršími. Jejich dopad na zdraví tak souvisí pouze se způsobem jejich používání.

Mezi vedlejší efekty používání počítačového monitoru patří tzv. „computer vision syndrome“, což je název pro soubor několika drobných problémů od bolesti hlavy až pocitu suchých a unavených očí. Správnou hygienou práce lze těmto příznakům předejít či je eventuelně odstranit (Loh K, Reddy S 2008). Trvalé následky tyto problémy nenesou.

Trvalé změny zdraví spojené se zobrazovacími technologiemi představuje nástup krátkozrakosti. Jedná se o nevratnou adaptivní změnu zraku, která reaguje na dlouhodobé ostření na počítačový monitor z nízké vzdálenosti (Medina 2022). Jelikož tato změna není ve většině případů žádoucí, mělo by se jí předcházet dodržováním adekvátní vzdálenosti od monitoru a správným používáním korekčních čoček, obzvláště u mladších uživatelů, jelikož mají vyšší schopnost této adaptace (Huang, Chang, Wu 2015).

Zobrazovací technologie mohou mít vliv i na náš spánkový rytmus vyzařováním modrého světla, které snižuje sekreci melatoninu – hormonu řídícího spánek. Přirozeně nás modré světlo ráno budí a zvyšuje naši pozornost, ve večerních hodinách je toto pro spánek nežádoucí (Silvani, Werder, Perret 2022). Efekt modrého světla lze na obrazovce snížit změnou barevného spektra na teplejší hodnoty. Brýle s různými filtry a s tímto účelem nemají prokázané účinky (Bigalke et al. 2021), ideální je tedy obrazovky před spaním nepoužívat vůbec.

Obavy ze zdravotních potíží v důsledku používání zobrazovacích zařízení jsou tedy částečně na místě, avšak všem negativním dopadům lze předejít dodržováním jednoduchých zásad hygieny práce. Technologie displeje nemá znatelný vliv na zdravotní důsledky práce s ním. Tato práce tedy uvádí některé nejasné domněnky na pravou míru a umožňuje čtenáři chránit zrak, aniž by se musel zcela nebo téměř zcela rozloučit s používáním počítače nebo podobného zařízení.



Práci jsem psal s cílem zodpovězení několika svých osobních otázek. Tak jak jsem v úvodu zmínil, krátkozrakostí disponuji od pozdního dětství a chtěl jsem vědět, zdali používání počítačové obrazovky mi mohlo stav zhoršit, případně jak a do jaké míry. S nově nabytými vědomostmi mohu předpokládat, že se na vývoji mé krátkozrakosti podílely jak genetické vlohy, tak externí faktory. Koupě jiného monitoru by tedy s největší pravděpodobností nic nezměnila. To, co bych zpětně označil za chybu, a co mi dost možná stav zhoršilo, bylo hledění na monitor z relativně blízké vzdálenosti s brýlemi.

Vzhledem k tomu, že se můj vývoj krátkozrakosti před čtyřmi lety zastavil, je možné že mé oči dosáhly maximálního osového prodloužení a jsou limitovány oční jamkou, čili vývoj krátkozrakosti je prakticky v definitivním konci. Pokud tento stav doopravdy nastal a již není možnost, aby mé oči byly více krátkozraké, znamená to, že bych do tohoto bodu nejspíše dříve nebo později došel jednou, nebo druhou cestou, pouze by se ten proces prodloužil. Navíc, tento stav pro mě ve skutečnosti netvoří nikterak velkou přítěž, díky užívání kontaktních čoček mohu přes den fungovat identicky, jako normální jedinec s perfektním zrakem. Při používání domácího počítače bez korekčních čoček jakékoliv formy mám monitor přibližně 15-20 cm od obličeje, což se může zdát absurdní, mě to ovšem vyhovuje, a i kdybych měl zrak perfektní, nadále bych používal monitor z podobné vzdálenosti. Čili, všech hodin strávených před monitorem v minulosti nelituji a svůj aktuální stav bych neměnil, navzdory tomu mohu dát svým rodičům ohledně jejich předzvěstí částečně za pravdu.

## 7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BIGALKE, Jeremy A. et al., 2021. Effect of evening blue light blocking glasses on subjective and objective sleep in healthy adults: A randomized control trial. *Sleep Health*. Vol. 7, č. 4, s. 485–490. DOI 10.1016/j.sleh.2021.02.004.

BOEUF, J P, 2003. *Plasma display panels: physics, recent developments and key issues* [online]. Zdroj: <http://iopscience.iop.org/0022-3727/36/6/201>

CARDONA, Genís et al., 2011. Blink rate, blink amplitude, and tear film integrity during dynamic visual display terminal tasks. *Current Eye Research*. Vol. 36, č. 3, s. 190–197. DOI 10.3109/02713683.2010.544442.

DELAMERE, Nicholas A., 2005. *Ciliary Body and Ciliary Epithelium*. Advances in Organ Biology 10. ISBN 0444509259. DOI 10.1016/S1569-2590(05)10005-6.

EDGAR, Rachel S. et al., 2012. Peroxiredoxins are conserved markers of circadian rhythms. *Nature*. Vol. 485, č. 7399, s. 459–464. DOI 10.1038/nature11088.

EGHRARI, Allen O., RIAZUDDIN, S. Amer a GOTTSCHE, John D., 2015. Overview of the Cornea: Structure, Function, and Development. *Ze: Progress in Molecular Biology and Translational Science*, s. 7–23. Elsevier B.V. 2015. ISBN 9780128010594. DOI 10.1016/bs.pmbts.2015.04.001.

FLITCROFT, D. I., 2014. Emmetropisation and the aetiology of refractive errors. *Eye (Basingstoke)*. Vol. 28, č. 2, s. 169–179. DOI 10.1038/eye.2013.276.

GIFFORD, Kate L. et al., 2019. IMI – Clinical management guidelines report. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*. Vol. 60, s. M184–M203. DOI 10.1167/iovs.18-25977.

GIUDICE, Aldo et al., 2018. *The effect of light exposure at night (LAN) on carcinogenesis via decreased nocturnal melatonin synthesis*. MDPI AG. *Molecules* 23. DOI 10.3390/molecules23061308.

GOEL, Manik et al., 2010. *Aqueous Humor Dynamics: A Review*.

GOWRISANKARAN, Sowjanya, SHEEDY, James E a HAYES, John R, 2007. *Eyelid Squint Response to Asthenopia-Inducing Conditions*.

GOWRISANKARAN, Sowjanya a SHEEDY, James E., 2015. *Computer vision syndrome: A review*. IOS Press BV. Work 52. DOI 10.3233/WOR-152162.

HAGHANI, M. et al., 2023. *Blue Light and Digital Screens Revisited: A New Look at Blue Light from the Vision Quality, Circadian Rhythm and Cognitive Functions Perspective*. MDPI AG. Journal of Biomedical Physics and Engineering. DOI 10.31661/jbpe.v0i0.2106-1355.

HATTAR S et al., 2002. *Melanopsin-Containing Retinal Ganglion Cells: Architecture, Projections, and Intrinsic Photosensitivity* [online]. Springer-er-Verlag. Zdroj: [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org)

HOLDEN, Brien A. et al., 2016. Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*. Vol. 123, č. 5, s. 1036–1042. DOI 10.1016/j.ophtha.2016.01.006.

HUANG, Hsiu Mei, CHANG, Dolly Shuo Teh a WU, Pei Chang, 2015. *The association between near work activities and myopia in children - A systematic review and meta-analysis*. Public Library of Science. PLoS ONE 10. DOI 10.1371/journal.pone.0140419.

CHEN, Janglin, CRANTON, Wayne a FIHN, Mark, 2016. *Handbook of Visual Display Technology Mark Fihn Editors Second Edition*. DOI 10.1007/978-3-319-14346-0.

CHEN, Weirong, TAN, Xuhua a CHEN, Xiaoyun, 2016. Anatomy and physiology of the crystalline lens. Ze: *Pediatric Lens Diseases*, s. 21–28. Springer Singapore. ISBN 9789811026270. DOI 10.1007/978-981-10-2627-0\_3.

CHEN Y. a DR. BRAY H., 2017. The CRT monitor versus the LCD monitor, Which is better?

CHOLKAR, Kishore et al., 2013. Eye: Anatomy, physiology and barriers to drug delivery. Ze: *Ocular Transporters and Receptors: Their Role in Drug Delivery*, s. 1–36. Elsevier Ltd. ISBN 9781907568862. DOI 10.1533/9781908818317.1.

CHU, Christina A et al., 2014. *Blink Patterns: Reading from a Computer Screen versus Hard Copy* [online]. Zdroj: [www.statistixl.com](http://www.statistixl.com);

IRSCH, Kristina a GUYTON, David L., 2009. Anatomy of Eyes. Ze: *Encyclopedia of Biometrics*, s. 11–16. Springer US. DOI 10.1007/978-0-387-73003-5\_253.

KHAZANCHI, Aditi et al., 2012. *OLED: A New Display Technology* [online]. Zdroj: [www.ijecs.in](http://www.ijecs.in)

KIM, Kyeong Hyeon a SONG, Jang Kun, 2009. *Technical evolution of liquid crystal displays*. NPG Asia Materials 1. DOI 10.1038/asiamat.2009.3.

KO, Caroline H. a TAKAHASHI, Joseph S., 2006. *Molecular components of the mammalian circadian clock*. Human Molecular Genetics 15. DOI 10.1093/hmg/ddl207.

KO, Peiyi et al., 2014. *Effect of Font Size and Glare on Computer Tasks in Young and Older Adults*.

LOH K a REDDY S, 2008. *Understanding and Preventing Computer Vision Syndrome* [online]. Zdroj: <http://www.lowyat.net/>

LANCA, Carla a SAW, Seang Mei, 2020. *The association between digital screen time and myopia: A systematic review*. Blackwell Publishing Ltd. Ophthalmic and Physiological Optics 40. DOI 10.1111/opo.12657.

LONDON, Anat, BENHAR, Inbal a SCHWARTZ, Michal, 2013. *The retina as a window to the brain - From eye research to CNS disorders*. Nature Reviews Neurology 9. DOI 10.1038/nrneurol.2012.227.

LUPI, Daniela, SEMO, Ma'ayan a FOSTER, Russell G., 2012. Impact of age and retinal degeneration on the light input to circadian brain structures. *Neurobiology of Aging*. Vol. 33, č. 2, s. 383–392. DOI 10.1016/j.neurobiolaging.2010.03.006.

MEDINA A., 1987. A Model for Emmetropization: Predicting the Progression of Ametropia. DOI 10.1159/000309750.

MEDINA, Antonio, 2015. The progression of corrected myopia. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. Vol. 253, č. 8, s. 1273–1277. DOI 10.1007/s00417-015-2991-5.

MEDINA, Antonio, 2022. *The cause of myopia development and progression: Theory, evidence, and treatment*. Elsevier Inc. Survey of Ophthalmology 67. DOI 10.1016/j.survophthal.2021.06.005.

MIRSHAHI, Alireza et al., 2014. Myopia and level of education. *European Journal of Ophthalmology*. Vol. 11, č. 1, s. 2047–2052. DOI 10.1016/j.optha.2014.04.017.

MORGAN, Ian G. a ROSE, Kathryn A., 2019. *Myopia: is the nature-nurture debate finally over?* Blackwell Publishing Ltd. Clinical and Experimental Optometry 102. DOI 10.1111/cxo.12845.

NICKLA, Debora L. a WALLMAN, Josh, 2010. *The multifunctional choroid*. Progress in Retinal and Eye Research 29. DOI 10.1016/j.preteyeres.2009.12.002.

PAUL E. MILLER, 2009. *Uvea*.

ROSENFELD, Mark a GILMARTIN, Bernard, 1998. *Accommodative error, adaptation and myopia*.

ROSENFELD, Mark a MCOPTOM, Mark Rosenfield, 2016. *Computer vision syndrome (a.k.a. digital eye strain)* [online]. Zdroj: <https://www.researchgate.net/publication/295902618>

ROSENFELD, Mark a PORTELLO, Joan K., 2015. *Letter to the Editor: Computer Vision Syndrome and Blink Rate*. Taylor and Francis Ltd. Current Eye Research 41. DOI 10.3109/02713683.2015.1031352.

ROSENFELD, Mark, 2011. *Computer vision syndrome: A review of ocular causes and potential treatments*. Ophthalmic and Physiological Optics 31. DOI 10.1111/j.1475-1313.2011.00834.x.

SAW, Seang Mei, MATSUMURA, Saiko a HOANG, Quan V., 2019. Prevention and management of myopia and myopic pathology. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*. Vol. 60, č. 2, s. 488–499. DOI 10.1167/iovs.18-25221.

SEMO, Ma'Ayan et al., 2003. Melanopsin retinal ganglion cells and the maintenance of circadian and pupillary responses to light in aged rodless/coneless (rd/rd cl) mice. *European Journal of Neuroscience*. Vol. 17, č. 9, s. 1793–1801. DOI 10.1046/j.1460-9568.2003.02616.x.

SCHADT, M. a HELFRICH, W., 1971. Voltage-dependent optical activity of a twisted nematic liquid crystal. *Applied Physics Letters*. Vol. 18, č. 4, s. 127–128. DOI 10.1063/1.1653593.

SCHEUERMAIER, Karine D., LEE, Jung Hie a DUFFY, Jeanne F., 2019. *Phase Shifts to a Moderate Intensity Light Exposure in Older Adults: A Preliminary Report*. SAGE Publications Inc. *Journal of Biological Rhythms* 34. DOI 10.1177/0748730418818655.

SILVANI, Marcia Ines, WERDER, Robert a PERRET, Claudio, 2022. *The influence of blue light on sleep, performance and wellbeing in young adults: A systematic review*. Frontiers Media S.A. *Frontiers in Physiology* 13. DOI 10.3389/fphys.2022.943108.

STRAUB M., 1909. Über die Aetiologie der Brechungsanomalien des Auges und den Ursprung der Emmetropie. DOI 10.1007/BF02002778.

SYNEK, Svatopluk a SKORKOVSKÁ, Šárka, 2014. *Fyziologie oka a vidění* [online]. Zdroj: [www.grada.cz](http://www.grada.cz)

TIDEMAN, J. Willem L. et al., 2016. Association of axial length with risk of uncorrectable visual impairment for Europeans with myopia. *JAMA Ophthalmology*. Vol. 134, č. 12, s. 1355–1363. DOI 10.1001/jamaophthalmol.2016.4009.

TIDEMAN, Jan Willem Lodewijk et al., 2018. Axial length growth and the risk of developing myopia in European children. *Acta Ophthalmologica*. Vol. 96, č. 3, s. 301–309. DOI 10.1111/aos.13603.

TSUBOTA, K., & Nakamori, K., 1993. Dry eyes and video display terminals. *New England Journal of Medicine*. DOI 10.1056/nejm199302253280817.

TYAGI, Ankita a CHATTERJEE, S, 2013. *Liquid Crystal Display: Environment & Technology*. Online.

VLKOVÁ, Eva a HORÁČKOVÁ, Monika, 2004. Chirurgická korekce refrakčních vad. *SANQUIS č.31* [online]. s. 31. Zdroj: <https://www.sanquis.cz/index2.php?linkID=art547>

WALLMAN, Josh a WINAWER, Jonathan, 2004. *Review Homeostasis of Eye Growth and the Question of Myopia eye growth compensates for the optical effects of the lenses (Figures 1C and 1D; chicks, Schaeffel et al the size of human livers, and livers from large dogs.*

WANG, Yu Meng et al., 2022. *Myopia Genetics and Heredity*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). Children 9. DOI 10.3390/children9030382.

WU, Pei Chang et al., 2016. *Epidemiology of myopia*. Asia-Pacific Academy of Ophthalmology. Asia-Pacific Journal of Ophthalmology 5. DOI 10.1097/APO.0000000000000236.

YACKLE, Kristie a FITZGERALD, David E, 1998. EMMETROPIZATION: An Overview. *Journal of Behavioral Optometry* [online]. Zdroj: <https://www.oep.org/sites/default/files/journals/jbo-volume-10-issue-2/10-2%20FitzGerald-Yackle.pdf>

ZHU, Jie, ZHANG, Ellean a DEL RIO-TSONIS, Katia, 2012. Eye Anatomy. Ze: *eLS*. Wiley. DOI 10.1002/9780470015902.a0000108.pub2.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Graf vývoje mé krátkozrakosti a obvyklého denního času stráveného před monitorem.

Obrázek 2: Schéma katodové trubice, přeloženo z AJ,  
převzato 10. 12. 2023 z: [https://simple.wikipedia.org/wiki/Cathode\\_ray\\_tube](https://simple.wikipedia.org/wiki/Cathode_ray_tube)

Obrázek 3: Schéma TN TFT panelu, přeloženo z AJ,  
zdroj: *Technical evolution of liquid crystal displays* (Kim, Song 2009)

Obrázek 4: Anatomické schéma lidského oka, převzato 10.10. 2023 zdroj:  
<https://www.symptomy.cz/anatomie/oci/stavba-oka.jpg>