

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

VIRTUÁLNÍ REALITA V OPTOMETRII A OFTALMOLOGII

Bakalářská práce

VYPRACOVALA:

Hověžáková Pavlína

Obor 5345Roo8 OPTOMETRIE

2023/2024

VEDOUcí BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

Eliška Najmanová, Ph. D

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením
Mgr. Elišky Najmanové Ph. D, s použitím literatury uvedené na závěr.

V Olomouci 3.5.2024

.....

Pavλίna Hovězáková

Poděkování:

Srdečně bych chtěla poděkovat vedoucí této bakalářské práce Mgr. Elišce Najmanové Ph. D, za její odborné vedení, ochotu, trpělivost, cenné rady a za drahocenný čas, který mi vždy věnovala. Také bych chtěla poděkovat panu Bc. Sahatqija Erikovi z kliniky Uvea za užitečné materiály, které mi k bakalářské práci poskytnul.

Tato práce byla podpořena za podpory projektů IGA PřF UP v Olomouci s názvem „Optometrie a její aplikace“, č. IGA_PrF_2023_004 a IGA_PrF_2024_019.

Obsah

Úvod	5
1 Virtuální realita	6
1.1 Popis virtuální reality	6
1.2 Historie virtuální reality	10
1.3 Možnosti využití v jiných oborech	12
1.3.1 VR v edukaci.....	13
1.3.2 VR ve sportu a zábavě.....	13
1.3.3 VR ve strojírenství a architektuře	14
1.3.4 VR v rehabilitaci	15
2 Oko a virtuální realita	16
2.1 Využití v léčbě	16
2.1.1 Vivid Vision a amblyopie	16
2.1.2 Prohloubení stereopse.....	21
2.1.3 Zlepšení kontrastní citlivosti u amblyopických pacientů	23
2.1.4 Insuficience konvergence	24
2.1.5 Akomodační šíře a facilita	25
2.1.6 Rozšíření zorného pole	26
2.2 Zrakové tréninky ve sportovní optometrii	27
2.3 VR jako pomůcka pro slabozraké.....	29
2.4 Studijní a diagnostické využití	30
2.4.1 Simulace operací.....	31
2.4.2 Výuka a diagnostika	32
Závěr.....	34
Zdroje	35

Úvod

V dnešní době se stále potýkáme s novými technologiemi, které přináší mnoho možností a jednou z těchto technologií je virtuální realita (VR). Je to prostředí, ve kterém jsme schopni se pohybovat či manipulovat s předměty. V posledních letech tato technologie pronikla také do oblasti lékařství, a to zejména do oftalmologické oblasti. Náš zrak nám dovoluje se vmístit do virtuálního prostředí a překonávat překážky, které bychom v běžném životě nebyli schopni. V oční specializaci je mnoho možností, jak využívat virtuální realitu k léčebnému procesu pomocí zrakových tréninků, a to především pro léčbu amblyopie, stereopse, kontrastní citlivosti a další. VR se také začala aplikovat ve formě screeningů, diagnostik či tréninkových dovedností. V neposlední řadě funguje virtuální realita i jako pomůcka pro slabozraké.

Cílem této práce je vytvořit přehled o současných možnostech využití a aplikace VR v oboru oftalmologie a optometrie a uvést některé vyšetřovací způsoby a zrakové tréninky, které přispívají k normální funkci zrakového systému, neméně představit další využití v oblasti oftalmologie.

Tato práce je rozdělena do dvou hlavních částí. První kapitola pojednává přímo o samotné virtuální realitě, její technologii, historii a následně je také zmíněno obecné využití v dalších vybraných oborech. Kapitola druhá je věnována uplatnění VR v léčebném procesu, kde se využívá tréninků pro podporu zrakového vnímání. Následuje uplatnění komerční, kde se zabývám možnostmi uplatnění VR u slabozrakých pacientů. Zmíněna bude také sportovní optometrie, kde se tato technologie hojně využívá pro přípravu a trénink sportovců. Závěr práce je zaměřen na využití virtuálního prostředí pro edukační a diagnostické aplikace, jako jsou například simulace operací.

1 Virtuální realita

Virtuální realita (VR) má mnoho nejasných definic. Obecně ji lze chápat jako simulace fiktivního (umělého) prostředí, které ve skutečnosti neexistuje, avšak díky systému vnímat obraz i zvuk je vnímáno jako reálné. Ve VR jsou podněty vnímány zrakem, sluchem i hmatem pomocí soustavy HMD (head mounted display), která je připevněna na hlavě, a vytváří tak uživateli pohlcující nový svět. Ovšem VR nezůstává pouze v prostředí náhlavní soupravy, ale je možné ji využít i v prostoru ve variantě promítání obrazu na zeď, či jako obyčejnou televizní obrazovku. [1,2]

Během posledních dvaceti let se VR rozšířila do celého světa a zajišťuje tak nová perspektiva pro společnost, kdy díky stále novým technologiím se virtuální realita rozšiřuje i do medicíny, zábavy a v mnoha dalších odvětvích nezůstává nepovšimnuta (viz kap. 1.3). Stále více se VR rozšiřuje do našeho každodenního života a její uplatnění se dennodenně rozvíjí. [2]

V následujících kapitolách bude pospána samotná virtuální realita, její historie a průlom do dnešní doby. Následně se představí její uplatnění i v jiných oblastech.

1.1 Popis virtuální reality

Virtuální realita, jak již bylo zmíněno, nabízí možnost se dostat do tzv. iluze s doprovázenými úkony. Je to rozhraní počítače a člověka, které vytváří realistické prostředí, a propojuje tak virtuální realitu se skutečným světem. Člověk se tedy dostane do fiktivního prostoru. Uživatelé mohou VR vnímat jako svět, ve kterém se mohou volně pohybovat a mají možnost pohledu na okolí z různých úhlů. Uživatel má nasazeny speciální brýle, sluchátka i rukavice, které mu poskytují potřebné informace a on je schopen interagovat se simulovaným prostředím. [1,2,3]

V souvislosti s VR je nutné zmínit dva pojmy, které jsou úzce spjaty s VR, a tím jsou Telepresence a Kyberprostor. Telepresence je určitý typ VR, která podněcuje tu naši. Jsme tak schopni ve virtuálním světě manipulovat

s předměty, kdy reakce na tento pohyb se vyskytuje ve vzdáleném místě ve skutečnosti. Kyberprostor je definován jako halucinace, či virtuální počítačový svět, který je dnes spojován hlavně se zábavou a internetem. [1,3]

VR tvoří 3D prostor, který je počítačově generovaný a je kombinací různých technologií, které toto prostředí tvoří. Cílem je, aby měl člověk co nejintenzivnější pocit, že se v daném virtuálním prostoru opravdu nachází. Využívá se hardware, který spojuje senzory, efektory a simulátory reality. Veškeré senzory snímají pohyby těla uživatele, a to včetně pohybu rukou díky datovým rukavicím. Efektory zaujmají práci stimulace smyslů uživatele, které určují úroveň pocitu přítomnosti ve VR. Simulátor reality zpracovává informace sensorů a propojuje je s efektory, a díky tomu jsou produkovány smyslové zážitky tak, aby působily jako skutečné. [1,4,5]

Jednotlivé systémy VR můžeme seskupit dle stupně ponoření se do virtuálního světa. První skupinu tvoří Desktop VR, což je typ aplikací VR. K promítnutí obrazu je používán klasický monitor. Za další skupinu lze považovat Fish Tank VR. Jedná se o lepší vylepšenou formu Desktop VR. Systém napomáhá sledování pohybů hlavy, a tím vylepšuje pocit skutečnosti. K tomuto je nadále používán monitor, který je často spolu s LCD brýlemi pro stereoskopické zobrazení. Třetí skupinu tvoří imerzní systémy, které jsou ultimátní verzí systému VR. Systémy díky Head Mounted Display (HMD) podporují stereoskopický pohled na fiktivní svět podle umístění a orientace uživatele a je možnost je obohatit také o komunikaci dotykem, zvukem i pomocí sensorického rozhraní, což je základem pro splnění požadavku zajistit maximální interakci s virtuálním světem. HMD poskytuje rozhraní v 3D prostoru, a je tak umožněno prohlížení virtuálního světa různými způsoby, jako např. procházení, či prolétávání. Díky stereoskopickému zobrazení, které HMD zajišťuje je dokonalejší zobrazení hloubky a orientace v prostoru. [1,3,4,6]

Rozdělují se různé typy „ponoření se“ do VR. Znamená to, jak moc jsme schopni rozpoznat fyzickou realitu od virtuální. Ponoření můžeme rozdělit do tří hlavních kategorií. Tou první je taktické ponoření, které je prožito při hmatových operacích. Uživatel se tak cítí více zabraný do světa iluze, jelikož tyto operace musí stále zdokonalovat. Druhou kategorií nazýváme strategické ponoření, což už je spíše spojeno s vlastní inteligencí. Pokud se člověk dostane

do mentální výzvy, opět ho to dostane více do virtuálního světa. Třetí a poslední kategorií je příběhové ponoření, což může být přirovnáno ke sledování dobrého sci-fi filmu, který člověka vtáhne přímo do děje. Stejný cíl má tedy tohle příběhové ponoření a je velice důležité pro to, aby uživatel zůstal nadále zaujatý. [1,6,7]

S.Björk a J.Holopainen (2004) přidali kromě již zmíněných kategorií ještě tři další. A to prostorové ponoření, ke kterému dochází, pokud má hráč pocit, že se v daném prostoru opravdu nachází. Dále psychologické ponoření, což nastává, jakmile si uživatel začne plést iluzi (např. hru) s realitou. A konečně třetí kategorií je smyslové ponoření, kdy uživatel přímo splyne s obrazovým médiem a iluze se stane kompatibilní se stavem jeho mysli. [1,3,7]

Vizuální informace jsou zobrazovány pomocí displejů, které jsou buď umístěny na hlavě uživatele, displeje projekční, nebo také ploché. Nejčastěji je využíván již zmíněný HMD nebo binokulární omni orientation monitor (BOOM). BOOM je první volný displej, který nemá klasické LCD displej, ale pro vytvoření obrazu slouží dvě obrazovky menšího rozměru. Displej je uložen v malé skřínce, která je upevněna na dvojdílném rameni. HMD má zabudované inerciální senzory, které pomáhají při předvídání pohybů hlavy uživatele. HMD jednotka je složena z přilby a CRT nebo LCD displejů v brýlích. Pomocí optického systému je zorné pole obrazovky rozšířeno a působí tak několik metrů před uživatelem. Některé typy se nasadí na obličej v podobě brýlí. HMD je vhodné pro stereoskopické zobrazení, a to díky dvěma odděleným zobrazovacím systémům, které umožní vytvořit jeden obraz pro pravé oko a jeden pro levé. Je tak splněna podmínka pro zobrazení binokulárních stereoskopických obrazů. Další výhodou HMD je omezení zorného pole blokací periferního vidění uživatele, což zvyšuje reálnost obrazů. [1,3,6,7]

Pro detekování pohybů hlavy slouží zařízení ultrazvukové, magnetické, optické či mechanické. Magnetické zařízení bývá přesnější i dražší. Antény vysílače u magnetického zařízení jsou napájeny proudem a tím je vytvářeno magnetické pole, což je následně zachyceno na povrchu vysílače. [6,7]

Sledování hlavy umožňuje uživateli správnou vizualizaci obrazu, také poskytuje pohybovou paralaxu, díky čemuž je zlepšena hloubková ostrost.

Jelikož jsou uživateli promítány i objekty, které jsou ve větší vzdálenosti od přímky pohledu, kvalita obrazu není po celé ploše displeje stejná, a může tak v těchto místech snížit zrakovou ostrost. Je nutné sledovat limbus, obraz, pohyby a směr bulbů při pozorování daného objektu. Limbus je sledovaný pomocí infračervených LED diod a fototranzistory, které jsou umístěny na brýlích, a monitorují tak odrazy infračervených bodů od duhovky a skléry a určují jejich pohled. [1,3,7]

Pro sledování promítaného obrazu se používá videokamera k určení toho, v jaké poloze se oko nachází. Pohyby a směr bulbů zajišťují elektrody, které jsou umístěny vedle očí a měří stálý potenciál mezi rohovkou a sítnicí. Jako poslední je měřen odraz od rohovky pomocí fototranzistorů. Analyzuje se tak odraz paprsku světla od konvexní plochy rohovky. [1,3,7]

Pohyby rukou je možné detekovat pomocí rukavice, která se omotá kolem ruky a zajistí tak vnímání pohybu díky sensorům na celé ruce včetně jednotlivých prstů a úhlu jejich kloubů. Součástí rukavice jsou vzduchové kapsy a distribuované odpory, které reagují a dávají informace zpět uživateli. Druhé haptické zařízení se nazývá Surface display. To umožňuje uživateli manipulovat s objekty ve virtuálním prostředí tím, že se dotknou skutečného modelu. Jakmile se uživatel dotkne fyzického předmětu, nebo s ním začne hýbat, display je schopen simulovat toto chování. V důsledku toho, že uživatel je v reálném světě a virtuální objekty, se kterými pohybuje, jsou pouze v počítači, pohyby s předměty nemusí být vždy v souladu s pohyby skutečnými. Použitím rukavic získá uživatel větší interakci. Tyto rukavice jsou vybavené sledovacím zařízením, jež je připevněno k zápěstí uživatele a následně je schopno sledovat jeho polohu i orientaci. [1,3,5,7]

Aby simulace fungovaly správně, je potřeba zaručit co nejrealističtější a kvalitní obraz a zajistit tak pocit přítomnosti. Snahou je plynulost a pohotovost obrazu. Problémy se simulací mohou vznikat z několika důvodů. Jeden z nich je chyba či nedostatečný hardware, který nedokáže poskytnout ideální podněty pro uživatele a jeho smysly tak, že může dojít k následné nevolnosti. Mezi další problémy patří latence systému a odchylky snímkové frekvence. Vedlejšími účinky mohou být již zmíněné nevolnosti, neschopnosti se soustředit, bolesti

hlavy, pocení, závratě, které následně mohou vést až ke zvracení a může také docházet k rozmazanému vidění. [1,3,7]

1.2 Historie virtuální reality

Pojem virtuální realita je mezi námi už několik let a její časový počátek je vnímán dle většiny literatur trochu jinak, proto nelze stanovit přesné datum vynalezení virtuální reality. Dle některých publikací to byl J.Lanier, jehož práce od 80. let 20. století položila základy VR, jak ji známe dnes. Ovšem již v 50. letech 20. století se objevila první zmínka o VR, kdy M. Heilig roku 1957 vyvinul přístroj zvaný Sensorama, který nabízel možnost virtuálního zážitku z jízdy na kole, jež doprovázely přídatné zvuky, vůně, vibrace i hmatové simulace. Tento systém je považován za první přístroj virtuální reality. Následně roku 1960 M.Heilig vyvinul brýle tzv. "Telesphere mask", které již napodobovaly náhlavní soupravy dnes. I přes to však stále brýle neumožňovaly detekci pohybu hlavy – „motion tracking“. [1,3,8]

C.Corneau a J.Bryan vytvořili roku 1961 přístroj Headsight, což byl první příklad detekce pohybu hlavy. Skládal se ze dvou obrazovek, kdy každá byla pro jedno oko, a magnetického systému, který byl propojený s kamerou pro detekci pohybu hlavy, a umožňoval tak stereoskopické prohlížení prostorou se směrem pohledu. Tento přístroj byl využíván pro armádní účely, nikoli jako zábavní. [3,5]

Následně roku 1965 vytvořil I. Sutherland přístroj Ultimate display jako podklad pro virtuální realitu, kde byl vytvořen fiktivní svět, který zahrnoval interaktivní grafiku a zpětnou vazbu. Svůj výtvar rozšířil o tzv. Head-mounted display, který propojoval realitu s virtuálním prostředím. Přístroj se skládal z brýlí, které společně pro každé oko vytvářely iluzi 3D vidění. K tomu se přidaly zvukové efekty a hmatová zpětná vazba. Byl to první systém vytvořený v hardwaru, nikoli konceptu umožňující generovat a zobrazovat uživateli veškeré změny ve vytvořeném virtuálním světě a také interagovat s různými objekty. Tento systém byl díky své velikosti pojmenován „Damoklův meč“ a byl posléze použit jako generátor scén. Což se stalo základem součástí hardwaru VR. Výhoda univerzální platformy byla natolik zřejmá, což vedlo k velkému výzkumu

v 70. - 80. letech 20. století. O tento produkt začala mít zájem armáda pro letecké simulátory a následně NASA k vytvoření simulace prostředí astronautům. [3,5,8]

V roce 1971 byl na Univerzitě v Severní Karolíně vytvořen 1. prototyp systému silové zpětné vazby zvaný GROPE.

Později roku 1975 vytvořil M. Krueger umělou realitu zvanou Videoplace, kde byly obrysy uživatele zachycené kamerami promítnuty na plátno. Uživatelé byli schopni vzájemně interagovat mezi sebou, díky technikám obrazu. Tyto techniky udávaly jejich pozici v prostoru 2D obrazovky. [3,5,8]

Průkopníkem virtuální reality se stal T. Furness, který se virtuální realitou zabýval již od roku 1966, kdy u letectva sestavoval jedny z prvních displejů na přilbě. O několik let později roku 1982 představil systém Visually Coupled Airborne Systems Simulator VCASS, který umožnil vizuální propojení leteckých systémů. Stíhací pilot měl na sobě Head-Mounted Display, díky němuž byl pohled z okna popisem zaměření nebo informací o dráze letu. Od roku 1986 řídil T. Furness také program Super Cockpit, který fungoval na principu VR. [3,5,8]

Postupně se systémy virtuální reality zdokonalovaly a roku 1985 společnost VPL začala vyrábět DataGlove, kde se jednalo o variantu klávesnice, jejíž principem mělo být propojení mezi člověkem a počítačem. Posléze roku 1987 byl společností představen DataSuit. Jednalo se o oblek, který pokrýval celé tělo a díky sensorům snímal pohyby paží, nohou a trupu. Roku 1988 byly vyrobeny virtuální brýle s názvem Eyephone HMD systém, který používal speciální VR brýle a DataGlove. Systém navazoval na Headsight. Rozdíl byl v tom, že nově vzniklé brýle využívaly Fresnelovy čočky. Kombinace DataGlove a Eyephone umožňovaly zážitek z virtuální reality podobné dnešním náhlavním soupravám. Byly to první komerčně dostupná zařízení virtuální reality. Koncem 80. let se začaly objevovat 1. virtuální světy. Postupně se vytvářely nové projekty jako BOOM, UNC WALKTHROUGH PROJECT, VIRTUAL WIND TUNNEL apod. [3,5,8]

Roku 1992 byla představena CAVE, což je systém pro automatické virtuální prostředí, které již nepoužívá HMD. Systém promítá obrázky na

stěnách místnosti, kam jsou namířeny projektory, a vytváří tak 3D prostředí. Uživatel má nasazený LCD brýle, díky tomu je zajištěno větší zorné pole, rozlišení i kvalita. [3,5]

V 90. letech 20. století se virtuální realita objevila na internetu s aplikací Virtual Reality Mark-up Language, jazyka pro modelování VR, který se používal pro vytváření virtuální reality. V této dekádě se také zvýšilo zastoupení technologie VR ve filmu a televizi, což způsobovalo obavy z důsledků jejího používání. [1,3,5]

Postupem času docházelo k nástupu VR do domácnosti, nejprve ve formě různých počítačových her. Začaly se objevovat nové zařízení VR, například Virtuality, která kromě helmy obsahovala ruční ovladače pro propojení s virtuálním světem. Mnoho dalších zařízení bylo i kvůli nedostatkům z trhu staženo, ale technologie se i nadále rozšiřovaly a objevovaly se stále nové pokusy až do roku 2008, kdy vývoj VR stagnoval na dobu 4 let. [3,5,8]

V roce 2012 zahájil P. Luckey kampaň za účelem získání financí na prostředky pro vytvoření HMD pro veřejnost s názvem Oculus Rift, jež má funkci sledování pohybu a umožňuje tak softwaru reagovat na akce uživatele. Realizace tohoto projektu byla úspěšná, a roku 2014 se stal systém stal komerčně dostupným. Oculus Rift byl neustále inovován a dnes je využíván v mnoha oborech. Technologie VR je v neustálém vývoji a jde stále kupředu. Zvyšování kvality rozlišení jsou od 90. let až do dnes stále lepší a poskytují realističtější zážitky z přístrojů VR. [1,8]

1.3 Možnosti využití v jiných oborech

VR se v dnešní době dostává do popředí v různých oborech a je o ni stále větší zájem. Proto nelze vypsát všechny možnosti jejího využití, jelikož se VR zdá být dnes nepostradatelnou pro téměř veškeré oblasti, a tak budou zmíněny jen vybrané využití. VR má mnoho výhod v aplikačních oblastech a poskytuje snadnou interakci mezi člověkem a počítačem. Je pomocníkem ve zdravotnictví, stavebnictví, učitelství a mnoho dalších, kde hraje důležitou roli v teoretických i praktických znalostech. [3]

1.3.1 VR v edukaci

V současné době se VR využívá pro zdokonalování praktických dovedností, především je používána pro armádní účely, a to konkrétně leteckému výcviku, dále k různým školením či výcviku kosmonautů ve snaze je připravit na vesmírný transport apod. Největší výhodou je snížení provozních nákladů na fyzické zařízení a vybavení, které by za normálních okolností byly velmi vysoké a druhou obrovskou výhodou je bezpečnost. VR poskytuje možnost získat téměř plnohodnotné dovednosti práce s letounem či jiným armádním zařízením. Pilotní školící programy jsou stále více využívány. [1,3]

Možnost aplikace VR je využívána i ve zdravotnictví, a to především v souvislosti s nácvikem různých chirurgických zákroků a operací, kdy se simuluje kterákoli část lidského těla a studenti medicíny jsou tak plně schopni si procvičovat složitý úkol bez rizika ohrožení operovaného nebo i sebe. Tato metoda není ale využívána pouze studenty medicíny, ale i vystudovanými doktory, kteří si tak mohou trénovat stále nové možnosti operací a bezpečně tak mít možnost opakovat a trénovat své vlastní metody. Dnes je snaha zavést do zdravotnictví hlavně rozšířenou realitu, která je schopna překonat problémy s teleprezencí, protože díky konzistentnímu překrytí objektů umožňuje plánovat přesná místa pro určité řezy při chirurgických zákrocích, určit okraje nádorů a najít kritické struktury. Díky VR se tak zvyšují další praktické dovednosti i zkušenosti. [1,3,4]

1.3.2 VR ve sportu a zábavě

Stále a více se VR realita dostává také do světa sportu a zábavy. Díky tomu, že VR poskytuje jedinečné bezpečné prostředí, umožňuje dosáhnout vyšší efektivity a překonat překážky, které v běžném životě nelze, či naučit se přizpůsobovat jiným podmínkám. Díky simulacím je uživatel schopen pochopit nové strategie, nebo se dozvědět více informací. VR nám může ukázat veškeré možnosti uživatelovy hry, např. co se stane, pokud míč poletí menší rychlostí, než je běžné, nebo jak se zachovat, pokud je protihráč silnější a další možné varianty. Dokáže analyzovat spojení vnímání a akce. VR ale je využívána nejen sportovci, ale i trenéry. Díky tomu jsou schopni vytvářet virtuální prostředí pro

různé cviky, hry, nové strategie, a hlavně zpětně pozorovat výsledek svých dovedností a zvyšovat tak motivaci. [9,10]

Jednou z nejúspěšnějších a nejvíce rozšířených aplikací VR je využití v zábavním průmyslu, kde se nejčastěji objevuje u videoher. Simulace VR vytváří nadčasové prostředí, které díky svým vizualizacím dokáže uživatele vtáhnout do virtuálního světa. Mohou se tak dostat k různým bojovým úkolům, sportovním výkonům, a přitom a překonávat různé překážky. Videohrami to ale nekončí, jelikož se s VR setkáváme v průmyslu filmovém, dokonce i televizním. Simulace dokáže člověka vnést do děje příběhu, a divák si tak může prozkoumat prostředí filmu z jakéhokoli úhlu. Dnes se můžeme setkat s typy simulací, které nás dovolí změnit děj příběhu a člověk se tak stane přímo jeho součástí. Je tím vytvořeno spoustu dalších emočních a interaktivních zážitků. [1]

1.3.3 VR ve strojírenství a architektuře

VR se také používá při stavbě, vizualizaci a testování modelů různých pohonných hmot i veškerého strojního vybavení. Je důležité mít přehled o nejlepším budoucím vybavení stroje, i jak budou probíhat vývojové fáze. Aby organizace ušetřily úspory za stavbu modelů, jejich zkušební jízdy, zlepšování a opravu produktu, které by byly velice nákladné, využívá se VR pro veškerou prohlídku vozu, čímž jsou ušetřeny nemalé peníze i čas. Díky těmto prohlídkám v průběhu modelování a návrhů je potom možné zavést stroj rychleji do provozu. [3]

Díky vizualizaci, kterou nám VR nabízí, získala také důležitou funkci v architektuře. Tato metoda je schopna realisticky zachytit skutečné i zaniklé objekty, a člověk tak může sledovat i procházet vytvořená místa, budovy, zkrátka veškeré prostory a vědět, jak bude modelovaný objekt reálně vypadat. VR je velice realistická a umožňuje tak pestrou představu díky počítačové grafice. Proto se dnes VR používá i jako prohlídka turistických atrakcí a historických památek na dálku. [3,11]

Návrháři interiérů či exteriérů používají VR pro návrh domu, jeho okolního prostředí i vnitřního vybavení. Simulace je schopna vytvořit náhled na výslednou práci a člověk si tak může projít a prozkoumat veškeré prostory ve 3D

prostředí. Návrháři tak uskutečňují vizualizaci svých náčrtů a mohou díky VR měnit své textury i barvy, mohou přemisťovat předměty dle požadavků nebo jejich pocitu a vytvořit tak okamžitě viditelný výsledek. [1,3,11]

1.3.4 VR v rehabilitaci

Technologie VR jsou dnes používány v rehabilitaci jako prostředek pro léčbu a hodnocení stavu pacienta, či neurorehabilitaci, kdy díky správnému soustředění na cvičení je pacient schopen potlačit uvědomování si bolesti. Simulace jsou používány u klientů se zdravotním postižením, a to jak s kognitivními, motorickými a neurologickými poruchami, stejně tak se využívá u pacientů s různými fobiemi či úzkostnými stavy. Ve virtuálním světě mají pacienti možnost provádět různá cvičení a snažit se tak vylepšit jejich kognitivní, motorické i neurologické funkce. Systém je schopen sledovat pokrok pacienta v terapii a navrhnout tak další léčebné možnosti. V tomto případě je možno zmínit systém VR Vitalis, který jako certifikovaná zdravotnická pomůcka napomáhá zvýšit hodnotu dané péče a také snižovat provozní náklady v rehabilitaci. VR se aplikuje také u různých druhů fobií i úzkostných stavů, kde se pomocí metody zvané „expozice s pomocí VR“ dostane pacient do virtuálního bezpečného prostředí a je vystavován situacím, které běžně vyvolávají strach a úzkostné stavy. V psychologické oblasti je VR využívána stále častěji. Vytváří u pacienta pocit fyzické přítomnosti ve virtuálním prostředí a zároveň komunikovat v reálném čase. Je velice důležitým prostředkem pro sledování a hodnocení chování pacienta a také je možné chování procvičovat a zlepšovat. [12,13]

2 Oko a virtuální realita

Virtuální realita je relativně nová technologie, která má potenciál v použití při léčbě očních i zrakových komplikací. Na konci předešlé kapitoly byla zmíněna aplikace VR v různých odvětvích. Tato kapitola bude zaměřena na aplikaci VR v souvislosti se zrakovými tréninky a očními komplikacemi. VR je využívána léčebným, studijním i komerčním způsobem. [14]

2.1 Využití v léčbě

Aplikace VR je využívána v terapii pomocí zrakových tréninků, a to danou simulací pro konkrétní oční onemocnění. Tato kapitola prezentuje několik očních komplikací, které mohou být řešené formou cvičení ve VR. [14]

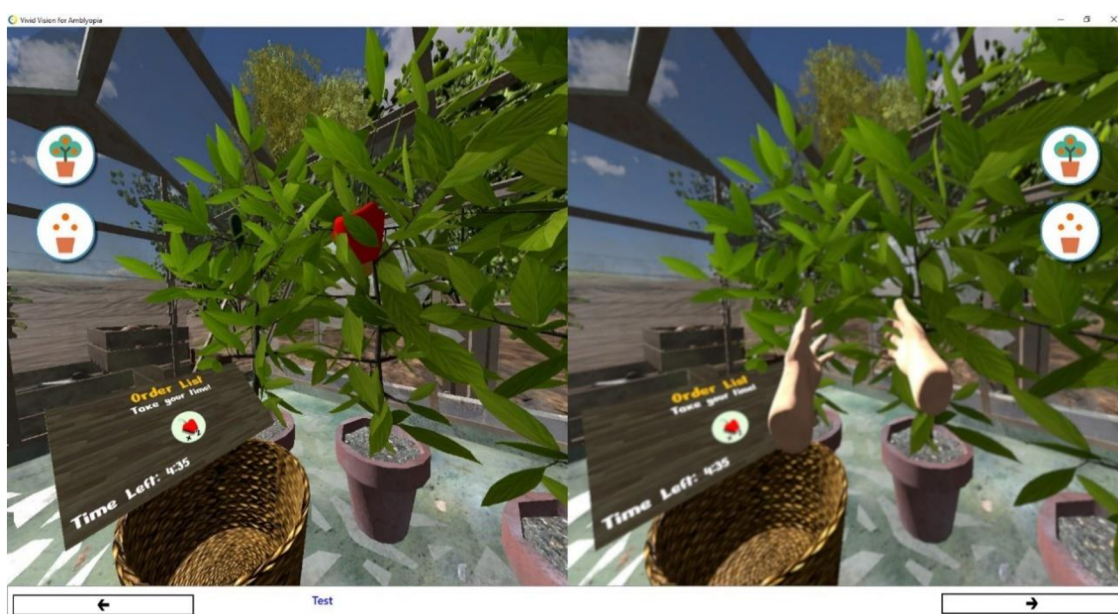
2.1.1 Vivid Vision a amblyopie

Amblyopie neboli tupozrakost, je jedna z nejčastějších zrakových poruch. Většinou postihuje jedno oko, avšak může se vyskytovat i oboustranně. Amblyopie se objevuje především v dětském věku. Je diagnostikována bez jakéhokoli patologického nálezu na oku či zrakové dráze v souvislosti s amblyopií. Projevuje se sníženou zrakovou ostrostí s nemožností vylepšení pomocí brýlové či jiné korekce. Vzniká v závislosti nesprávného zrakového vývoje. Při včasném nálezu je u pacienta důležitá potřebná korekce a také se vyžaduje zrakový trénink. Tradičně se do zrakového tréninku začleňuje okluzní terapie či penalizace atropinem při cvičení tupozrakého oka. Jako první se do tréninku zařazuje pleoptika, což je soubor zrakových cvičení, které napomáhají takzvaně odtlumit tupozraké oko a zajistit tak jeho správné monokulární vidění. Následuje ortoptika, která má za úkol zlepšit binokulární vidění, a tím zajistit správnou funkci zrakového aparátu. Dnes se zrakové tréninky využívají ve virtuální realitě za pomoci tzv. dichoptického tréninku, o kterém bude zmíněno dále v této kapitole. [15,16]

Terapeutická cvičení virtuální realitou pro léčbu amblyopie jsou stále více oblíbená, především díky tomu, že jsou interaktivní, motivační a zábavná, a tak

budí velikou oblíbenost zvláště mezi dětmi. Ovšem díky dnešním technologiím je možné metody uplatnit i u dospělých jedinců, což bylo velmi dlouho bráno za nemožné. [14]

Trénink binokulárního vidění díky videohram se v dnešní době stává více populární a cenově dostupnou možností. Podstatou tréninku je vytvořit takové prostředí, kde je každé oko stimulováno zvlášť díky doplňkovým obrázkům, které vidíme současně všechny, dokud je zapojena fúze. Takové prostředí nazýváme dichoptické, což je provedeno u virtuální reality, díky které vidí pacient komplementární obrazy, díky čemuž je schopen stereopse ve virtuálním prostředí. Jednoduše lze říci, že jednomu oku jsou promítány podněty jiné než oku druhému. V případě suprese lze tupozrakému oku poskytnout výhodu buď různými podněty, které vidí pouze oko amblyopické, či sníženým jasem oka zdravého, nebo také použitím „rozostřeného filtru“, což poskytuje vyvážené binokulární vidění a dochází tak k eliminaci intraokulární suprese (Obr.1). Mluvíme o speciálně navržených stimulech pro podporu tupozrakého oka na základě Gaborovy sinusové mřížky. Každým týdnem se stává trénink více efektivní a pacient potřebuje stále méně „výhod“ pro vyvážení binokulárního vidění a začne tak vidět menší rozdíly mezi pravým a levým okem. Se stálým cvičením jsou oči schopny se naučit postupně pracovat spolu. Nakonec není potřeba žádní další modifikace pro spojení promítaných obrazů a spolupráce obou očí je dosaženo. [14,17,18]



Obrázek 1: Penalizace vedoucího oka (vpravo) použitím rozostřeného filtru pro podporu binokulární rovnováhy [19]

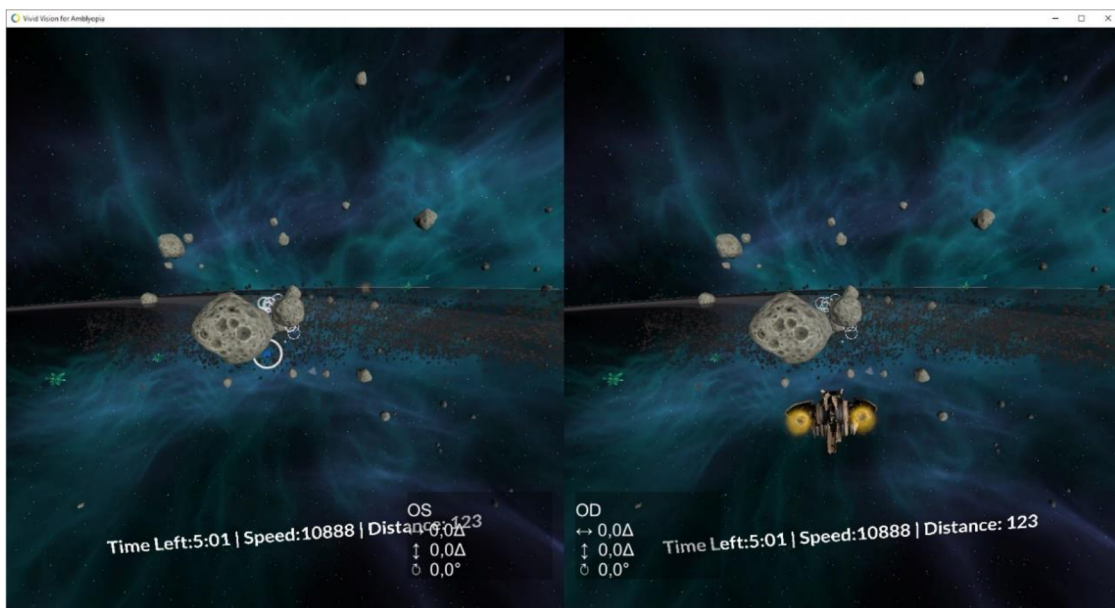
V několika studiích bylo prokázáno, že binokulární cvičení je zcela srovnatelné s okluzní terapií. Pro zajištění klinicky významného zlepšení pro děti s amblyopií je nutné použít ověřený software, který využívá specifické podněty a efektivní kontroly nad útlumem oka. Za tímto účelem se pilotní studie [20] zaměřila na vyhodnocení změn zrakové výkonnosti po tréninkovém programu aktivní zrakové terapie u dětí s anizometrickou amblyopií pomocí prototypu imerzivního systému percepčního učení založeného na VR. V dnešní době existuje několik typů dichoptických tréninků skrz VR. Tyto metody jsou jak ortoptické, tak i pleoptické. [20,21]

Hlavním cílem těchto tréninků je vyvážení vizuálního vstupu obou očí, dominantního i amblyopického, a donutit tak pacienta sledovat vjemy oběma očima společně. Cvičení se také může neustále opakovat a zvyšovat tak náročnost pro zajištění maximálního soustředění pro využití obou očí navzájem a plnit tak terapeutický úkol, jehož součástí je monokulární fixace v binokulárním poli. [17, 22]

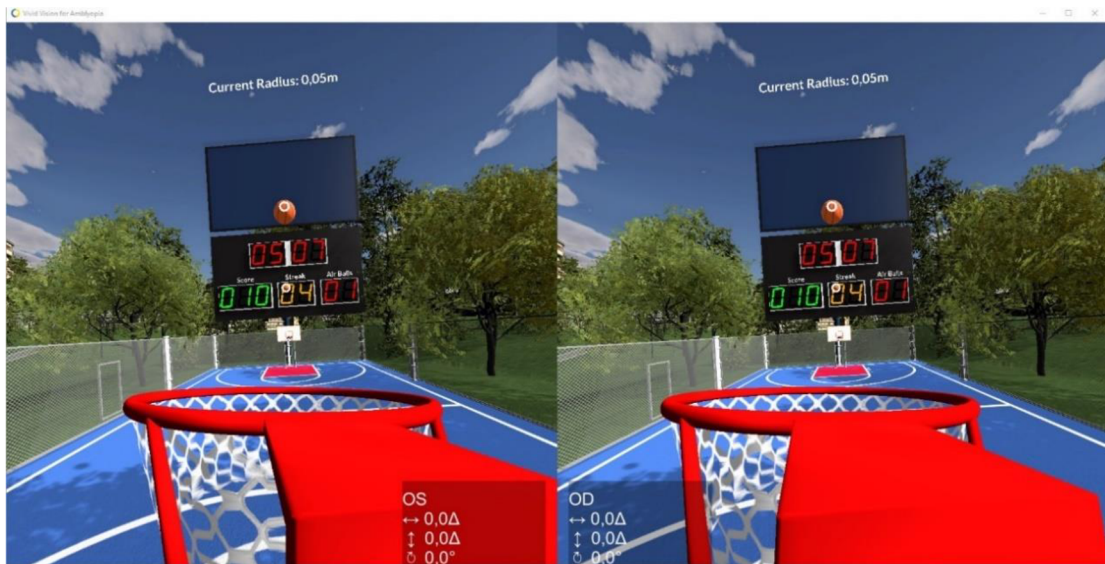
Nejnovější používanou technologií je Vivid Vision, která identifikuje a hodnotí binokulární vidění, a také napomáhá v terapiivergence a suprese. Jsou dvě formy Vivid vision, a to Vivid vision clinical, což je komplexní systém VR vytvořený pro speciálně zaměřená pracoviště, kde je cvičení nutno provádět pod odborným dohledem. Toto zařízení obsahuje headset s pohybovými senzory, dva monitory pro každé oko a také ruční ovladače. Při cvičeních je nutné mít počítač, kde specialista může sledovat promítané scény a popřípadě je upravovat nastavení či zaznamenávat výsledky. Druhou verzí je Vivid vision Home, který je sortimentem pro domácí doplňkovou léčbu a jeho konstrukce je zjednodušená. Obsahuje jednoduchý headset, ruční ovladače a chytrý telefon který je vložen do headsetu VR. Pacient je k tréninku připojen pomocí dat či Wi-fi a spouští se přednastavené hry přímo pro daného pacienta od odborníka – ortoptisty. Pacient si hry nemůže nijak pozměňovat či upravovat. Nejčastějšími volitelnými přístroji pro tato cvičení jsou Oculus Rift, Cardboard, HTC Vive, Mixed Reality a DPVR 91 Pro. [17,18,23] Podle studií [20,21] bylo prokázáno zlepšení dětské anizometropické amblyopie a následně tak i stereopse díky virtuálnímu zařízení namontovaného na hlavě. Binokulární tréninky pomocí Vivid Vision se využívají pro podporu nejen amblyopie a stereopse, ale i insuficienci konvergence a také

se její uplatnění nachází v různých screeningových měření, jako například perimetrie (viz kapitola 2.4.2). [17,18,20,21,23]

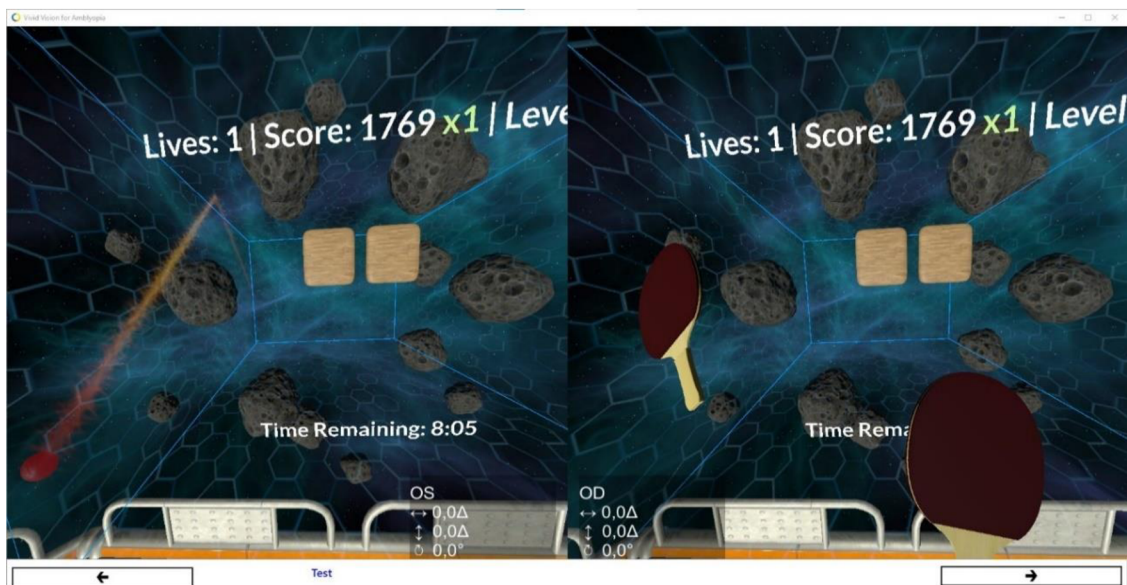
Simulačních her na principu dichoptického tréninku ve Vivid vision je několik. Pro amblyopické tréninky jsou využívány simulace právě na již zmíněném dichoptickém principu. Ring Runner je jedna z velmi často používaných simulací Vivid Vision (Obr. 2). V této hře jsou barevně odlišeny kruhy červenou, zelenou a modrou barvou. Cílem hry je vyhnout se červeným značkám a asteroidům. Zvyšující se rychlostí se mění obtížnost hry. Hoopie je další často používanou hrou (Obr.3) Zde je hlavní úlohou hráče chytat basketbalový míč se znakem O do koše. Variantou této hry je i ztížení podmínek a rozdělení míčů znakem O a X a pacientovým úkolem je chytat míče pouze se znakem O. Samozřejmostí je opět zvyšující se rychlost pro zvýšení obtížnosti. Braker je další typ hry, kde je pacientovým cílem odpálit míček tak, aby jím rozbil destičky (Obr.4). Zvyšování náročnosti roste opět se zrychlením času i pohybem destiček. [19]



Obrázek 2: Ring Runner [19]



Obrázek 3: Hoopie [19]



Obrázek 4: Breaker [19]

Existují ale i další simulační hry, které nejsou na principu dichoptického vidění, ale jsou vytvořeny pro nácvik správné stereopse, okulomotoriky, nebo pro posílení fúzních rezerv. Vivid Vision se také využívá pro léčbu pacientů se strabismem současně léčených pro amblopii, taková cvičení jsou především na bázi tréninku okulomotoriky pro správné binokulární vidění. [15,17,19]

2.1.2 Prohloubení stereopse

Stereopse je nejvyšší stupeň binokulárního vidění, díky kterému jsme schopni vytvořit trojrozměrný obraz pomocí fúze dvou obrazů stejného předmětu, který pozorujeme ze dvou mírně odlišných úhlů na binokulární disparitě. Část populace tuto schopnost ovšem nemá, což může mít za následek zhoršení motorického chování jak v dětství, tak i v dospělosti. Absence stereopse se vyskytuje hlavně i u amblyopických pacientů, tudíž léčení tupozrakosti koreluje s nejvyšším stupněm binokulárního vidění, což je tématem této podkapitoly. [16]

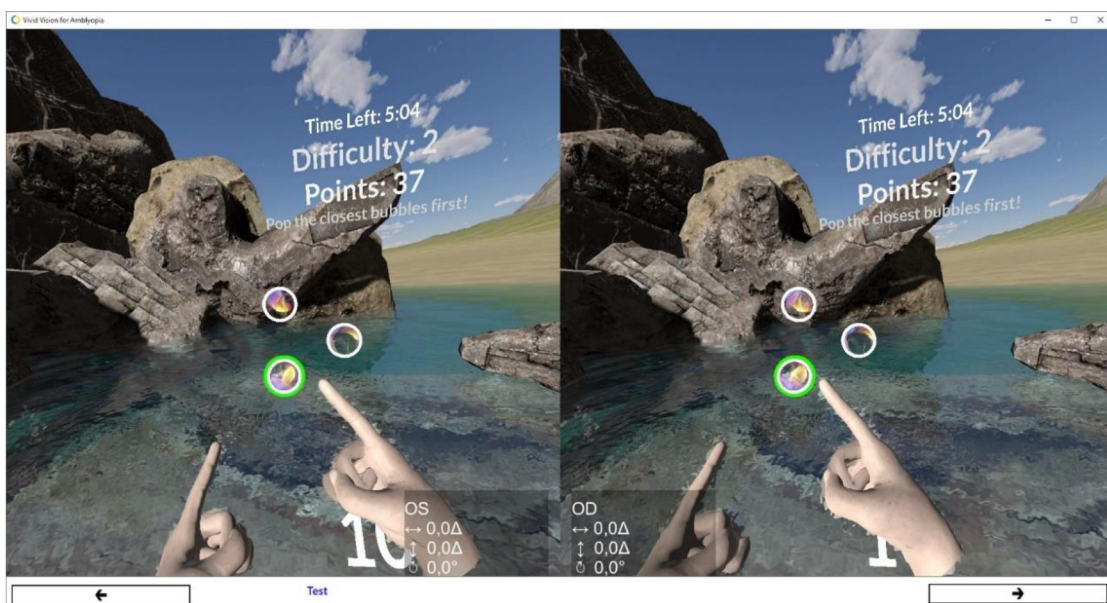
V posledních letech došlo k rozšíření zájmu veřejnosti o obnovení 3. stupně vidění u dospělých se strabismem, a to hlavně od doby, kdy byla vydána publikace „Fixing my view“. V této publikaci bylo neurovědkyní S. Barry popsáno uzdravení ze strabismu po zhlédnutí 3D filmu Hugo. Málo studií ale poukazovalo na schopnost napravení stereopse u dospělých díky percepčnímu učení, či na učení pomocí refrakční adaptace následovanou právě percepčním učením jak monokulárním, tak i stereoskopickým. [24]

Jako první důkaz o obnovení stereopse u dospělých pacientů, u kterých již nějakou dobu byla absence klasického binokulárního vidění z důvodu amblyopie či strabismu, umožnili J. Ding a D. M. Levi (2016) díky právě zmíněnému percepčnímu učení. Jejich trénink obsahoval monokulární signály, které korespondovaly se signály stereoskopickými. Studie se zúčastnilo 11 pacientů ve věkovém rozmezí 19-45 let, kteří po několika tisících percepčních učení se stereoskopickými mřížkami dosáhly významného zotavení stereopse, díky čemuž dosáhli trojrozměrného vidění. Základem obnovení stereopse je vnímání hloubky detekcí binokulární disparity, ovšem se sníženým rozlišením a přesností. [24]

Dle studie [24] bylo možno uskutečnit cvičení pomocí virtuální reality pro lidi s určitým deficitem stereo vidění z důvodu buď amblyopie či strabismu, a docílit tak prohloubení míry stereopse. Tato studie hodnotila trénink dospělých pacientů v přirozeném vizuomotorickém tréninku pomocí hry, kde bylo úkolem „vytlačit brouky“ ve virtuálním prostředí. Principem bylo, aby pacient pomocí válce, který držel v ruce, na šikmé ploše, rozdrtil virtuální dichoptickou

štěnici. Daný trénink byl započat ve chvíli, jakmile probandi viděli identicky dichopticky vykreslené poloviny chyb, což bylo důkazem fúze. Další krok bylo umístění válce na startovní desku. Danou dichoptickou štěnici měli za úkol rozmáčknout ve chvíli, kdy obě poloviny štěnice byly viditelné a zarovnané. Štěnice byla „rozmáčknutá“, pokud byl válec orientován do 5 stupňů od orientace cílového povrchu v určitém čase. V opačném případě štěnice poté utekla. Plocha byla nakloněna podle stereoskopických narážek či těchto narážek a stálé nebo konfliktní monokulární textury. Tento trénink byl dokončen, jakmile bylo dosaženo splnění celého bloku. [24]

Výsledkem cvičení byla prokázána zvýšená závislost na stereoskopických signálech a podstatně zlepšená stereopse. Předpoklad pro zlepšení stereopse bylo přesvědčení, že trénink s více podněty do hloubky a bohatá zpětná vazba může zvýšit spolehnutí se na stereoskopické podněty. Výsledky ze studií jsou důležité nejen pro dětské pacienty, ale pro dospělé probandy, kdy toto dospělé období se dříve nepovažovalo za možnost plasticity. Dnes se VR využívá jako perspektivní přístup pro percepční trénink všeho druhu, a to především také na přístroji již zmíněném, Vivid Vision. Jednou z využívaných her Vivid Vision pro trénink stereopse je hra Bubbles (Obr.5), kde má pacient za úkol prasknout bublinky v pořadí od nejbližší po nevdálenější. Zvyšováním náročnosti se zvyšuje počet bublinek a vzdálenost mezi nimi se snižuje. [19,23 ,24]



Obrázek 5: Bubbles [19]

2.1.3 Zlepšení kontrastní citlivosti u amblyopických pacientů

Kontrastní citlivost je jedna ze základních charakteristik zraku, díky které jsme schopni rozlišit různé světelné objekty a pomáhá nám se dobře orientovat v prostředí za zhoršených světelných podmínek. [16,25]

Se snížením kontrastní citlivosti souvisí více očních onemocnění, tudíž je velice důležitá z hlediska diagnostiky a preventivní kontroly. Stejně tak snížení kontrastní citlivosti může souviset s nekorigovanou či špatně korigovanou refrakční vadou, a tak kontrastní citlivost souvisí i se zrakovou ostrostití a amblyopií. [25]

V různých studiích bylo dokázáno, že binokulární cvičení napomáhá jak v léčbě monokulárních, tak i binokulárních funkcí, jako je například již zmíněná stereopse. Tato podkapitola je zaměřena na následné zlepšení kontrastní citlivosti po tréninku binokulárních dichoptických cvičení. [26]

Cílem studie [26] bylo zjistit, jestli je dichoptický trénink účinný i v léčbě kontrastní citlivosti u dospělých pacientů s amblyopií. Díky tomuto tréninku, kde jsou promítány stimuly, je možná stimulace zrakové kůry, která údajně mění nervovou inhibici, a tím zlepšuje kontrastní citlivost u dospělých pacientů s tupozrakostí. V této studii byla hodnocena data třiceti dospělých probandů ve věku zhruba 23 let, jež se zúčastnili dichoptického tréninku i pro studii zlepšení stereopse nebo zrakové ostrostiti. Kritéria pro zařazení do studie byla anamnéza anizometropie, strabismu nebo i kombinací obou onemocnění bez oční patologie. Pro měření kontrastní citlivosti byly použity náplasti Gabor a kontrastní citlivost byla hodnocena dvěma alternativními metodami, kde museli účastníci zhodnotit orientaci Gaborových mřížek (proužků) jako vertikální či horizontální. Poté byl kontrast vyjádřen jako procento Michelsonova kontrastu. Účastníci byli měření podrobena před a po 10 dnech terapie. Pacienti absolvovali dichoptický trénink v podobě videohry padajících bloků, kterou sledovaly buď přes brýle, což byla první skupina účastníků, nebo druhá skupina využívala sledování bloků na iPodu touch, který měl prizmatické překrytí obrazovky. Pozorovací vzdálenost byla zhruba 60 cm. V případě druhé varianty iPod touch se cvičení kombinovalo (anodickou transkraniální) stimulací zrakové kůry pomocí stejnosměrného proudu. Studie potvrdila významné zlepšení kontrastní

citlivosti skrze veškeré prostorové frekvence v náhodném pořadí, které byly u probandů testovány. Což také signalizuje změnu senzitivity nervových systémů, které podporují monokulární kontrastní citlivost. Neinvazivní mozková stimulace zrakové kůry může zlepšit kontrastní citlivost u dospělých amblyopických pacientů, protože taková stimulace mění nervovou inhibici. Tato studie odhalila účinnost dichoptického tréninku pro zlepšení amblyopické kontrastní citlivosti u převážné většiny probandů. [26]

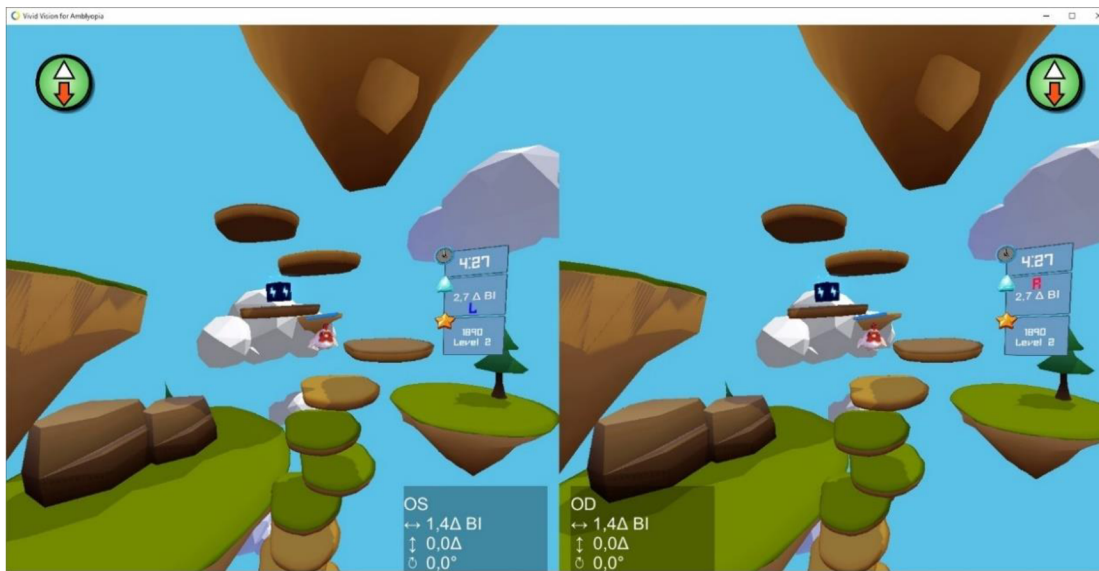
2.1.4 Insuficience konvergence

Konvergenci můžeme popsat jako schopnost rotace očí správným úhlem díky okohybným svalům směrem dovnitř pro pozorování jednoho celistvého objektu. [16]

Insuficience konvergence je binokulární porucha, kdy naše oči spolu nedokáží spolupracovat. Je také popsána jako exoforie, která je větší do blízka než do dálky. Může způsobovat astenopické potíže, rozmazané vidění i diplopii. Pacient může mít pocit, že se písmenka v textu pohybují a tím může špatně zvládat činnosti do blízka, jež ovlivňuje každodenní kvalitu života. Pomocí virtuální reality začnou obě oči spolupracovat a dívat se pod správným úhlem na podnět a lze dosáhnout zlepšení konvergenční nedostatečnosti. Celkově podstatou tréninku insuficience ve VR je zvětšování či zlepšení fúzních rezerv, a tak napravit tuhle oční problematiku. [27,28]

Dle několika studií [27,28] se díky terapii zraku pomocí VR binokulární funkce podstatně zlepšily u pacientů s insuficiencí konvergence. Díky simulacím na přístroji Vivid Vision je možno aplikovat zraková cvičení směřovaná právě na pomoc s konvergenční nedostatečností. Dle studie [27] byl tréninkový režim 20 minut třikrát týdně po dobu 6 týdnů. Byly hodnoceny anaglyfy a hra Hadi ve VR. Výsledky prokázaly výrazné zlepšení blízkého bodu konvergence a fúzních rezerv. Hlavním principem využití VR při konvergenční insuficienci je trénink, který napomáhá zvětšit fúzní rezervy u pacienta. Jedním z takových tréninků Vivid Vision na posílení fúzních rezerv je hra Barnyard Bounce (Obr.6). Principem této hry je navigovat kuřátko po plošinách pomocí ovladače, které jsou různě rozprostřeny nad zemí. Varianta hry může být buď Base In nebo Base

Out. Jakmile je přesáhnuta maximální úroveň, kterou pacient je schopný ještě zvládnout, kuřátka se objeví dvě. [28,29,30]



Obrázek 6: Barnyard Bounce [19]

2.1.5 Akomodační šíře a facilita

Akomodační facilita či akomodační snadnost nám popisuje, jak jsou schopny oči rychle a pružně reagovat neboli zaostřovat při změně akomodačního požadavku za určitý čas. Pokud naše akomodační facilita není dostatečně velká, může způsobovat astenopické potíže i rozmazané vidění do blízka. Akomodační šíře udává vzdálenost mezi blízkým a dalekým bodem, kdy je pacient schopen akomodovat na blízkou vzdálenost. [16]

Ve studii [28] bylo 40 pacientů ve věku průměrně 35 let s cílem zhodnotit změnu akomodační facility a šíři před a po tréninku. Pacienti na sobě měli zařízení VR 15 minut, kdy jim byl promítán pohybující se objekt. Po zhlédnutí videa měli zavřít oči a 5 minut odpočívat. Tohle byla skupina takzvaných krátkodobě léčených pacientů. Druhá skupina dlouhodobě léčených, sestávala z 20 probandů, kde průměrný věk dosahoval 32 let. Tato skupina používala VR zařízení 15 minut až 4x denně a pauza mezi cvičením byla delší než 2 hodiny. Poté se měli dostavit na kontrolu do nemocnice po měsíci. Výsledky u dlouhodobě léčené skupiny vypovídaly o zlepšení akomodačního rozsahu.

Ovšem pokud trénink přesahoval dobu cvičení 30 minut, výrazně se projevila zraková únava, také se kontraproduktivně snížila akomodační šíře a facilitita. Na bázi těchto výsledků je možné se domnívat, že se oči dokážou přizpůsobit oční čočce a oddálit tak do jisté míry presbyopii. [28]

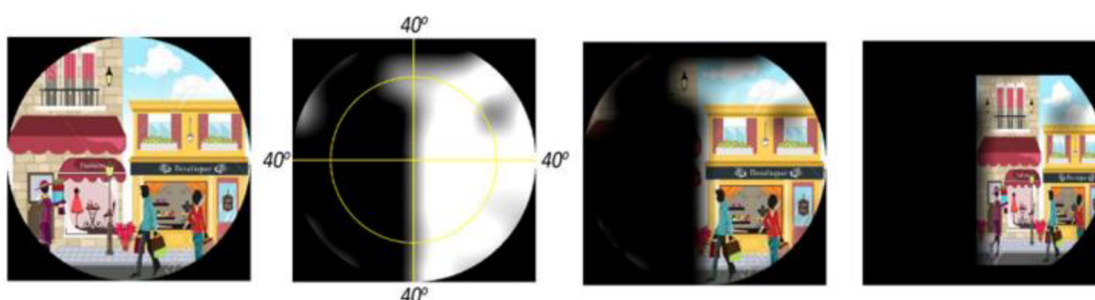
2.1.6 Rozšíření zorného pole

Zorné pole je určená část prostoru, kterou jsme schopni vnímat jedním okem bez změny směru pohledu. Dělíme ho na centrální, kdy je předmět zobrazen do fovea centralis, díky čemuž jsme schopni rozeznat tvar a detaily předmětů v naší fixované oblasti, místo nejostřejšího vidění nazýváme žlutou skvrnu. Druhým typem zorného pole je periferní, což je podstatnou částí pro orientaci v prostoru i vnímání pohybu. Dále můžeme zorné pole rozdělit na monokulární či binokulární. Rozsah zorného pole můžeme vymezit pomocí stupňů, a to 100° temporálně, 60° nasálně i směrem nahoru a 70° při pohledu dolů. Ovšem každé zorné pole je omezené individuálně, a to například anatomickou stavbou obličeje. [31]

Defekty v zorném poli mohou souviset s řadou různých onemocnění, a to především s glaukomem, věkem podmíněnou makulární degenerací, retinitis pigmentosa i třeba mrtvicí. Omezení zorného pole se projevuje u každého případu jiným způsobem, a to konkrétně jiným výpadkem zorného pole. Periferní ztrátou zorného pole trpí až 25 % pacientů, kteří nějakou ztrátu zorného pole mají. [31,32]

Existují headsety, díky kterým je schopen si pacient elektronicky upravit jas, kontrast, zoom, změna barev pro usnadnění čteného textu. Především jsou používány k elektronickému zvětšení obrázků či textů díky HMD nebo CCTV, což je uzavřený televizní kruh. Tuhle pomoc využívají především lidé trpící věkem podmíněnou makulární degenerací. Existují naopak i technologie nejen pro pomoc s centrálními defekty zorného pole, ale i periferními, které jsou zase naopak spojeny například s glaukomem. První takové počítačové zpracování bylo vynalezeno již v roce 1989 R. D. Judayem a D. S. Loshinem. [32]

Pomocí digitálních brýlí DSspecs, je možnost měření zorného pole a poté úprava profilu založeného na defektech zorného pole pacienta. Tato technologie je využívána především pro defekty v periferní části zorného pole klienta. Principem je změna velikosti a posunutí (přemapování) obrazu do zbývajícího funkčního zorného pole (Obr.7). Z tohoto hlediska je díky brýlím možné rozšíření zorného pole, identifikovat bezpečnostní rizika, což by pacienti nebyli schopni bez VR brýlí. Pozitivní dopad DSspec byl zaznamenán pro potencionální obnovení schopnosti vykonávat potřeby za vizuálně náročných činností. Nevýhodou těchto měření jsou cvičení založené na statických obrazech, což nekoresponduje v zásadě s běžným fungováním v životě. K tomu je potřeba využít přemístění obrazu pacientem v reálném čase. Pro obnovení povědomí o rizicích každodenního života, schopnost orientace je potřeba platformy rozšířené reality, která by byla i sociálně přijatelnější, už jen z hlediska financí, váhy apod. [32]



Obrázek 7: Princip vizuálního posunu u pacientů s defektem zorného pole. První obrázek zachycuje celistvý pohled tak, jak by ho viděl zdravý pacient. Na druhém obrázku je zobrazen deficit zorného pole pacienta a na třetím obrázku je vidět tento deficit přímo tak, jak ho vnímá pacient s poruchou části zorného pole. Na posledním obrázku je posunutý neboli přemapovaný obraz tak, aby jeho celá část byla promítnuta do zbývajícího zorného pole pacienta. [32]

2.2 Zrakové tréninky ve sportovní optometrii

Pro zrakový trénink sportovců je využívána VR formou různých cvičení a programů. Stále více je používána jako doplněk klasického tréninku, kde se sportovec dostane do bezpečného prostředí, a může tak zkusit věci, na které by za běžných podmínek neměl dostatek odvahy či prostředků. Takový trénink má

význam i pro tzv. „sportovní zrakový trénink“. Cílem těchto cvičení je zlepšit reakci na to, co jde vidět pomocí percepčních, okulomotorických i kognitivních tréninků, a tím zlepšit své dovednosti. I když je už VR používána ve sportovním odvětví delší dobu, díky novým technologiím dnes podstatně pokročila. Je známo, že vizuální odbornosti mohou vézt ke zdokonalení sportovních výsledků, a to jak odbornosti vrozené či získané například právě vizuálním tréninkem. Dříve byly tréninky na bázi analogových cvičení pro správnou okulomotoriku a měla cvičitele přimět konvergenci, akomodaci nebo sledovat cíl očima. Dnes jsou tyto tréninky absolvovány simulací VR. Nejdůležitější dovednosti, které se u sportovců ve VR trénují, aby se dosáhlo co nejlepšího sportovního výkonu, jsou dynamická zraková ostrost (viz níže), akomodace, periferní vidění, hloubkové vnímání, vizuální reakční doba, koordinace oko-ruka, vizuální paměť a vizualizace, zraková koncentrace. Některé technologie mají podobné charakteristiky pro přípravu na sportovní trénink, ale nejsou to přímo simulace VR. Jsou přístupy k tréninku komponentních dovedností, a to nízko úrovně vizuální nástroje pro základní vizuální dovednosti. Dále percepčně-kognitivní tréninkové nástroje pro vizuálně-kognitivní schopnosti. Jako další je trénování vizuálně motorických reakcí pro neuromuskulární funkce, které můžeme chápat jako přenos vzruchu z neuronu v těle do vlákna kosterního svalu. Také existují integrované senzomotorické baterie, které propojují všechny tyto ostatní mezi sebou. Je několik simulovaných sportovních tréninků, takzvané naturalistické, které neomezují tréninkový kontext na základní dovednosti, ale jsou zaměřovány na prostředí výkonu a možnou manipulaci v něm, což může urychlit schopnosti. Naturalistické tréninky jsou především simulace, které tvoří sportovní prostředí právě ve VR. Příkladem zařízení pro sportovní tréninky je Neurotrainer VR, kde sportovci plní dvojité úkoly, ty jsou zaměřené na pozornost uživatele i periferní vidění. [33,34]

Naturalistické tréninky ve VR jsou uplatněny v široké škále sportovních dovedností, jako je tenis, baseball, golf, také ve fotbale, kde je třeba trénovat rychlost reakční doby, vnímání hloubky, oční motilitu i akomodaci. VR dokáže hráčům vizualizovat tenisové míčky letící proti nim. Konkrétně podle studie z roku 2017 [35], kde byl zkoumán dopad tréninku ve VR na sportovní dovednosti v baseballu, bylo dokázáno zlepšení sportovních schopností po tréninku VR a sportovci vykazovali lepší statistiky odpalů, a to díky zlepšení

percepčně-motorických funkcí. Trénink zahrnoval rychlost a přesnost odpálení míčku a jako odpověď měli hráči sluchovou, hmatovou a samozřejmě vizuální odezvu o tom, jak byl jejich odpal úspěšný. [35,36]

Virtuální realita je také využívána pro tréninky střeleckých výkonů a obrazových dovedností. Dle studie [37], které se zúčastnilo 34 elitních sportovců, bylo prokázáno zlepšení u sportovců, kteří absolvovali trénink ve VR. Přestože počáteční reakce uživatelů byly poměrně negativní vzhledem k předsudkům, na konci byly odezvy naopak pozitivní a sportovci mohli využívat metodu ve VR pro zvýšení koncentrace před sportovním výkonem. Střelecké simulace jsou používány nejen pro sportovce, ale jsou hojně využívány i ve vojenském výcviku. Simulace mají za cíl zlepšit vizuální stránku, taktické i kognitivní funkce. [37,38] VR je uplatněna také v optometrii pro měření již zmíněné dynamické zrakové ostrosti. Dynamickou zrakovou ostrost lze definovat jako schopnost zaznamenat detaily zrakových objektů při jejich pohybu vůči pozorovateli. V běžném životě pozorujeme řadu věcí, které se pohybují, a proto má dynamická zraková ostrost význam pro náš každodenní život a především sportovní. Napomáhá například při odpalu míčů u různých sportů v odhadu dráhy, rychlosti i rotaci a vymyslet co nejideálnější rozhodnutí během několika vteřin. Virtuální realita je jednou z možností testu pro dynamickou zrakovou ostrost. Jedná se o pozorované pohybující se cíle v zorném poli a pacient předvídá pohyb cíle, interaktivně na něj reaguje a řeší ho. Existuje také druhý typ vyšetření, kdy pohybujícím se objektem je sám pacient a objekt je na stálém místě a aby pacient viděl stále fixní objekty, musí pohybovat hlavou. [39,40]

2.3 VR jako pomůcka pro slabozraké

Slabozrakost definujeme jako stav, kdy pacient má zrakovou ostrost s nejlepší korekcí nižší než 6/18. Jejich pomocníky jsou v dnešní době především lupy klasické či v digitální formě. VR slouží jako jedna z možností pro slabozraké pacienty jako řešení vizuální dostupnosti pro moderní zpravodajská média. Výhodou je, že si pacient při čtení může text přizpůsobit ve 3D prostředí dle jeho preferencí. Konkrétně si pacient může upravit velikost, typ písma, jas, a i dalších očních onemocnění. Nevýhodou většiny pomůcek pro slabozraké je, že

jsou buď omezené zorným polem, nebo naopak je zorné pole široké, ale pomůcku je nemožné přemísťovat. Naopak výhody VR jsou rozmanité. Z velké části je výhodou právě široké zorné pole, které je mezi 90 až 110 stupni. Další výhodou je mobilita. Pacient díky flexibilitě náhlavní soupravy může mít čtecí text kdekoli, který tak nemusí ležet pouze na rovném povrchu, s čímž také souvisí pohodlí. Pacient je schopen číst například vsedě, nemusí se naklánět k danému textu, a také není třeba řešit problematiku osvětlení. Prostředí VR je možno variabilně upravovat dle daných potřeb. Jedinou výhodou je také multifunkčnost, kdy náhlavní soupravy jsou dnes vybaveny dalšími možnostmi, jako například webovými prohlížeči, disponují online funkcemi i různými personalizovanými aplikacemi. Lze samozřejmě také prezentovat obrázky, zvuk, video i 3D obsah. Dostupnost VR je stále větší a tvoří tak ideální možnou pomůcku pro podporu individuálních potřeb pacienta. Příkladem několika dostupných VR zařízení pro slabozraké jsou Acesight VR, které je vyhrazeno pro zlepšení zraku slabozrakých pacientů. Pro zlepšení identifikace objektů pomáhá se zvětšením jejich okrajů a může dosahovat až 16násobného zvětšení. Tento systém je schopen rozšířit zorné pole ve všech směrech u pacientů s tunelovým viděním a napomáhat tak ke včasné detekci objektů. Dalším zařízením je například IrisVision, jež má pokročilé funkce jako například optické rozpoznávání znaků, hlasové příkazy apod. Používá se u pacientů s makulární degenerací, kataraktou, retinitis pigmentosa a atrofií optického nervu, pro zlepšení vizuálních informací. Podobným zařízením je také Nueyes e2+.

[41,42,43,44]

2.4 Studijní a diagnostické využití

Pro edukační i praktické dovednosti se dnes VR využívá velmi často. Slouží pro tréninky operací, kde si je lékař schopen několikrát opakovat zákroky, či zkoušet nové, třeba i ještě nevyzkoušené metody. Po edukační stránce se VR využívá pro diagnostiku různých patologií pomocí simulací. Také může být v oftalmologii použita pro screeningové metody. [45,46,47]

2.4.1 Simulace operací

Operace šedého zákalu je jeden z nejčastějších chirurgických zákroků v oftalmologii. Protože je potřeba preciznosti a odbornosti, je VR stále více využívána k nácviku operace pro bezpečnější učení. Díky simulacím operace ve VR je lékař schopen zkrátit dobu nácviku a vyhnout se komplikacím z hlediska operačních chyb. Učení pomocí VR bylo shledáno jako příhodné pro lepší operační výkon a rychlejší adaptace na reálné podmínky. Praktikant je tak představen před vizuální simulaci pacienta, která se snaží co nejpřesněji nastínit skutečnou danou situaci k umožnění nácviku zákroku. Metody nácviku jsou ve většině různé, a to z hlediska množství cvičení VR i délky zákroku. Systémy pro tréninky operací katarakty nabízí dnes vysokou přesnost vizuální i haptické interakce. Nevýhodou je například absence vizuální reality. Může to například ovlivnit rotační pohyby oka při určité síle či tlaku působícím na bulbus operačními nástroji. [45,46]

Dle několika studií, kterých se zúčastnily převážně postgraduální oftalmologové, bylo dosaženo kratšího času při realizaci operačního výkonu těmi, kteří absolvovali simulaci ve VR. Ve studiích byly srovnávané tréninky pomocí VR, mokré laboratoře a případy, kdy nebyly provozovány tréninky žádné. Některá hodnocení také poukazují na podstatný rozdíl praktikantů před a po výcviku VR. Ovšem výsledky studií poukazují na zlepšení operací pomocí VR v porovnání se školiteli bez doplňkového cvičení, ale ke zhodnocení celkových dopadů a výsledků pro přínos pomocí VR je potřeba větší množství striktnějších studií. Trénink ve VR obsahuje také takzvanou haptickou odezvu, což je podstatné pro získání a rozvoj psychomotorických dovedností. Poskytuje tak chirurgům dobrou přípravu díky hmatovým vjemům ve virtuálním prostředí. [45,47,48] Dle studie [49] dokonce přístroj EyeSi pro simulace a tréninky zákroků snížil komplikace u operací katarakt o 38 %, a tak se stal přínosem pro pacienty podstupující operaci katarakty i operující chirurgy. [45,47,48,49]

Byl také vyvinut program pro vitro retinální trénink na přístroji Eyesi. Vitroretinální chirurgie je typ operace vyžadující přesnost, preciznost a vysokou praxi daných dovedností. Pro to simulace tohoto tréninku ve VR je ideálním

způsobem zlepšit praktické dovednosti, jehož výhodou je neohrožení pacienta žádnými komplikacemi. Každá úroveň tohoto programu obsahovala nakonec hodnocení několika okolností, a to způsobem léčby tkáně, její účinnost, dosažení požadovaného cíle, také jakým způsobem lékař manipuloval s mikroskopem či s daným přístrojem. Maximum hodnocení za tyto faktory bylo 100 bodů. [47]

2.4.2 Výuka a diagnostika

S dnešními inovacemi je VR stále více využívána ve světě lékařského výcviku a vzdělávání. Kromě již zmíněných nácviků refrakčních chirurgií pomocí VR se objevila i v kombinaci s mobilní aplikací pro interaktivní získání informací v rámci výuky nebo školení již praktikujících lékařů. [47,50] Po stažení aplikace a seznámení se s ní si lékař vybere téma a možnosti předchystaných konkrétních patologií oka. Cílem je výuka správného diagnostikování oční patologie za konkrétní čas. Veškeré informace mohou být opakovány formou kvízu. [50]

VR nám může také sloužit nejen k diagnostice očních patologií, ale i k simulaci příznaků a potíží pacienta, pokud ho dané oční onemocnění postihuje. Lékař tedy vidí nejen simulaci patologického snímku např. očního pozadí, ale je schopen si představit a vidět problémy pacienta s daným očním onemocněním. Tato simulace může být nápomocnou jak z hlediska pohledu lékaře na popis subjektivních pocitů pacienta a rozpoznat je pro správnou diagnostiku, tak i pro představu každého jedince a možnost empaticky tuhle situaci zvládat. Naopak může i konkrétně daného pacienta motivovat k dodržování lékařských doporučení a uvědomit si závažnost svého onemocnění. K tomu slouží například program VRMedLab, který dané oční onemocnění nastíní a uživatel si tak může vyzkoušet, jak se nemocný cítí, jaké potíže ho obklopují, či jaké omezení zažívá v každodenním životě. Pro studijní tréninky se dnes hojně využívá již zmíněný simulátor EyeSi. Studenti i praktičtí lékaři jsou na něm schopni vyzkoušet několik situací, zlepšit své dovednosti i praktiky a rozšířit tak rozvoj v jejich praxi. [50,51,52]

VR slouží nejen jako diagnostický přístroj, ale má funkci i screeningu v oftalmologii. Velké využití má například ve funkci virtuální perimetrie. Díky

posuzování našeho zorného pole je možno zjistit řadu informací, včetně očních nemocí, které zúžené zorné pole provázejí. Perimetrie je standardizovaná metoda, která nám tento rozsah umožní prozkoumat. V současné době se začaly používat náhlavní soustavy VR jako alternativní způsob pro měření rozsahu zorného pole pacienta, a to jak kinetické, tak i statické perimetrie. Užívá se k tomu například DSpecs, Humphrey VF SAP, nebo také Vivid Vision, a to konkrétně Vivid Vision Perimetry, který je schopen změřit i tloušťku nervových vláken zrakového nervu. Výsledky vyšetření zorného pole pomocí Vivid Vision Perimetry se ukazují být srovnatelné se standardizovanými metodami a díky možnosti sdílení dat s lékařem na dálku je možno sledovat progresi jakéhokoli onemocnění spojeného se ztrátou zorného pole, např. u glaukomu. [32,53]

Díky VR je možný i screening barevného vidění. Roku 2021 byla zahájena studie sledující možnosti aplikace VR-test ViKi pro testování barevného vidění [54]. Zde se využívalo testů Ishihara ve formě VR. Tyto testy byly možné dostat do pohybu, a tak zvýšit pacientovu soustředěnost i náročnost testu. Pacient měl za úkol přečíst daný obrazec, jako u klasických Ishihara testů. Jednou z výhod testování pomocí VR je to, že nedochází ke ztrátě či zhoršení validity barevných vzorků a je také možnost kontrolovat dané osvětlení při provádění testu. [54,55]

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit obecný přehled o použití virtuální reality v očním lékařství a v optometrii., První kapitola byla zaměřena na historii, princip a fungování virtuální reality.

Druhá kapitola byla věnována přehledu aplikace VR, který začíná léčebným využitím. Z hlediska využití v léčbě je v současné době největší téma aplikace VR pro diagnostiku a léčbu amblyopie. Technologie VR je také dobře využitelná v terapii insuficience konvergence, snížení kontrastní citlivosti, akomodační dysfunkci a také při defektech zorného pole.

Další část pojednává o zrakových cvičení pro sportovní optometrii, kde je využíváno sledování rychlosti reakční doby, vnímání hloubky, akomodace a další aspekty, které souvisí s jejich dovednostmi.

Čtenář se dále dozví o možnostech pomůcek ve formě virtuální reality pro slabozraké pacienty, které je v dnešní době pomůckou pro běžné fungování. Technologie se vyznačují velikým zvětšením a pacient je schopen systém využívat do dálky i do blízka.

Jako poslední se práce zaměřuje na diagnostiku. Dnes se využívá různých simulací pro pochopení a představení oční patologie či příznaků pacienta pro snadnější a rychlejší možnost rozpoznání očního onemocnění. Tím slouží virtuální reality jako edukační přístroj finančně přístupný. Jedním z edukačních procesů jsou také tréninky operací díky simulacím. Lékaři jsou tak schopni si vyzkoušet techniky bez ohrožení pacienta. Jako poslední je zmíněna možnost screeningu, především je využíván screening zorného pole a barevného vidění.

Virtuální realita je inovativní možnost, která je a bude stále více využívána. V kombinaci s budoucností telemedicíny a přenosného virtuálního systému je možné se zdokonalit ve screeningových možnostech pro pacienty a docílit tak více kontrolovaných onemocnění, nebo jim také předejít. Je také zábavnou možností, díky kterým jsou tréninky zábavné nejen pro děti, ale i pro dospělé.

Zdroje

- 1) Aukstakalnis S, Blatner D. Reálně o virtuální realitě. Brno: Jota; 1994.
- 2) Fuchs P, Moreau G, Guitton P. Virtual Reality: Concepts and Technologies. Boca Raton: CRC Press; 2011.
- 3) Mazuryk T, Gervautz M. History, applications, technology and future. Virtual reality. 1996;72(4),486-497
- 4) Zheng JM, Chan KW, Gibson I. Virtual reality. IEEE Potentials. 1998;17(2):20-23. doi:10.1109/45.666641
- 5) Bhardwaj A, Bhardwaj M, Gaur A. Virtual reality:an overwiev. International Journal of Scientific and Technical Advancements. 2016;2(4),159-164
- 6) Shibata T. Head mounted display. Displays. 2002;23(1-2):57-64. doi:10.1016/s0141-9382(02)00010-0
- 7) Sherman WR, Craig AB. Understanding Virtual Reality. Massachusetts: Morgan Kaufmann; 2003.
- 8) Ambrosio AP, Fidalgo MIR. Past, present and future of Virtual Reality: Analysis of its technological variables and definitions. Culture & History Digital Journal. 2020;9(1):010. doi:10.3989/chdj.2020.010
- 9) Balkó Š, Heidler J, Edl T. Virtual reality within the areas of sport and health. Wielkopolska Digital Library. Dostupné z: <https://www.wbc.poznan.pl/dlibra/publication/550117/edition/457166/content>
- 10) Katz L, Parker JR, Tyreman H, et al. Virtual Reality in Sport and Wellness: Promise and Reality. ResearchGate. Published January 1, 2006. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/256408106_Virtual_Reality_in_Sport_and_Wellness_Promise_and_Reality
- 11) Paranandi M, Sarawgi T. Virtual Reality on Architecture: Enabling Possibilities. Published 2002. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/Virtual-Reality-on-Architecture%3A-Enabling-Paranandi-Sarawgi/ce11482a6b34f1cd77d9cb41b896474a9f4faa6b#citing-papers>

- 12) Weiss PL, Katz N. The potential of virtual reality for rehabilitation. *J Rehabil Res Dev.* 2004;41(5):vii-x.
- 13) [VR Vitalis. VR Vitalis Pro® - Rehabilitace ve virtuální realitě. https://vrvitalis.cz/](https://vrvitalis.cz/)
- 14) Shao W, Niu Y, Wang S, et al. Effects of virtual reality on the treatment of amblyopia children; A systematic review and meta-analysis. *J Pediatr Nurs.* 2023;72:106-112. doi:10.1016/j.pedn.2023.07.014
- 15) Chan HS, Tang YM, Do CW, Ho Yin Wong H, Chan LY, To S. Design and assessment of amblyopia, strabismus, and myopia treatment and vision training using virtual reality. *Digit Health.* 2023;9:20552076231176638. Published 2023 Jun 6. doi:10.1177/20552076231176638
- 16) Heissegerová J, a kol. *Oftalmologie: pro pregraduální i postgraduální přípravu. 2 aktualizované a doplněné vydání.* Praha: Maxdorf. 2021
- 17) What is Dichoptic Training? Vivid Vision. <https://www.seevidly.com/info/Lazy Eye Treatments/Dichoptic Training>
- 18) Lazy Eye Treatment. Vivid Vision. <https://www.seevidly.com/info/Lazy Eye Treatments>
- 19) Konzultace s Bc. Erikem Sahatqia, oční klinika Uvea, Martin (únor-duben 2024)
- 20) Leal-Vega L, Piñero DP, Rodríguez CJH, et al. Study protocol for a randomized controlled trial of the NEIVATECH virtual reality system to improve visual function in children with anisometropic amblyopia. *BMC Ophthalmology.* 2022;22(1). doi:10.1186/s12886-022-02466-z
- 21) Molina-Martín A, Leal-Vega L, de Fez D, Martínez-Plaza E, Coco-Martín MB, Piñero DP. Amblyopia Treatment through Immersive Virtual Reality: A Preliminary Experience in Anisometropic Children. *Vision (Basel).* 2023;7(2):42. Published 2023 May 19. doi:10.3390/vision7020042
- 22) Perez-Benito M, De Merida H. Evaluation of Amblyopia Protocols Using a Dichoptic Gabor Videogame Program. *ichgcp.net.* Published November 20, 2023. Dostupné z: <https://ichgcp.net/clinical-trials-registry/NCT06150391>

- 23) Backus BT, Tran T, Blaha J. Clinical use of the Vivid Vision system to treat disorders of binocular vision. 2017. dostupné z: https://www.eyesontherapy.com/storage/app/media/Copy_of_Vivid_Vision_White_Paper_-_Clinical_Use.pdf
- 24) Vedamurthy I, Knill DC, Huang SJ, et al. Recovering stereo vision by squashing virtual bugs in a virtual reality environment. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2016;371(1697):20150264. doi:10.1098/rstb.2015.0264
- 25) Pluháček F. Fyziologická optika: Kontrastní citlivost. Výukové materiály k předmětu Fyziologická optika. Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Olomouc;2021.
- 26) Li J, Spiegel DP, Hess RF, et al. Dichoptic training improves contrast sensitivity in adults with amblyopia. *Vision Res.* 2015;114:161-172. doi:10.1016/j.visres.2015.01.017
- 27) Boon MY, Asper LJ, Chik P, Alagiah P, Ryan M. Treatment and compliance with virtual reality and anaglyph-based training programs for convergence insufficiency. *Clin Exp Optom.* 2020;103(6):870-876. doi:10.1111/cxo.13057
- 28) Li S, Tang A, Yang B, Wang J, Liu L. Virtual reality-based vision therapy versus OBVAT in the treatment of convergence insufficiency, accommodative dysfunction: a pilot randomized controlled trial. *BMC Ophthalmol.* 2022;22(1):182. Published 2022 Apr 21. doi:10.1186/s12886-022-02393-z
- 29) What is Vision Therapy? Vivid Vision. https://www.seevidly.com/info/Lazy_Eye_Treatments/Optometric_Vision_Therapy
- 30) The Chicken has Flown the Coop! Check out our newest game, Barnyard Bounce! Vivid Vision. Dostupné z: https://www.seevidly.com/blog/160/The_Chicken_has_Flown_the_Coop_Check_out_our_newest_game_Barnyard_Bounce
- 31) Pluháček F. Fyziologická optika: Zorné pole. Výukové materiály k předmětu Fyziologická optika. Katedra optiky přírodovědecké fakulty Univerzity palackého v Olomouci. Olomouc;2021.

- 32) Sayed AM, Abdel-Mottaleb M, Kashem R, et al. Expansion of Peripheral Visual Field with Novel Virtual Reality Digital Spectacles. *Am J Ophthalmol.* 2020;210:125-135. doi:10.1016/j.ajo.2019.10.006
- 33) Appelbaum LG, Erickson G. Sports vision training: A review of the state-of-the-art in digital training techniques. *International Review of Sport and Exercise Psychology.* 2016;11(1):160-189. doi:10.1080/1750984x.2016.1266376
- 34) Russ. What is Sports Vision? - Optometrists.org. Optometrists.org. Published August 10, 2021. Dostupné z: <https://www.optometrists.org/general-practice-optometry/guide-to-sports-vision/what-is-sports-vision/>
- 35) Gray R. Transfer of Training from Virtual to Real Baseball Batting. *Frontiers in Psychology.* 2017;8. doi:10.3389/fpsyg.2017.02183
- 36) Gray R. Virtual environments and their role in developing perceptual-cognitive skills in sports. *Anticipation and Decision in Sport.* Published online February 12, 2019;342-358. doi:10.4324/9781315146270-19
- 37) Bedir D, Erhan SE. The Effect of Virtual Reality Technology on the Imagery Skills and Performance of Target-Based Sports Athletes. *Frontiers in Psychology.* 2021;11. doi:10.3389/fpsyg.2020.02073
- 38) Sudiarno A, Dewi RS, Widyaningrum R, et al. Analysis of Human Performance and Potential Application of Virtual Reality (VR) Shooting Games as a Shooting Training Simulator for Military Personnel. *International Journal of Technology: IJ Tech.* 2024;15(1):87. doi:10.14716/ijtech.v15i1.5303
- 39) Wu TY, Wang YX, Li XM. Applications of dynamic visual acuity test in clinical ophthalmology. *International Journal of Ophthalmology.* 2021;14(11):1771-1778. doi:10.18240/ijo.2021.11.18
- 40) Erdinest N, London N. Dynamic visual acuity and methods of measurement. *Journal of Optometry.* 2022;15(3):247-248. doi:10.1016/j.optom.2021.06.003
- 41) Wu HY, Calabrèse A, Kornprobst P. Towards accessible news reading design in virtual reality for low vision. *Multimedia Tools and Applications.* 2021;80(18):27259-27278. doi:10.1007/s11042-021-10899-

- 42) Hoppe AH, Anken JK, Schwarz T, et al. CLEVR: A Customizable Interactive Learning Environment for Users with Low Vision in Virtual Reality. Proceedings of the 22nd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility. Published online October 26, 2020. doi:10.1145/3373625.3418009
- 43) What's the Difference Between AR and VR Low-vision Electronic Glasses (E-glasses)? Zoomax. Dostupné z: <https://www.zoomax.com/low-vision-information/whats-the-difference-between-ar-and-vr-low-vision-electronic-glasses-e-glasses/>
- 44) Xu D, Yu M, Zheng C, et al. The effects of an electronic head-mounted display in vision rehabilitation for patients with tunnel vision. *International Ophthalmology*. 2024;44(1). doi:10.1007/s10792-024-02974-5
- 45) Belyea DA, Brown SE, Rajjoub LZ. Influence of surgery simulator training on ophthalmology resident phacoemulsification performance. *J Cataract Refract Surg*. 2011;37(10):1756-1761. doi:10.1016/j.jcrs.2011.04.032
- 46) Lin JC, Yu Z, Scott IU, Greenberg PB. Virtual reality training for cataract surgery operating performance in ophthalmology trainees. *Cochrane Database Syst Rev*. 2021;12(12):CD014953. Published 2021 Dec 21. doi:10.1002/14651858.CD014953.pub2
- 47) Khalifa YM, Bogorad D, Gibson V, Peifer J, Nussbaum J. Virtual reality in ophthalmology training. *Surv Ophthalmol*. 2006;51(3):259-273. doi:10.1016/j.survophthal.2006.02.005
- 48) Van der Meijden OA, Schijven MP. The value of haptic feedback in conventional and robot-assisted minimal invasive surgery and virtual reality training: a current review. *Surgical Endoscopy*. 2009;23(6):1180-1190. doi:10.1007/s00464-008-0298-x
- 49) Ferris JD, Donachie PH, Johnston RL, et al. The impact of EyeSi virtual reality training on complications rates of cataract surgery performed by first and second year trainees. *Br J Ophthalmol*. 2020;104(3):324-329. doi:10.1136/bjophthalmol-2018-313817

- 50) Ai Z, Gupta BK, Rasmussen M, et al. Simulation of eye diseases in virtual environment. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences. 2000. doi: 10.1109/hicss.2000.926803
- 51) Jin B, Ai Z, Rasmussen M. Simulation of eye disease in virtual reality. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2005;2005:5128-5131. doi:10.1109/IEMBS.2005.1615631
- 52) Ali SG, Wang X, Li P, et al. A systematic review: Virtual-reality-based techniques for human exercises and health improvement. Frontiers in public health. 2023;11. doi:10.3389/fpubh.2023.1143947
- 53) Chia ZK, Kong AW, Turner ML, et al. Comparison of virtual reality-based visual field test to conventional perimetry and OCT. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 63(7), 3103-3103. 2022
- 54) Cárdenas-Delgado S, Loachamín-Valencia M, Rodríguez-Reyes B. VR-test ViKi: VR Test with Visual and Kinesthetic Stimulation for Assessment Color Vision Deficiencies in Adults. Smart Innovation, Systems and Technologies. Published online October 29, 2021:295-305. doi:10.1007/978-981-16-4884-7_24
- 55) Cwierz H, Diaz-Barrancas F, Llinas JG, Pardo PJ. On the Validity of Virtual Reality Applications for Professional Use: A Case Study on Color Vision Research and Diagnosis. IEEE Access. 2021;9:138215-138224. doi:10.1109/access.2021.3118438