

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI
KATEDRA OPTIKY

**VLIV POHYBOVÉ AKTIVITY
NA AKOMODAČNĚ-VERGENČNÍ SYSTÉM**

Diplomová práce

VYPRACOVALA:

Bc. Nicole Jírovská

Obor 5345R008 OPTOMETRIE

Studijní rok: 2014/2015

VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE:

RNDr. Mgr. František Pluháček, Ph.D.

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vliv pohybové aktivity na akomodačně-vergenční systém vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Mgr. Františka Pluháčka, Ph.D. a za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci dne 22.4.2015

.....

podpis

Poděkování:

Chtěla bych velmi poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu RNDr. Mgr. Františkovi Pluháčkovi, Ph.D za trpělivé vedení a za podnětné rady, které mi udělil. Také všem figurantům, kteří se zúčastnili měření pro účely výzkumu. Především bych chtěla poděkovat Bc. Martině Šimové, mé největší opoře

Obsah

Úvod.....	5
I. Teoretická část.....	6
1. Pohybová aktivita	6
1.2. Význam pohybové aktivity	6
1.3. Dělení pohybové aktivity dle typu	7
1.4. Dělení pohybové aktivity dle zátěže	9
2. Fyziologie tělesné zátěže	11
2.1. Stavba kosterní svaloviny	11
2.2. Dělení kosterních vláken dle typu	13
2.3. Svalový metabolismus.....	14
2.4. Transportní systém	16
2.5. Adaptace organismu na dlouhodobou zátěž	20
3. Anatomie a fyziologie očních svalů.....	21
3.1. Okohybné svaly	21
3.2. Duhovka	22
3.3. Řasnaté těleso.....	23
3.4. Čočka	23
3.5. Stavba očních svalů	24
4. Akomodačně – vergenční systém	26
4.1. Fyziologie binokulárního vidění	27
4.2. Konvergence.....	28
4.3 Akomodace	29
5. Vliv sportu na oko.....	35
II. Praktická část	37
6. Studie	37
6.1. Soubor a metodika	37
6.2. Rozbor výsledků	40
6.3. Diskuse	45
Závěr	47

Úvod

Již při psaní bakalářské práce na téma Zraková únava z roku 2013 jsem se pozastavovala nad faktem, že studie zabývající se vlivem tělesné a psychické zátěže na oko nepřinášejí jednoznačné výsledky.

Pohybová aktivita se týká každého jedince, ať se jedná o dítě, či dospělého, netrénovaného jedince nebo vrcholového sportovce. Oko neslouží pouze jako smyslový orgán, ale také je nástrojem pomáhající s koordinací pohybů a orientaci v prostoru. Prostorový vjem je však závislý především na plynulé souhře obou očí a vyvinutém binokulárním vidění, které je základem pro stereopsi. Dochází také k binokulární sumaci vjemů z obou očí, čímž se zlepšuje kontrastní citlivost, zraková ostrost, zvětšuje se zorné pole. Dalo by se zjednodušeně říci, že dvě oči vidí víc než jedno. Ačkoli jakákoli abnormalita, ať se jedná o vysokou refrakční vadu, nedostatečně vyvinutou souhru akomodace a konvergence, či heteroforii nemusí působit problémy v klidovém stavu, mohou tyto vady urychlit zhroucení reflexů, které udržují jednoduché binokulární vidění, pokud je organismus vystaven navíc ještě výrazné fyzické či psychické zátěži.

Teoretická část této práce se nejprve zabývá vymezením pojmu pohybová aktivita, jejímu významu a dělení. Dále je rozvedena fyziologie tělesné zátěže, rozbor struktury svalů a mechanismu transportu živin v těle. Další kapitola je věnována akomodačně-vergenčnímu systému, který je základem pro binokulární vidění a vybraným možnostem analýzy akomodace a konvergence. Jsou zde uvedeny i normální hodnoty, které se využívají k hodnocení stavu tohoto systému. Poslední kapitola teoretické části je věnována vlivu vybraných zátěžových sportovních aktivit na oko.

Praktická část je věnována experimentálnímu měření vlivu krátkodobé pohybové aktivity na akomodačně-vergenční systém. Je popsána metodika experimentu a výsledky měření. Diskuze je zamyšlením nad příčinami změn akomodace a konvergence a zhodnocením klinické validity výzkumu.

I. Teoretická část

1. Pohybová aktivita

Pohybová aktivita nás provází při veškerých činnostech. Obecně má význam jakéhokoli aktivního chování systému, přičemž přívlastek pohybová určuje převládající význam pohybové stránky. Bývá též charakterizována jako soubor činností, realizovaný kosterním pohybovým aparátem, jehož činnost je podmíněna energetickým výdejem. Může také být charakterizována jako soubor činností vedoucí k uspokojování lidských potřeb, kam patří také potřeba pohybu. [1]

Pohybová aktivita prováděná člověkem má však na rozdíl od zvířat své charakteristické rysy. Především pohybová aktivita člověka je podložena inteligencí, kterou využívá k propojení a plánování pohybů. Využívá imaginace pro vytváření a realizaci složitých aktivit. Také je aktivita založena eticky a esteticky, jelikož lidé jsou bytostí spirituální a mají vyvinutý morální a estetické cítění, mohou tyto potřeby projevit pohybem. Pohyb v tomto slova smyslu může reprezentovat hluboké komplexní city. Mimo jiné je lidská pohybová aktivita mimořádně flexibilní a adaptabilní, jelikož anatomie lidského těla je uzpůsobena k velice specifickým, až unikátním kombinacím pohybů. Oproti zvířatům lidé mají možnost přesné manipulace končetin a velmi dobrý předpoklad pro orientaci v prostoru díky stereoskopickému vidění. Nemalou roli hraje u lidí cvičení a praxe. Jsou schopni zvyšovat svou hybnost a výkonnost, jelikož inteligence umožňuje využívat cvičení při vědomém rozšiřování dovedností. [1]

1.2. Význam pohybové aktivity

Pohyb je úzce spjat se všemi funkcemi lidského těla. Po celé generace se organismus člověka vyvíjel za velmi náročných podmínek a těm se přizpůsoboval. Stylu života jsou přizpůsobeny i životní funkce. Geneticky jsou fyziologické předpoklady zakódovány po statisíce let, avšak způsob života se rapidně změnil od pravěku. Díky technickému pokroku započatému průmyslovou revolucí dochází k výraznému snižování míry přirozené pohybové aktivity. Převážná část populace vyspělých zemí tráví svůj život sedavým způsobem, aniž by měnily způsob a míru přísunu energie, což způsobuje nerovnováhu, která vede až poruchám, které se nazývají „civilizační nemoci“. Jedná se o plošná neinfekční onemocnění, které se

stávají problémem značné části soudobé populace. Hovoří se až o pandemii obezity, cukrovky II. typu, onemocnění srdce, infarktu, mozkové příhody. Zdá se, že význam pohybové aktivity se posouvá i na úroveň zdravotní prevence. [1,2]

Nejedná se však pouze o dlouhodobý efekt pohybové aktivity v lidském životě, ale také o příjemné pocity, které provázejí pohyb. Ty jsou důsledkem vyplavování hormonů endorfinů do krve, které působí analgeticky. Zlepšují náladu a přináší až uspokojivé pocity z pohybu, napomáhají k uvolňování stresu a vnitřního napětí. Pohybová aktivita má také faktor sociální, přispívá k utužování kolektivů a většinou se provádí v příjemném prostředí, čímž získává až kulturně-spirituální rozměr. [1]

1.3. Dělení pohybové aktivity dle typu

Pohybovou aktivitu můžeme dělit mnoha způsoby dle různých faktorů. Dle publikace Pohybové dovednosti, činnosti, výkony ji můžeme obecně rozdělit na pohybovou aktivitu globální a parciální. [1]

Globální aktivitou chápeme soubor všech pohybových aktivit a veškerého pohybového jednání v delším časovém období. Především se pohybová aktivita vyznačuje svou periodičností, kdy se střídají období aktivity v bdělosti s obdobími klidu ve spánku. Evolučně se tak vyvinul denní, neboli cirkadiánní rytmus, který trvá 24 hodin a projevuje se nejen na pohybové aktivitě, ale i na fyziologických funkcích celého těla. Dále můžeme sledovat rytmus celoroční, tzv. cirkanaální, který se vyznačuje přirozeným snížením pohybové aktivity v zimě a v létě se naopak zvyšuje. [1]

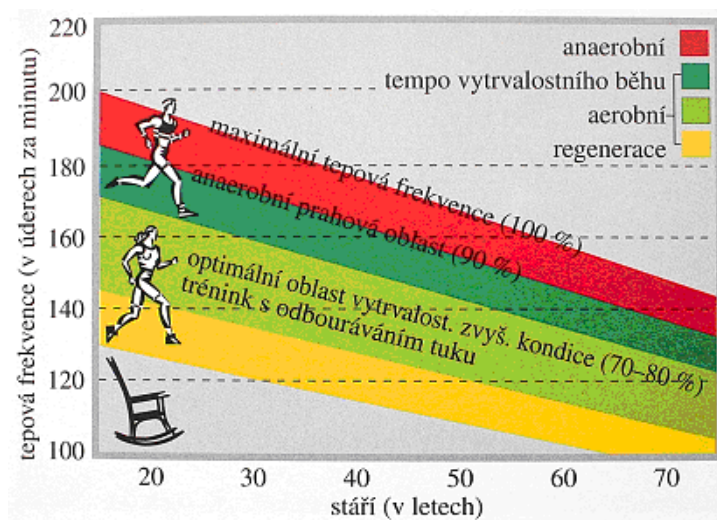
Globální pohybovou aktivitu můžeme dlouhodobě vhodně charakterizovat pomocí denního energetického výdeje v přepočtu na 1kg hmotnosti. Také průměrný počet kroků za den se stal významným ukazatelem a měřítkem periodické pohybové aktivity. [1]

Zabýváme-li se jednotlivými činnostmi v užším slova smyslu, jde o pohybovou aktivitu parciální. Ať už je hodnocen pohyb, jako jsou sportovní hry, či o pohybové aktivity relativně homogenní, např. běh, jedná se o soubor pohybových aktů, které jsou cílené na dosažení konkrétního výsledku. Pokud se posuzují každodenní aktivity, které uspokojují základní životní potřeby, jedná se o pohybovou činnost nespportovní a nepracovní, u kterých převládá mírná zátěž, která však udržuje pohybový aparát v jistém stavu aktivace. Pokud je

člověk dlouhodobě neaktivní, dochází k ochabování nejen svalstva, ale ke snížení podnětů, které stimulují motoriku. Jako inaktivita se hodnotí také veškeré aktivity v sedě, jako četba, nebo sledování televize. Každodenní běžná aktivita se vyznačuje svou účelovostí, technicky správným provedením, aby nedocházelo k nadměrné únavě, také bezpečností a estetikou prováděných pohybů. Dále vymezujeme pohybové aktivity pracovní, sloužící k vytváření hmotných statků, vykonávaných v zaměstnání. Jen málo soudobých profesí je zatíženo hrubými motorickými pohyby, které vyžadují velkou fyzickou zdatnost. Pracovní podmínky ve vyspělých zemích se zaměřují zejména na práci s jemnou motorikou a především myšlenkovými pochody. U těchto zaměstnání může docházet spíše k pracovnímu nevyužití a pracovníky může ohrožovat hypokinéza. U pracovních činností se jako jednotka udává jedna směna, či pracovní doba. [1]

Zvláštní formou pohybové aktivity je tělocvičná a sportovní aktivita. U tělocvičné aktivity dochází především k fyzickému a psychickému rozvoji. U sportovní aktivity je spíše zájmová a výběrová dle predispozic jedince. Při těchto aktivitách bývá intenzita zátěže vyšší oproti rekreačním pohybovým aktivitám, které jsou prostředkem aktivního odpočinku. Jedná se o souhrn aktivit sloužících k relaxaci a regeneraci s nízkou intenzitou zátěže. [1]

Mimořádný význam pro zdraví a zdatnost mají cyklické lokomoční aktivity, které spadají do všech výše uvedených typů aktivit. Jedná se především o chůzi, běh, případně jízdu na kole a plavání. [1]



Obr 1. Optimální tepová frekvence pro různý věk [3]

1.4. Dělení pohybové aktivity dle zátěže

Pohybovou aktivitu můžeme charakterizovat intenzitou, která je závislá na druhu a frekvenci činnosti, trénovanosti jedince a délky trvání aktivity. Jedním z nejvýznamnějších ukazatelů intenzity zátěže je srdeční, respektive tepová frekvence, která poměrně přesně odráží stav a míru zatížení organismu. Rozdělení a stanovení optimální intenzity se stanovuje pomocí dosažené srdeční frekvence (SF), která by se měla pohybovat mezi 65 - 85 % maximální kapacity. Hodnota maximální kapacity srdeční frekvence však závisí na věku.

Jednoduše se vypočítává pomocí vzorce $SF_{max} = 220 - věk [roky]$. [1,3]

Dalším faktorem, dle kterého můžeme porovnávat pohybové aktivity je kritérium METs, neboli metoda srovnání metabolických ekvivalentů. Jeden MET představuje množství kyslíku spotřebované organismem v nečinném stavu za jednu minutu, asi $3,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, což odpovídá přibližně jedné kilokalorii na jeden kilogram hmotnosti za jednu hodinu ($\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$). Dle tohoto kritéria mohou být stanoveny i tabulkové hodnoty pro intenzitu zátěže, která se dělí na intenzitu

- nízkou < 3 METs nebo < $4 \text{ kcal} \cdot \text{min}^{-1}$
- střední 3,0-6,0 METs nebo 4-7 $\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$
- vysokou > 6 METs nebo > 7 $\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$



Obr. 2. Typy pohybových aktivit v jednotkách METs. [36, upraveno]

Hranice 6 METs je obecně bráno jako kritérium fyzicky náročné aktivity. Tato hodnota odpovídá asi 60% maximální kapacity většiny populace. V následujících tabulce jsou uvedeny příklady vybraných aktivit v hodnotách METs. [8,9]

Aktivita	Specifikace	METs
Běžná, každodenní	Umývání nádobí, vaření	2,3
	Leštění podlahy, čistění oken	3,7
	Štípání dřeva	6,7
Pracovní	Práce malíře pokojů	4,1
	Práce kopáče	6,2
Tělocvičná	Tanec	3-5
	Posilování s činkami	6,0
Sportovní	Golf	3,1
	Basketbal	8,0
	Sportovní potápění	12,5
Lokomotorická	Chůze procházková (4 km/h)	3,0
	Chůze do schodů	8,0
	Běh po rovině (10 km/h)	10,0
	Plavání prsa, obecně	10,0
	Cyklistika (24,0 km/h)	12,0

Tab. 1. Přehled pohybových aktivit v jednotkách METs. [1, upraveno]

2. Fyziologie tělesné zátěže

2.1. Stavba kosterní svaloviny

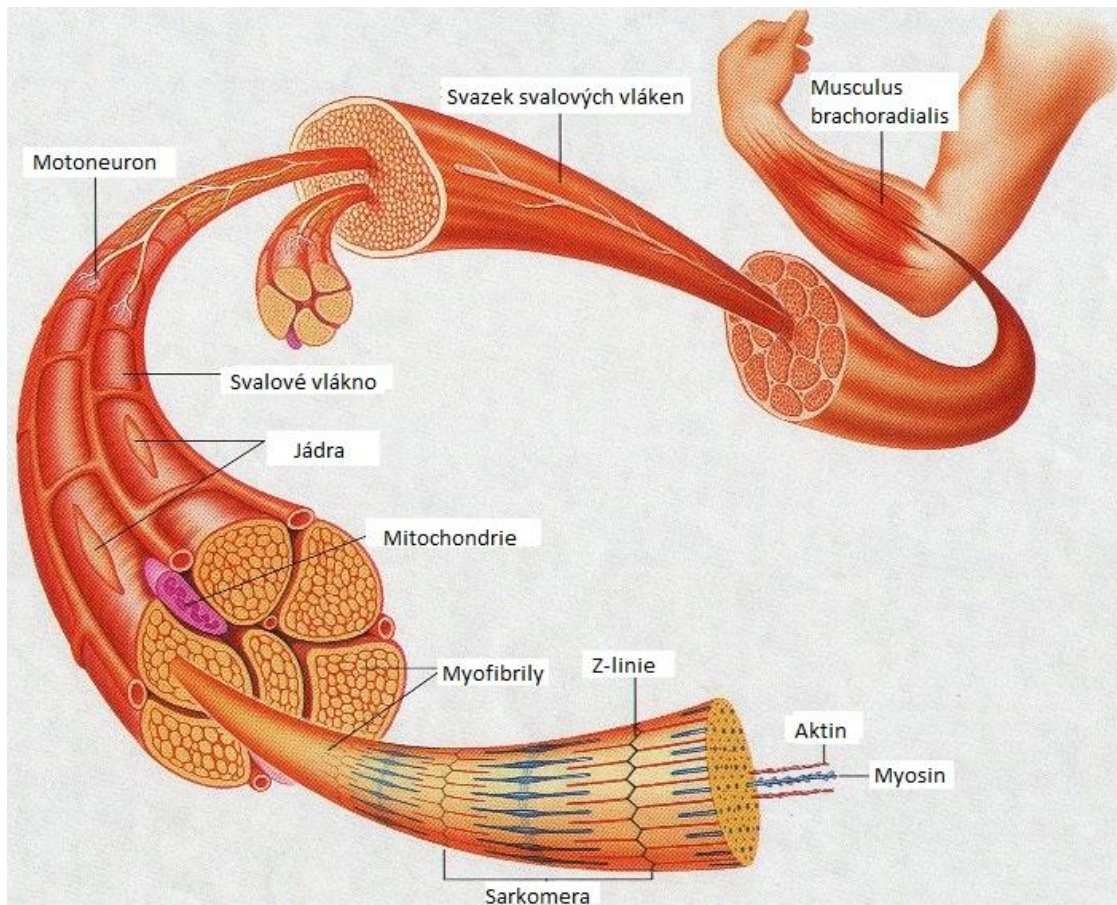
Příčně pruhovaná svalovina tvoří cca 25-35% tělesné hmotnosti u žen, zatímco u mužů je to 40-45%. [4] Hlavním úkolem kosterní svaloviny je její silové působení na kostru. Základní jednotkou příčně pruhované svaloviny je svalová buňka neboli svalové vlákno. Jeho průměrná tloušťka je 10-100 μm a jeho délka od 0,5 do 20cm. [5] Délka jednotlivých svalových vláken odpovídá délce svalu. V jednotlivých vláknech se nachází zakončení rozvětveného nervového vlákna a cév. [1,6]

Vlákna jsou složena z 20% bílkovin a asi 75% vody. [4] Zbytek hmotnosti tvoří tuky, anorganické soli, sacharidy a pigment. Svalové vlákno se skládá kromě desítek jader a organel především z myofibril. Tato podélně uložená vlákénka procházející svalovým vláknem a jsou silná 1-2 μm . [5]

Základní jednotkou myofibrily je sakromera. V jednom průměrném vlákně je jich asi 5000 [4]. Obsahuje základní složky myozin a aktin. Jsou to kontraktilní bílkoviny, pomocí kterých se sval zkracuje a vytváří tah, jehož důsledkem je pohyb. Ve svalovém vlákně převažují aktiny v poměru asi 4:1 až 6:1. [5] V klidu zachovává sval, díky svému složení určitý stupeň aktivity, který se nazývá svalový tonus. Toto napětí zaručuje připravenost svalu a klesá ve spánku, bezvědomí či narkóze. Kosterní svalovina se také dokáže extrémně natáhnout a následně vracet do své původní délky. Tato vlastnost se nazývá pružnost.[4,5,6]

Kosterní svalovina je inervovaná svazkem nervových vláken složeným z vláken motorických, senzitivních a autonomních. Motorická vlákna vychází z buněk uložených v míše či mozkovém kmeni, tzv. motoneurony. Tato nervová vlákna končí na povrchu svalových vláken v podobě motorické ploténky a vedou impulzy ke stahu. Každé nervové vlákno spolu s příslušnými inervovanými svalovými vlákny tvoří celek, motorickou jednotku inervovanou jedním motoneuronem. Podle přesnosti pohybu, který sval vykonává, se liší velikost motorické jednotky. U svalů, vykonávajících hrubé pohyby, jako je např. lýtkový sval, čítá motorická jednotka až 2000 svalových vláken. Naopak u svalů s jemnou motorikou jako jsou především okohybné svaly, jsou motorické jednotky malé o 6 svalových vláknech.[5]

Informace o stupni kontrakce a napětí svalových vláken vedou senzitivní vlákna, složená ze specializovaných receptorů. Činnost těchto receptorů je základem propriorecepce, která informuje o poloze kloubu, vzájemné poloze končetin a souhrě jednotlivých svalů. [5]



Obr. 3. Struktura svalového vlákna [37, upraveno]

Impulz ke stahu svalu má charakter šířící se elektrické vlny neboli akční potenciál. Pokud dorazí na neurosvalovou ploténku, aktivuje neurotransmitter, acetylcholin, který zprostředkovává přenos vzruchu z nervu do svalu. Při stahu dochází k zasouvání aktinových vláken mezi vlákna myozinu. Tento pohyb je závislý na vytváření příčných vazeb neboli můstků mezi nimi. Plynulost tohoto procesu je podmíněný dostatkem energie. Ta je dodávána ve formě adenosintrifosfátu (ATP). Zásoby této energetické látky se obnovují štěpením glukózy pomocí kyslíku (aerobně). Proto je činnost svalstva závislá na přísunu těchto látek. [5]

Svalová kontrakce často vzbuzuje představu o pouhém stažení svalu. Ve skutečnosti se napětí svalu nemusí projevit zkrácením svalu, naopak jeho prodloužením. Jsou totiž svaly, které tvoří antagonistické dvojice, u kterých stah jednoho svalu způsobí uvolnění druhého. Většinou se pohyb skládá se souboru kontrakcí. Při izometrické kontrakci se sval snaží zkrátit a může tomu bránit např. stejně silná snaha o jeho protažení, tzn. délka svalu se nezmění. Pokud se jedná o izotonickou kontrakci, jde spíše o nereálnou možnost stahu, při kterém by se neměnil svalový tonus při zkrácení, což je nemožné. Nejblíže představě o svalovém pohybu je kontrakce koncentrická, kdy se přibližují úpony svalu, a nastává pohyb spojených kostí. Tato kontrakce působí proti gravitaci, např. při zvednutí končetiny. Opakem je excentrická kontrakce, kdy se sval prodlužuje. Tento pohyb se uplatňuje při zpomalování a kontrole pohybu např. při chůzi. [4]

Poslední složka svalové inervace, autonomní, neboli vegetativní nervstvo inervuje stah krevních cév a tím i průtok krve svalem. Stav aktivity a přechod do tohoto stavu z klidového stavu se pokládá za formu stresu. Jde o narušení homeostázy a k jejímu obnovení vede složitý komplex procesů zvaný neurohumorální regulace. Klíčovou roli zde má vegetativní nervový systém řízený centrálním nervovým systémem. Při zátěži stoupá aktivita sympatiku a funkce parasympatiku ustupuje do pozadí. Tento proces se realizuje pomocí produkce adrenalinu a noradrenalinu. Společná souhra obou hormonů se projeví především u vyššího stupně zátěže, kdy působí na transportní systém a metabolismus. Účinek adrenalinu je však značně větší než noradrenalinu. Při nízké zátěži se reakce řídí pomocí změn tonusů, jak sympatiku, tak parasympatiku. Zatímco při intenzivní zátěži lze reakci označit jako poplašnou, kdy výrazně převáží aktivita sympatiku. Ukazuje se však, že pravidelnost v opakování intenzivní zátěže způsobuje určitou adaptaci. [4,5]

2.2. Dělení kosterních vláken dle typu

V kosterní svalovině se vyskytuje více typů svalových vláken, která se od sebe dělí jak stavbou, tak funkčně, protože se odlišují jak mechanickými, tak metabolickými požadavky. Jednotlivé typy svalových vláken jsou vždy inervované jednou motorickou jednotkou. Při fyzické práci se zapojují tři typy svalových vláken, které se vyskytují u většiny savců. Jsou to svalová vlákna pomalého typu a dva druhy svalových vláken rychlého typu:

a) *pomalá vlákna typu I*: Jejich mechanická odpověď na jeden akční potenciál trvá poměrně dlouho (více než 200 ms). Tato vlákna nejsou schopná generovat velkou sílu, ačkoli dokáží udržovat relativně malé napětí po dlouhý čas, aniž by se vyčerpala. Tato neunavitelnost je dána závislostí tohoto typu svalu na oxidativním metabolismu a neustálé obnově ATP za předpokladu velkých zásob glukózy. Další podmínkou je dostatečná dodávka kyslíku, proto jsou tato vlákna bohatě prokrvená sítí kapilár. Mezi tyto svaly patří například zádové svalstvo udržující vzpřímené držení těla. [6]

b) *rychlá vlákna typu II*: Specialitou těchto vláken jsou jemné, přesné pohyby, které jsou například typické pro oko-hybné svaly, některé svaly ruky atd. Mají odlišné uspořádání myozinu, jež umožňuje dosažení velké síly u rychlé kontrakce svalového vlákna. Rychlá vlákna se dále dělí podle jejich odolnosti k únavě na unavitelná vlákna typu IIB, které pracují na základě anaerobního metabolismu, aby udrželi kontrakci i při nedostatku kyslíku. Tato vlákna mají relativně velké zásoby glykogenu. K regeneraci potřebují tyto svaly až několik hodin odpočinku. Druhým typem rychlých vláken jsou únavě odolná rychlá vlákna typu IIA, které využívají rychlé dynamiky s dobrou aerobní kapacitou. Tato vlákna odolávají únavě až několik minut. [4,7]

Co se týče zastoupení těchto typů svalů v lidském těle, pomalá vlákna typu I tvoří průměrně 45-55% svaloviny horních a dolních končetin. Zbytek tvoří rychlá vlákna. Rozdělení typů vláken je ovlivněno jak věkem, tak geneticky. [4]

Poměr vláken také záleží na typu svalstva. Můžeme totiž svalstvo dělit ještě období, kdy pracuje svalstvo posturální a fyzické. Posturální svaly pracují neustále v bdělém stavu a má větší zastoupení pomalých vláken. Slouží k udržování polohy těla a je stále udržován jistý stupeň napětí. Oproti tomu fyzické svalstvo pracuje nárazově, slouží k silovým pohybům, avšak se rychle unaví a při dlouhodobé inaktivitě ochabuje. [4,7]

2.3. Svalový metabolismus

Tělesná zátěž se může charakterizovat jako soubor změn, které mají za následek změnu klidového stavu na nerovnovážný. Jeho nerovnovážnost je dána procesy, při kterém se výdej a příjem kyslíku liší. Rozsah změn a délka této změny stavu závisí na délce

a intenzitě zátěže a také na trénovanosti jedince. Dřívější studie velice jednoznačně oddělovaly tři schémata energetických systému, a sice krátkodobou počáteční fází, dále krátkodobou anaerobní aktivitu a dlouhodobou vytrvalostní aerobní aktivitu. Soudobé poznatky se však od izolovanosti a návaznosti těchto systémů odklánějí. Ačkoli tato schémata existují, nelze je od sebe oddělit, protože se navzájem doplňují a ten systém, který zrovna vyhovuje typu aktivity, pouze převažuje. Energie se tedy přenáší na místo okamžité potřeby. [4]

Přenos energie nutné k provedení svalové kontrakce pro krátkodobý výkon (do 75 sekund) závisí na potřebách motorické jednotky. Potřebná energie pro kontrakci svalových vláken vzniká štěpením adenosintrifosfátů (dále jen ATP), které se štěpí na difosfáty a monofosfáty. Volná molekula fosfátu tvoří s keratinem keratinofosfát, který je zdrojem asi energie pro resyntézu ATP z ADP za vzniku keratinu. Zásoby vysoce energeticky bohatého ATP jsou ve svalech omezené, cca 4 mmol/l [7] a kdyby neexistovala možnost resyntézy, zásoby by byly vyčerpány během několika sekund intenzivní aktivity svalu. Ve skutečnosti ale k naprostému vyčerpání nedochází. Sval se chrání impulzy pocházející z neurosvalové ploténky o přetížení svalu, které se projevují jako svalová únava před porušením homeostázy svalu, nebo jeho úplným poškozením. Extrémním ochranným mechanismem je spasmus a bolest svalu. [4,5,7]

Energie k resyntéze ATP se vytváří dvěma způsoby, a sice oxidativní nebo glykolitickou fosforilací z volných mastných kyselin či krevní glukózy, která je přenášena do místa potřeby ve formě laktátu. Uvolnění energie glykolýzou, dříve též nazývaný anaerobní, je rychlý a uplatňuje se při krátkodobých intenzivních zátěžích do délky trvání 2 minut. Toto bezprostřední množství energie je velmi omezené. Druhým způsobem tvorby energie je oxidativní fosforylace, dříve nepřesně nazývaná aerobní, která probíhá mnohem pomaleji a množství dodané energie je prakticky neomezené. Tento způsob je typický pro dlouhodobou aktivitu, vytrvalostní výkony a trvalou aktivitu svalových skupin. Vyšší výkonnost je však omezená schopností transportního systému, tedy kardiovaskulárního oběhu a dýchacího oběhu, které se snaží dodat maximum kyslíku za co nejkratší čas. [4]

2.4. Transportní systém

Správnou funkci organismu zajišťuje systém, který rozvádí v organismu živiny a kyslík, naopak odvádí zplodiny metabolismu a oxid uhličitý. Tento komplexní systém orgánů je tvořen dýchací složkou, plícemi, kardiovaskulární složkou, srdcem a krví, která zajišťuje transport mezi plícemi, srdcem a zbylými částmi těla.

2.4.1. Dýchací soustava

Pojmem dýchání se obecně označuje výměna dýchacích plynů, kyslíku a oxidu uhličitého. Tento proces se dále dělí na ventilaci (vnější dýchání), tedy výměnu mezi okolním atmosférickým vzduchem a vzduchem v plicích a na respiraci (vnitřní dýchání), tj. výměnu plynů, jak mezi plícemi a krví, tak mezi krví a tkáněmi. Absence kyslíku v organismu vede ke smrti, jelikož buňky přestanou vyrábět energii a zanikají. Nejrychleji reagující orgány na nedostatek kyslíku jsou ty, které spotřebovávají kyslíku nejvíce, tj. mozek a srdeční sval. [8]

Ventilace je děj, který se neustále opakuje. Střídají se dvě fáze: vdech a výdech. Vdech je aktivní děj, který je uskutečňován pomocí bránice. Bránice je plochý sval, který odděluje dutinu hrudní od dutiny břišní. Dalšími aktivními svaly, které se účastní dýchání, jsou mezižeberní svaly, které napomáhají rozvinutí hrudního koše. Při tomto procesu se zvětší hrudní dutina asi o 350 ml. Výdech je za běžných okolností pasivní děj. Pružné orgány břišní dutiny vytlačují bránici zpět a žebra se vrací do své původní polohy. [8]

Plíce mají oběh dvojího typu. Výživný oběh, který zajišťuje výživu a odvod zplodin metabolismu pracujících plic, stejně jako u jakékoli jiné tělní tkáň. Oběh funkční mezi pravou komorou srdeční a levou plicí, zajišťuje výměnu dýchacích plynů mezi vzduchem a krví. [8]

Mechanismus řízení dýchání je složitý proces, který nebyl doposud úplně jasný. Aktivitu dýchacích svalů řídí dýchací centrum v retikulární formaci mozkového kmene. Dále se ukázalo, že pro automatickému střídání výdechu a nádechu je nezbytná také skupina buněk v pneumotaxickém centru mozkového kmene. Všechna tato centra jsou pod vlivem podnětů přicházejících jak z periferie, tak z vyšších oddílů CNS. Tato souhra slouží k přizpůsobení potřebám organismu. Tyto podněty můžeme rozdělit do tří skupin. První přichází z mozkové kůry, která ovlivňuje formu zvukové komunikace a zajišťuje volní kontrolu ventilace (řeč, zpěv). Také se zde podílí vliv z center vegetativního systému, který modifikuje ventilaci při

silných emocionálních projevech (pláč, smích). Druhou skupinou podnětů je vliv zpětné vazby informací z plic, kde se nacházejí receptory, které reagují na rozpínání a tah plicní tkáně. Třetí skupina podnětů vychází z periferních a centrálních chemoreceptorů, které jsou umístěné v oblouku aorty a také na povrchu prodloužené míchy. Tyto receptory jsou citlivé na změny pH, koncentraci kyslíku a oxidu uhličitého. Jedná se o celkem logický mechanismus, který při zvýšené námaze pokrývá zvýšenou potřebu kyslíku a napomáhá k rychlejšímu odstraňování oxidu uhličitého. [8]

2.4.2 Transport krví

Transport kyslíku krví je způsoben z 97% jeho vazbou na hemoglobin. Zbylý podíl volně rozpuštěného kyslíku v krvi je zanedbatelný. Jeden gram hemoglobinu na sebe naváže 1,39 ml kyslíku a tedy při průměrném množství 150 g hemoglobinu v litru krve je transportní kapacita 1 litru krve asi 200 ml kyslíku. Víme, že minutový objem srdce je v klidu asi 5 litrů, pak za minutu je přenesen asi 1 litr kyslíku. [8]

Množství kyslíku navázané na hemoglobin ovlivňuje několik faktorů. Především koncentrace oxidu uhličitého, pH a teplota. Fyziologický význam je prostý. Pracující tkáň s intenzivním metabolismem si pro práci vytváří podmínky. Vzhledem k velké produkci oxidu uhličitého a tvorbě tepla se kyselými metabolity snižuje pH. To usnadňuje uvolnění kyslíku z hemoglobinu. V plicích jsou při sycení hemoglobinu kyslíkem tyto podmínky opačné pro zvýšení přílnavosti kyslíku k hemoglobinu. [8]

Transport oxidu uhličitého má komplikovanější průběh, protože se zde podílí více komponent. V žilní krvi se transportuje vázaný na hemoglobin a plazmatické bílkoviny v poměru 30%, jako bikarbonát v poměru 60% a 10% jako volně rozpuštěný. [8]

2.4.3. Kardiovaskulární systém

Transport krve zajišťuje hnací jednotka tj. srdce a složitý cévní systém. Výsledkem pravidelného střídání kontrakce (systoly) a ochabnutí (diastoly) srdečního svalu je přečerpávací funkce srdce. V průběhu diastoly se srdce naplňuje krví a při systole dochází k vypuzení krve přes aortu do velkého (tělního) krevního oběhu levou komorou, která srdeční má asi 4krát mohutnější svalovinu než pravá komora. Pravá komora vypuzuje krev do malého plicního oběhu, kde dochází k její okysličení.

Množství vypuzené krve do periferie během jedné minuty se nazývá minutový výdej srdeční. Při systolickém objemu 70 ml a tepové frekvenci 70 tepů za minutu je jeho velikost 4900 ml/min. Při zvyšování nároků stoupá minutový výdej maximálně na 30-35 l/min, u vrcholových sportovců až na 40 l/min. [8]

Zevní projevy srdeční činnosti můžeme posoudit pohledem, pohmatem, poklepem a poslechem. Nejčastěji se vyšetřuje palpačně pulz a poslechově srdeční ozvy. Pulz je charakterizován jako tlakově-objemová vlna, závislá na pružnosti cévní stěny a jejím průměru. Srdeční ozvy jsou fenomény zvukové, které vznikají při proudění krve v srdci, kde dochází k narážení krve na chlopně. [8]

Řízení srdce je uskutečňováno na několika úrovních. Především se na regulaci podílí vegetativní nervstvo, sympatikus a parasympatikus. Centra pro řízení srdeční činnosti jsou uložena v prodloužené míše a v tzv. pontu. Sympatické nervy zrychlují srdeční frekvenci, zvyšují sílu srdeční kontrakce a urychlují vedení vzruchů. Parasympatikus naopak zpomaluje srdeční činnost, zeslabuje kontrakce a zpomaluje převod vzruchů mezi síněmi a komorami. Cévní systém je řízen stejným způsobem. Mediátorem sympatiku je noradrenalin, který má vazokonstrikční účinky, čímž zmenšuje průsvit cév. Mediátorem parasympatiku je acetylcholin, který má opačnou, vazodilatační funkci. [8]

2.4.4. Průběh změn v oběhovém systému

Po zahájení tělesné práce lze časový průběh změn v oběhovém systému rozdělit do dvou fází:

A) *Iniciální fáze*, při které dochází k rychlým a velkým změnám trvajících asi 30-45 sekund. Tato fáze zátěže, při které dochází mezi klidem a rovnovážným stavem, byla vysvětlena až v poslední době pomocí analyzátorů výměny dýchacích plynů. Ačkoli pro většinu krátkodobých činností používáme svaly s vyšším zastoupením rychlých vláken. Od prvních sekund aktivity svalu rychle stoupá průtok krve. Při tělesném klidu je otevřeno pouze asi 5% vlásečnic ve svalech. Krev tudy protéká pomalu, aby byla umožněna výměna dýchacích plynů, živin a zplodin metabolismu. Průtok krve není plynulý, ale závisí na stahu svalu. Při kontrakci se přítok krve zpomaluje a urychluje se odtok žilní krve, která je vytlačována směrem k srdci. Při ochabnutí je tento proces opačný. Tento fenomén se nazývá svalová pumpa, podporující činnost srdce. [4,5]

B) *Přechodovou fází*, která se vyznačuje změnami pomalejšími. Dochází zde k přizpůsobení požadavků metabolismu pracujících svalů. Při lehké až středně těžké zátěži pak přechází až do rovnovážného stavu, kdy dojde k vyrovnání systému s nároky na zvýšený metabolismus. Ne vždy je však dosaženo rovnovážného stavu. Lze říci, že čím intenzivnější zátěž, tím déle trvá vyrovnání se zvýšenými nároky. Výsledkem změn v transportním systému je zvyšování příjmu kyslíku a výdej oxidu uhličitého. [4,5]

Do dvou fází lze rozložit také příjem kyslíku, který se může individuálně lišit. První se nazývá kardiodynamická a je pro ni typický rychlý příjem kyslíku, která odráží rychlou reakci oběhu. Druhá fáze, která probíhá exponenciálně je závislá na intenzitě zátěže, trénovanosti a věku. Její funkce představuje uvolňování energie ATP a fosfokreatinu. U dětí je vzestup spotřeby kyslíku rychlejší v této fázi, nejpomalejší je u starších osob se sedavým způsobem života. Toto zpomalení přináší riziko plynoucím s delší dobou, kdy organismus pracuje v kyslíkovém deficitu. Pokud se netrénovaný jedinec pokusí o náhlou intenzivní aktivitu, dojde k prudkému vzestupu krevního tlaku, který může mít za následek nejen poškození pracujícího svalstva, ale také srdeční svaloviny, nebo centrální nervové soustavy, které jsou velmi náchylné na příjem kyslíku. [4]

Ke zrychlení dechové frekvence dochází bezprostředně po zahájení aktivity a v jejím průběhu se příliš nemění. Klidová frekvence je asi 15-20 dechů za minutu a může vystoupat až k hodnotám 30-40 za minutu. V průběhu aktivity se ustálí optimální dechová frekvence, která je nejlepším poměrem mezi dechovým objemem a frekvencí s nejmenšími energetickými nároky.[4]

V srdečním oběhu se počátek tělesné aktivity vyznačuje zvětšováním minutového srdečního výdeje a změnami v krevním proudění. Minutový srdeční závisí na dvou složkách, a to srdeční frekvenci a tepovém objemu, který je odvislý především na správné funkci svalové pumpy.[4]

2.5. Adaptace organismu na dlouhodobou zátěž

Adaptace je popisována jako schopnost organismu přizpůsobit se svou funkcí i stavbou dlouhodobé, či opakující se zátěži. Jedná se o komplexní proces, který ovlivňuje všechny systémy organismu a jejich koordinaci. Cílem je dosáhnout efektivnější distribuce energie pro požadovanou aktivitu, a tím co nejmenšího vychýlení z homeostázy organismu. Odborně se tomuto procesu říká trénovanost. [4]

V kosterní svalovině dochází ke strukturním i metabolickým adaptačním změnám, které jsou patrné i v klidovém stavu, avšak nejvíce se projeví při fyzické zátěži. Při silovém tréninku dochází ke zbytnění svalových vláken. U trénovaných osob dochází k mobilizaci tukových zásob rychleji, než u netrénovaných. [4]

Také strukturálními změnami jak srdce, tak periferního cévního systému se projevuje dlouhodobá trénovanost. Postupně dochází k ekonomizaci srdeční činnosti, na které se podílí kosterní svalstvo. V důsledku pravidelné aktivity se upravuje jeho tonus a díky tomu lépe podporuje funkci organismu při rytmických činnostech. Také se zlepšuje návrat žilní krve, díky kterému se lépe plní srdce. V periferii se zlepšuje prokrvení svaloviny a tím k lepší distribuci krve po těle. [4]

S kardiovaskulárním systémem úzce souvisí dýchací systém, u kterého také dochází k adaptačním změnám při dlouhodobého tréninku. Zlepšuje se nejen funkce dýchacích svalů, jejichž nároky na kyslík, ale také schopnost systému dodávat větší množství kyslíku do krve. Tím dochází k efektivnější výměně dýchacích plynů a ušetřená energie je možná využít v jiných částech těla. [4]

Při opakované aktivitě dochází i k adaptaci CNS na pohyb. Především se jedná o snahu zpřesnit pohyby a celkově zlepšit ekonomiku práce. Dochází i částečně k adaptaci smyslových orgánů (např. realizace pohybů bez nutnosti optické fixace u gymnastů). Díky efektivnějšímu dráždění dochází k zapojení více svalových vláken při kontrakci. Při dlouhodobém opakování zátěže se mění i odezva vegetativního nervstva. Odezva sympatiku na zátěž při dlouhodobém opakování zátěže klesá, ale stále při aktivitě převažuje nad aktivitou parasimpatiku. [4]

3. Anatomie a fyziologie očních svalů.

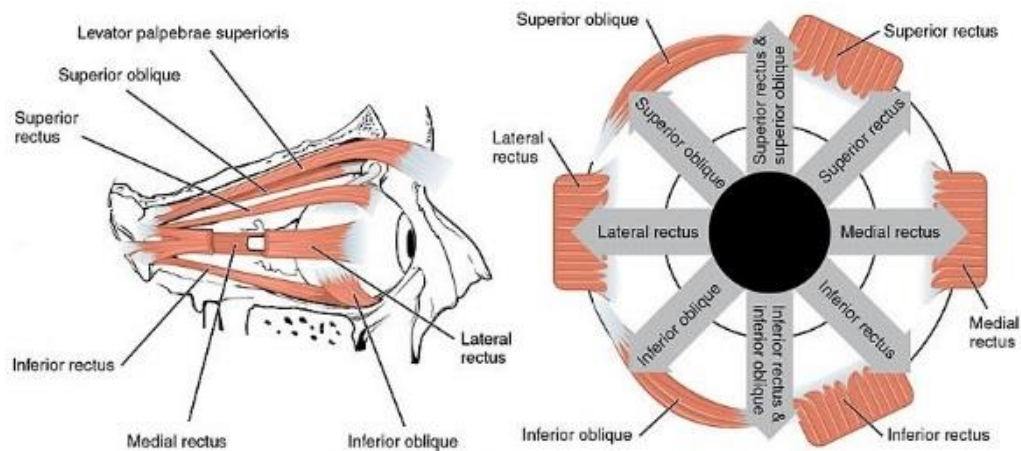
Svalový aparát oka se skládá z extraokulárních svalů, které mají vliv na pohyb očí a intraokulárních svalů, a sice ciliárního svalu starajícího se o stah a uvolnění čočky při akomodaci a svalu duhovkových, které upravují míru dopadu světla na sítnici.

3.1. Okohybné svaly

Okohybné svaly, které jsou uloženy společně s oční koulí v očníci, je šest, z nichž čtyři jsou svaly přímé: horní (m. rectus superior), dolní (m. rectus inferior), vnitřní (m. rectus medialis) a vnější (m. rectus lateralis). Zbývající dva jsou svaly šikmé: horní (m. obliquus superior) a dolní (m. obliquus inferior). Všechny tyto svaly, kromě dolního šikmého svalu se upínají v Zinnioho společném šlachovitém počátku (annulus tendineus communis Zinni). Samotný šlachovitý prstenec je připojený na orbitální kost. Odtud se svaly, jako podlouhlé pruhy ve směru dle svých názvů rozbíhají k úponům na oku. Přímé svaly se upínají před ekvátor oka a horní šikmý sval prochází v horním koutu očníce kladkou (trochleou), pokračuje vnitřně zepředu a upíná se zevně dozadu za ekvátor na horní ploše bulbu. Dolní šikmý sval prochází dolní částí očníce a upíná se šikmo zevně v zadní dolní části bulbu. Úpony vytváří tzv. Tillauxovu spirálu, která určuje vzdálenost úponu svalu od limbu:

střední přímý sval	6,0 mm
dolní přímý sval	6,5 mm
vnější přímý sval	7,0 mm
horní přímý sval	8,0 mm. [9, 10]

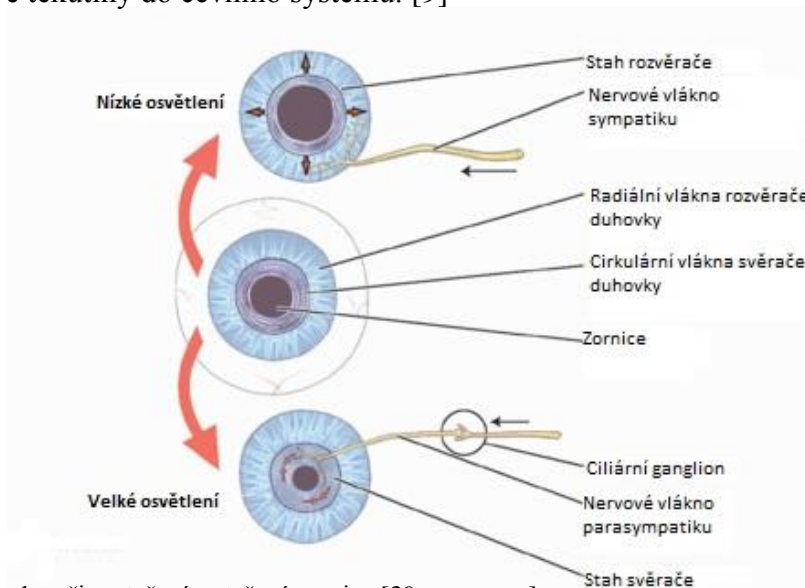
Funkce okohybných svalů je charakteristická tím, že přímé svaly otáčejí okem ve směru úponu svalu. Vnitřní a vnější sval pohybují okem pouze vpravo a vlevo, zatímco horní a dolní sval ještě při své činnosti využívají vnitřního svalu, který napomáhá pohybu očí k sobě (konvergenci) při pohledu do blízka. Šikmé okohybné svaly jsou poněkud slabší, mají tedy menší tažnou sílu vzhledem ke svému opačnému průběhu (zepředu dozadu) a otáčí oční koulí proti směru svého úponu. Horní šikmý sval otáčí okem zevně dolů a dolní šikmý sval zevně nahoru. [9,10]



Obr. 4. Okohybné svaly pravého oka [38, upraveno]

3.2. Duhovka

Duhovka (iris) má tvar mezikruží se středovým otvorem tzv. zornicí (pupillou), která je posunuta nepatrně na vnitřní stranu, tudíž vnější strana duhovky je silnější než ta vnitřní. Duhovka rozděluje prostor oka na přední a zadní komoru. Na zadní straně srůstá s ciliárním tělesem a na přední s rohovkou, kde vytváří duhovko-rohovkový úhel s jeho trámčinou. Uvnitř duhovky je pod vrstvou vaziva, pigmentových vrstev a cév také svalovina: svěrač (m. sphincter pupillae) a rozvěrač (m. dilatator pupillae). Úkolem duhovky v oku je regulace dopadu světla na sítnici. Reaguje tedy na světelný podnět, ale také se zapojuje při pohledu do blízka. Důležitým místem je také duhovko-rohovkový úhel s trámčinou, kde dochází k vstřebávání komorové tekutiny do cévního systému. [9]



Obr. 5. Svaly duhovky při roztažení a stažení zornice [39, upraveno]

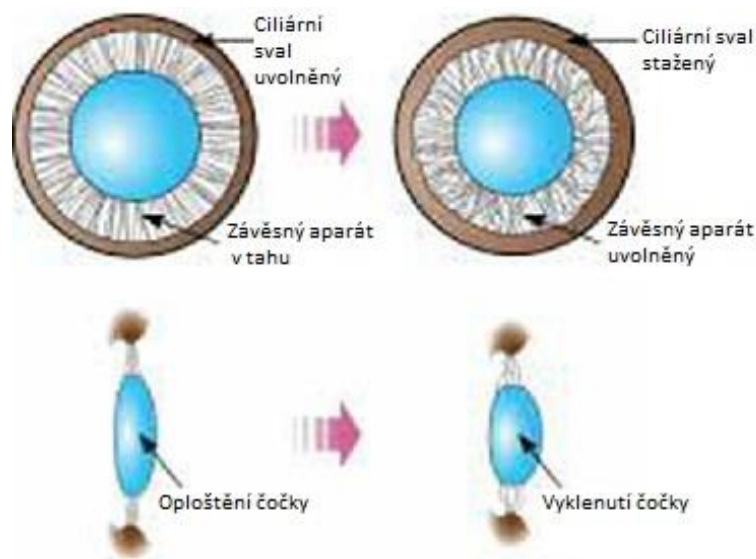
3.3. Řasnaté těleso

Řasnaté těleso (corpus ciliaris) má při pohledu zepředu i zezadu tvar mezikruží a na příčném řezu má tvar trojúhelníku. Při pohledu zezadu lze rozeznat při vnitřním obvodu velké množství paprscitě uspořádaných výběžku (processus ciliaris), je jich asi 70 až 80 a jsou až 3 mm dlouhé. Jejich povrch je hrbolatý a do těchto nerovnoměrných výběžků se upíná závěsný aparát čočky. Na zevním okraji je hranice mezi optickou částí sítnice (pars optica retinae) a částí sítnice bez světločivých buněk (pars caeca retinae), ora serrata. [9]

3.4. Čočka

K očních svalům jako prostředek zobrazení ostrého obrazu na sítnici neodmyslitelně také patří oční čočka. Je uložena v zadní komoře. Průměr má 9-10 mm a tloušťku 3-4 mm. Popisujeme přední a zadní plochu čočky, které se spojují v ekvátoru. Čočka je několikavrstevná. Nejsvrchnější vrstvou je kapsula, neboli čočkové pouzdro, které je nejsilnější při ekvátoru. Pod kapsulou je endotel, který na zadní ploše neustále dorůstá a mění se ve vlákna (fibrae lentis), které vyplňují dutinu čočky. Ve středu čočky je nahuštěná hmota, čočkové jádro (nucleus lentis). [9]

Čočku a řasnaté těleso spojuje Zinnův závěsný aparát (zonula Zinni). Zjednodušeně se jedná o systém jemných vláken, které přecházejí z cílárního tělesa a upínají se v těsné blízkosti ekvátoru do pouzdra čočky. [9]



Obr. 6. Mechanismus akomodace [40, upraveno]

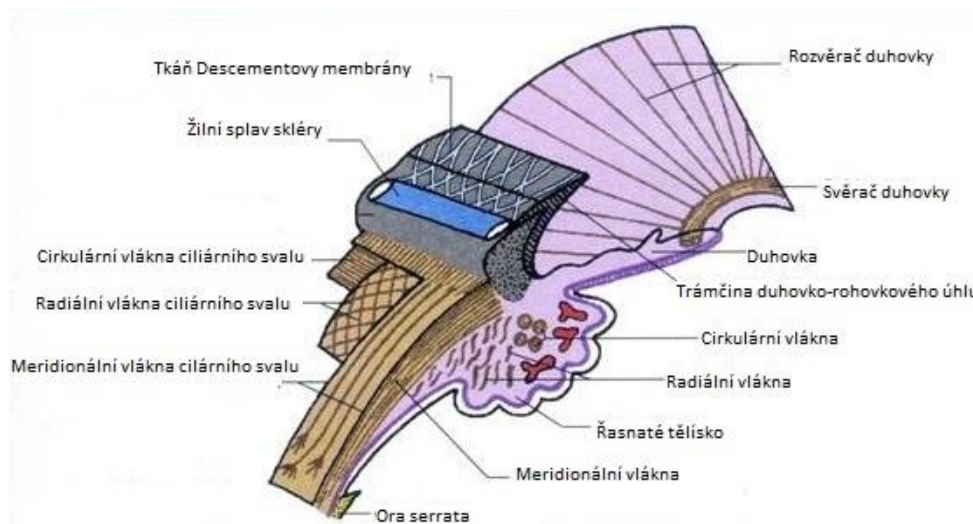
3.5. Stavba očních svalů

Oční svaly se dělí dle typu tkáně na kosterní, hladkou a ciliární svalovinu. Zatímco okohybné svaly jsou ryze kosterní tkání, svaly duhovky odpovídají svou stavbou svalovině hladké. Oproti tomu tkáň ciliárního tělíska je jakýmsi přechodem těchto dvou tkání. [5, 11]

Okohybné svaly jsou tvořeny kosterní svalovinou a od kosterních svalů ve zbytku těla se liší tím, že jsou sestaveny vlákny dvou typů. Prvním typem jsou rychlá vlákna (fibrillenstruktur), která se specializují na rychlé, jemné a přesné pohyby. Mají velice jasně definovanou strukturu a velmi vyvinuté sarkomery. Druhým typem jsou vlákna pomalá (felderstruktur), které se starají o pomalé tonické pohyby očí a jejich struktura je velice nejasně definována s málo vyvinutými sarkomery. Inervace těchto vláken je pomocí neuromotorů s mediátorem acetylcholinem. Rychlá vlákna jsou inervována silnými nervovými vlákny, zakončenými vlastní neurosvalovou ploténkou. Oproti tomu nervová vlákna vedoucí vzruch k vláknům pomalého typu mají rozvětvenou strukturu, podobné hroznové stopce. Zpětná nervová vazba může nést informaci nejen o stavu jednotlivých svalů, ale také o vzájemné poloze svalů mezi sebou a postavení očí ve vzájemné souhře. Bylo také zjištěno ve studii Eckarda, McLeana a Goodela [12], že citlivost okohybných svalů je velmi specifická. Zatímco jiné kosterní svaly jsou velmi citlivé k řezání a štípání, okohybné svaly na tyto bolestivé podněty nereagují. Avšak jsou velmi citlivé na tah, který jednoznačně způsobuje bolest. Tento fenomén by mohl mít kořeny ve složení svalů a jejich metabolismu. [10, 13]

Svaly duhovky jsou uloženy pod povrchovým vazivem. Svěrač duhovky je cirkulárně a spirálovitě uspořádaná síť hladké svaloviny obtáčeující zornici. Blíže k ciliárnímu tělísku je uložený rozvěrač duhovky. Jedná se o radiálně orientovaný jemný systém pigmentovaných vláken. Hladká svalovina se strukturou velmi podobá kosterní svalovině, avšak není ovládaná vůlí. Kontrakce hladké svaloviny mohou být krátké a intenzivní, nebo dlouhé a pomalé, při snížené spotřebě energie. [7]

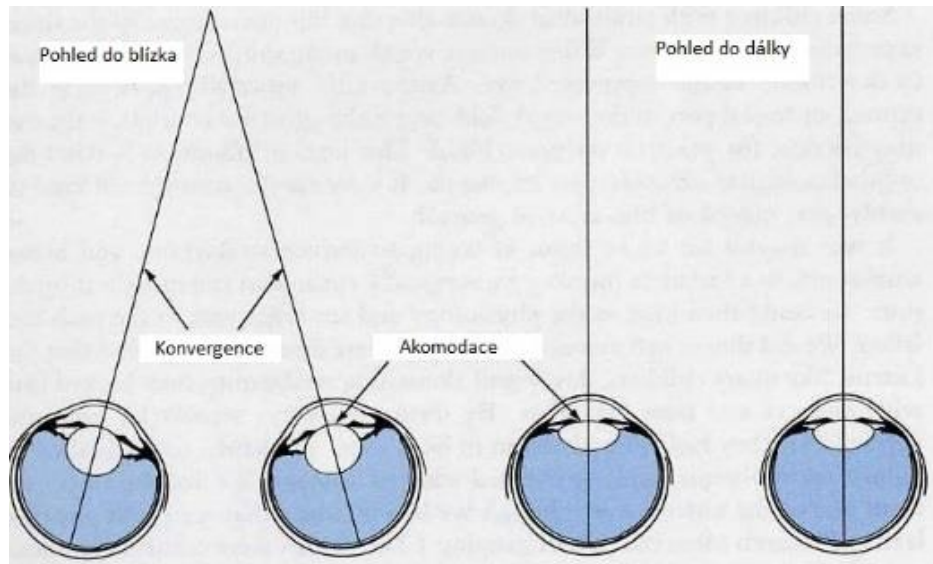
Struktura svaloviny ciliárního tělesa je velmi specifická. Jedná se o jakýsi přechod mezi kosterní svalovinou a hladkou svalovinou. Díky tomu je proces akomodace z velké části reflexivní, ale lze je ovládat také vůlí. Stavba je specifická tím, že jednotlivá vlákna se mohou rozdělit do tří skupin, které jsou vzájemně prostorově uspořádány. Vnější vlákna vedoucí podél skléry od rohovkového limbu až do zadních částí ciliárního tělesa (fibrae meridionales, musculus Bruckeii). Při stahu posouvají celé ciliární těleso dopředu, což má za následek uvolnění zadních dlouhých vláken závěsného aparátu. Svěrač tvoří vlákna (fibrae circulares, musculus Mullerii), která jsou uložena cirkulárně na vnitřní straně ciliárního tělesa. Stah těchto vláken způsobí uvolnění předních vláken závěsného aparátu. Díky elasticitě čočkového obalu dochází i k vyklenutí přední plochy čočky a tím změny optické mohutnosti čočky. Posledním typem jsou vlákna (fibrae radiales), která zahýbají od vnějších vláken k cirkulárním vláknům a mají nejmenší zastoupení v ciliárním tělese. Jednotlivá vlákna se od sebe nedají jednoznačně odlišit při podrobném zkoumání. Při zkoumání jemné struktury je patrné, že jeden typ vláken stavbou struktury i funkcí, přechází ve středních částech ciliárního tělesa ve druhý. Jednoznačně odlišit je můžeme spíše podle jejich polohy. Jednotlivá vlákna jsou inervována parasympatickými nervovými vlákny z okulomotorického nervu a také sympatickými nervovými vlákny, které přicházejí z ganglion cervicale superius. Parasympatikus má za úkol stah ciliární svaloviny a tedy akomodaci na blízko, sympatikus působí opačně, svaly se uvolní a oko je v neakomodovaném stavu, jako při pohledu do dálky. [9, 14]



Obr. 7. Struktura ciliárního svalu [41, upraveno]

4. Akomodačně – vergenční systém

Zobrazení ostrého obrazu na sítnici do makuly je proces, pro který je potřeba dobrá souhra všech očních svalů. Navzájem se tyto reflexy ovlivňují a doplňují. Akomodace stimuluje konvergenci a naopak. Oba tyto procesy jsou spolu úzce provázány. Tato souhra se nazývá triáda. Při pohledu do dálky jsou okohybné svaly v paralelní pozici a ciliární těleso je uvolněné, čočka neakomoduje. Tato souhra je doplněna také roztažením zornice. Všechny tyto reflexy jsou inervovány sympatikem. Při pohledu do blízka je aktivován parasymptikus, který ovlivňuje především akomodaci, zatímco okohybné svaly konvergují, aby nejostřejší obraz stále dopadal do makuly. Také zornice se stáhne pro odclonění periferních paprsků dopadajících na sítnici a tím se zmenšuje hloubka ostrosti pro přesnou fokusaci. Z ontogenetického vývoje vyplývá, že akomodace je evolučně daleko v předstihu před konvergencí. [11, 15]



Obr. 8 Akomodace a konvergence [42, upraveno]

Pohyb očí uskutečňovaný okohybnými svaly se popisuje jako

- dukce: pohyb jednoho oka
- verze: pohyb obou očí ve stejném směru, kdy se nemění úhel zrakových os
- vergence: pohyb obou očí ve směru proti sobě, kdy se mění úhel zrakových os

Každý okoohybný sval má svého stejnosměrného antagonistu, který otáčí okem opačným směrem. Druhostranného synergistu (tzv. spřažený sval), který otáčí druhým okem stejným směrem a druhostranného antagonistu, který je antagonistou druhostranného synergisty.

Souhra a plynulost očních pohybů je řízena dvěma zákony pro motorickou funkci:

Sheringtonův zákon o reciproké inervaci:

Paralelní pohyb obou očí je umožněn kontrakcí spřažených svalů (agonistů) a zároveň relaxací jejich antagonistů. Pokud se zvýší napětí na spřažených svalech, tlumí se impuls pro antagonistu. [10]

Heringův zákon:

Do svalů přichází z motorického centra impuls pro spřažené svaly. Tyto se následně chovají jako jeden orgán. Totéž platí pro jejich antagonisty. [10]

4.1. Fyziologie binokulárního vidění

Pokud dochází k nejdokonalejší formě souhry obou očí, nazýváme tento proces binokulární vidění. Dochází ke splynutí příslušných sítnicových obrazů v jeden zrakový vjem.

Na binokulární vidění se podílí tři složky. Optická složka zajišťuje průchod paprsků přes lomivá prostředí pro vznik ostrého obrazu na sítnici. Motorická složka se stará o postavení očí tak, aby ostrý obraz dopadal na sítnici do místa nejostřejšího vidění, fovey. O dovedení podnětů z obou očí do korových center v mozku se stará senzorycká složka, kde se spojují v jeden vjem. [16]

Rozlišujeme tři stupně binokulárního vidění. Schopnost současného vidění dvou makulárních obrazů zároveň a jejich překrytí se nazývá superpozice a je prvním stupněm binokulárního vidění. Druhým stupněm je schopnost spojení dvou podobných makulárních obrazů v jeden binokulární, tzv. fúze. Nejvyšším stupněm binokulárního vidění je stereopse, neboli schopnost vytvořit hloubkový vjem na základě spojení dvou obrazů, jehož části dopadají na disparátní části sítnice.[16]

Zatímco akomodace je stimulována dopadem rozmazaného obrazu na sítnici,vergence je ovlivněna disparitou sítnicových obrazů. [11]

4.2. Konvergence

Konvergence se vždy účastní obě oči, které rotují směrem dovnitř. Tento pohyb je uskutečňován pomocí okohybných svalů. Leží-li předmět ve střední rovině, pozorujeme konvergenci symetrickou, pokud leží mimo střední rovinu, konvergence je asymetrická.

Konvergenci můžeme dělit podle způsobu řízení na volní, kterou můžeme navodit vůlí při pohledu na velmi blízký předmět. Další čtyři složky jsou ovládány reflektivně. Tonická vergence, která udržuje přirozené postavení očí při pohledu do dálky, je stimulována podněty z mozkové kůry. Akomodační konvergence je vyvolána akomodací, která je optickým podnětem pro konvergenci, a je označována jako AC. Fúzní konvergence doplňuje a koriguje akomodační konvergenci tak, aby byla možná fúze sítnicových obrazů. Spíše psychologicky je podmíněna proximální konvergence, která je navozená vědomím blízkosti předmětu. Můžeme ji pozorovat například při měření na přístrojích (např. stereoskop). [11]

4.2.1 Metody vyšetření konvergence

Základní parametry při vyšetření motorických funkcí oka jsou heteroforie určené zakrývacím testem, motilita, test sakadických pohybů, blízký bod konvergence, fúzní rezervy a vergenční schopnost. Vzhledem k zaměření praktické části bude podrobně rozebráno vyšetření blízkého bodu konvergence a vergenční schopnost. [10]

A) Vyšetření blízkého bodu konvergence (NPC)

Schopnost očí konvergovat je měřená v centimetrech od kořene nosu sledovaného předmětu. Předmět (např. hrot tužky, či jiný vhodný fixační bod) je přibližován ze vzdálenosti 50 cm po přímé trajektorii k očím vyšetřovaného. Je vhodné upozornit pacienta, že při tomto testu mohou pociťovat jistý diskomfort, protože dochází k výrazné námaze okohybných svalů. [17]

Tento test vyhodnocujeme jako subjektivní NPC, který je měřen na základě diplopie. Vyšetřovaný sleduje soustavně tento bod do té doby, než se rozdvojí (tzv. break point), následně se bod oddaluje, než dojde ke spojení tohoto bodu (tzv. recovery point). Hodnoty zapisujeme jako break/recovery point např. NPC = 7/9 [cm]. Objektivní NPC je zaznamenán ve chvíli, kdy vyšetřující zpozoruje, že oči přestaly fixovat souběžně. [17]

Jako normální hodnoty se uvádí pro bod rozdvojení 7,5 cm a méně, pro bod spojení 10,5 cm a méně. Ve studii [18] byla průměrná normální hodnota rozdvojení NPC stanovena na 5 cm a spojení NPC na 7 cm. Některé studie uvádějí souhrnné pravidlo, že blízký bod konvergence je blíže než blízký bod akomodace. U starších pacientů může být objekt v průběhu měření rozmazaný. V tomto případě pacient sleduje rozmazaný objekt až do té doby než se rozdvíjí. [10]

Pro vědecké účely může být konvergence zaznamenávána také pomocí tzv. metrového úhlu (M.Ú.). Tato jednotka je definována jako úhel konvergence, které oko musí učinit při fixování objektu ve vzdálenosti jednoho metru ve střední rovině. Vzdálenost předmětu a se měří od středové linie, která spojuje středy rotace obou očí. Středová linie se předpokládá ve vzdálenosti 2,7 cm za rovinou brýlí, či zkušební obruby. Konvergenci C jednoho oka v metrových úhlech při vzdálenosti a uvedené v metrech pak lze spočítat dle vztahu $C = 1 / (a + 0,027)$. [10]

B) Vergenční schopnost

Jedná se o schopnost dostatečně pružně, rychle a přesně reagovat na změny požadované konvergence. Můžeme ji zhodnotit dvěma způsoby:

- *Skokovým testem (jump convergence test)*. Při tomto testu je pacient požádán, aby fixoval na malý objekt umístěný asi 50 cm od očí a poté aby přefixoval na objekt umístěný 15 cm od očí. Oči by měly na změnu reagovat velice rychle a plynule. Může se také zkoumat změna rychlosti. [17]

- *Testem vergenční schopnosti (facility)*. Toto měření provádíme pomocí dvojprizma (12 pD BO a 3 pD BI), které předkládáme před jedno oko. Vyšetřovaný pozoruje optotyp na 40 cm a vždy zahlásí, kdy je schopen text spojit. Počítáme cykly za minutu. Normální hodnota se udává v cyklech za minutu, 12 cpm (cycle per minute). [17]

4.3 Akomodace

Akomodace je schopnost oka vidět ostře předměty v různé vzdálenosti. Při tomto procesu oko mění svou optickou mohutnost změnou lomivosti ploch čočky, na čemž se podílí

především ciliární sval, čočka a její závěsný aparát. Akomodace se vyvíjí přibližně do 12 roku věku. Stimulem pro akomodaci je dopad rozmazaného obrazu na sítnici, způsobeným ať už přibližováním obrazu blíže před oko, nebo předřazením rozptylné čočky před oko. Pokud oko ztratí svou funkci zaostřit, hovoříme o presbyopii (tzv. vetchozrakosti). Udává se, že plně vyvinuté oko má amplitudu akomodace asi 14 D a oko zmenší svou amplitudu akomodace o 1 D za 3 roky. [16, 17]

4.3.1. Teorie akomodace

Typy akomodace rozlišujeme dle stimulů. Rozmazaný obraz na sítnici stimuluje reflexní akomodaci. Fúze ovlivňuje vergenční akomodaci a stimulem proximální akomodace je odhad vzdálenosti. S vůlí je spojena volní akomodace navozená volní konvergencí a opakem je tonická akomodace, která je přítomna i bez stimulů navozená klidovým tonem ciliárního svalu.[17]

Akomodace je stále podnětem k bádání. Již od předminulého století je předmětem studií mechanismus akomodace. Dodnes se různé studie shodují jen na části parametrů, které byly přijaty jako fakta. Světově uznávanými rysy akomodace jsou přesnost, rychlost odpovědi na stimul, opakovatelnost, posuvný (translační) pohyb čočky směrem dopředu, paraboloidní tvar přední kapsuly, relativně neměnný tvar zadní plochy čočky, navození akomodace konvergencí a růst čočky s věkem. Doposud sporné rysy akomodující čočky je především síla, jakou působí ciliární sval na závěsný aparát, potřebná k vyklenutí čočky a modul pružnosti kapsuly takový, aby přední plochy čočky vytvořila právě paraboloidní tvar. [19]

První teorie akomodace byla uvedena v roce 1855 Hermannem von Helmholtzem [21]. Pro svou teorii použil experiment s Purkyňovými obrazy, neboli odrazy vytvořenými rohovkou a čočkou, aby určil změny, které nastávají při akomodaci. Zjistil, že třetí Purkyňův obraz, vytvořený přední plochou čočky byl výrazně zmenšený a posunutý dopředu při akomodaci, zatímco čtvrtý Purkyňův obraz vytvořený zadní plochou čočky se zmenšil jen o málo. Na základě svých pokusů vytvořil hypotézu, ve které se domnívá, že akomodovaném stavu je závěsný aparát napnutý, čímž udržuje čočku v co nejplošším možném stavu. Při stahu ciliárního svalu, který působí jako svěrač, dochází k povolení závěsného aparátu a vyklenutí

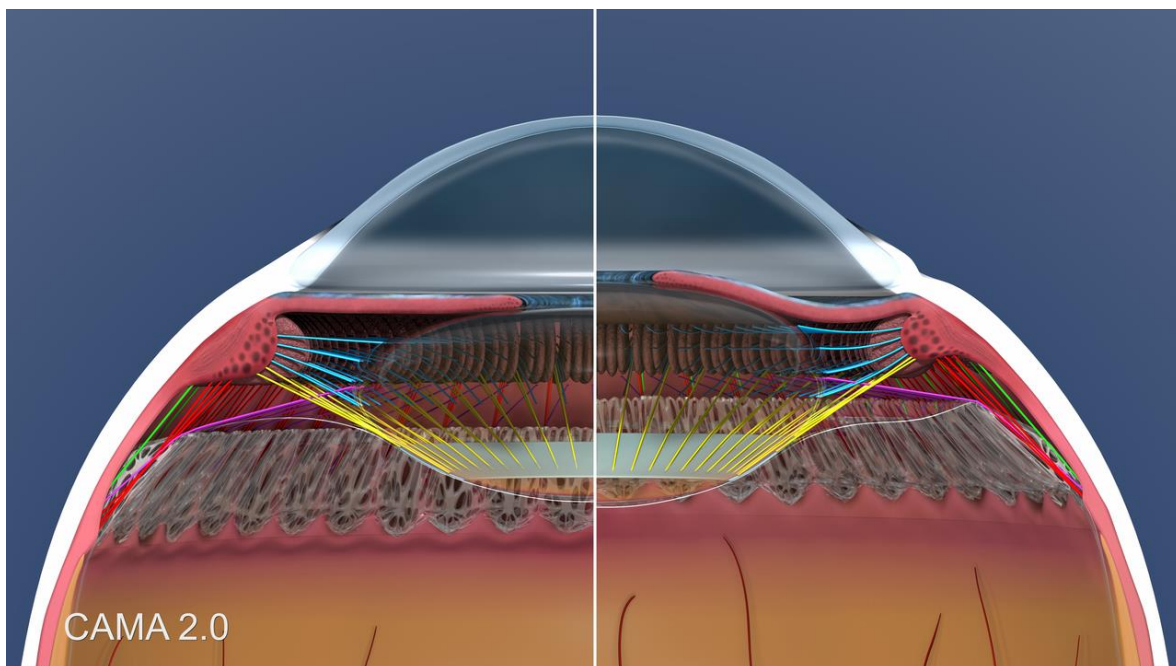
elastického obalu čočky do téměř sférického tvaru a tím se zvětší její zakřivení a optická mohutnost. [20, 21]

Na jeho práci Edgar Fincham [22], který studoval obal čočky a prokázal, že je silnější v ekvátoru čočky v blízkosti závěsného aparátu a také směrem k přední ploše čočky. Tyto významné odchylky v tloušťce obalu čočky mohou způsobit velké možnosti v zakřivení přední plochy při akomodaci mnohem větší, než kdyby byl obal čočky stejně silný v celé čočce. Jeho studie byla velmi významným příspěvkem k Helmholtzově studii, bez které by jeho teorie nebyla dostatečným vysvětlením tak velké změny v optické mohutnosti čočky. Presbyopie je dle těchto teorií způsobena ztrátou elasticity čočky věkem. K této teorii přispěl také R. F. Fisher [23] který použil in vitro modely akomodace. [21, 22, 23]

Velkými oponenty Helmholtzovy teorie byla skupina vědců, kteří zastávají názor, že se na akomodaci podílí i ostatní struktury oka, ne pouze čočka a závěsný aparát. Tento směr vychází z prací o podpůrné funkci sklivce. Nejvíce pozornosti získala studie Ronalda Schachara a kol. [24], který popsal, že stah ciliárního svalu způsobuje selektivní napnutí středních zonulárních vláken v ekvátoru a uvolnění předních a zadních vláken oproti všeobecnému uvolnění všech vláken podle původní Helmholtzovy teorie. V neakomodovaném stavu jsou přední a zadní vlákna napjatá a ekvatoriální uvolněné. Podle této teorie je presbyopie způsobena růstem čočky, kvůli kterému čočka neustále zvětšuje svůj průměr a tím snižuje napětí předních a zadních zonulárních vláken. [24]

Jednou z nejnovějších studií je práce Jackona Colemana [25], který přichází s teorií, že čočka, závěsný aparát a sklivce za pomoci předněkomorové tekutiny tvoří jakousi membránu tvarovanou pomocí kontrakce ciliárního svalu a změnou průměru čočky, která má za následek změnu poměrů sil mezi sklivcem a předněkomorovou tekutinou. Při kontrakci dochází k posunu čočky dopředu jako důsledek rozložení tlaku sklivce na ciliární sval, závěsný aparát a čočku. Vlivem tohoto tlaku také zadní plocha čočky zachovává svůj tvar. Tato teorie vychází matematicky z výpočtů síly, která působí na křivky, jako jsou například dráty elektrického vedení. (U těchto křivek je také největší zakřivení ve středu s oploštěním v krajích a počítá se, jakou silou na ně můžeme působit, aby vydržely tíhu například námrazy. Podle toho se určuje vzdálenost podpůrných sloupů.) Další připodobnění může být také trampolína, na které se dá simulovat cirkulární vliv ciliárního svalu na tuto jakousi membránu, u které se může následně zanedbat podpůrný tah ekvatoriálních vláken. [25]

Všechny tyto studie jsou v poslední době zpochybňovány a vyvraceny skupinami vědců, které se snaží porovnávat a posuzovat anatomický i fyziologický základ nových poznatků. Největší přehledovou studií, která má být jakýmsi propojením všech předchozích teorií uvedl roku 2011 Daniel Goldberg. [26] Zamýšlí se nad možnostmi a průkazností všech dosavadních teorií a na podkladě studií, ve kterých byla za pomoci enviromentálních skenovacích elektronových mikroskopů osvětlena struktura závěsného aparátu čočky, a dodává významný chybějící kousek celé skládačky. Je totiž zřejmé, že vlákna závěsného aparátu nejsou uchycena pouze na přední ploše čočky, na ekvátoru a na zadní ploše čočky. Existují také vlákna, která vychází ze zadní části ciliárního tělíska (pars plicata) a jsou ukotvena k přední sklivcové membráně v oblasti pars plana. Svou teorii podpořil počítačovou 3D animací celého procesu. Tímto našel jakýsi průnik všech směrů, kterým se akomodační teorie ubíraly. Vycházíme tedy z předpokladu, že čočka je plastická a uvolněním předních vláken závěsného aparátu. Při stahu ciliárního tělesa se posouvá směrem dopředu. Pokud dodáme teorii o diferenciaci zadních vláken závěsného aparátu, dochází k osvětlení mechanismu, jakým se čočka vrací zpět do stavu bez akomodace. Jedná se o jakousi protichůdnou aktivitu vláken. Při akomodaci jsou vlákna uchycená k přední ploše čočky uvolněná a vlákna uchycená k zadní ploše čočky a k přední sklivcové membráně jsou v tahu. Existence vláken, která se upínají k přední sklivcové membráně osvětluje změnu sil a mechaniku celého procesu, kdy tato vlákna způsobují posun sklivcové membrány periferně směrem k zadní ploše čočky. Takto se poukazuje na pružnost a dynamiku celého aparátu, která je významná pro způsob, jakým se při akomodaci vytvaruje obal čočky. Nejnovější dodatek byl uveden v roce 2014. [27] Tento dodatek má snahu rozdělit zonulární vlákna do tří funkčních skupin a vyzdvihuje fakt, že akomodace nekončí v oblasti ora serrata, ale podílejí se na ní i struktury za touto linií. [26,27]



Obr. 9. Struktura vláken závěsného aparátu v akomodovaném a neakomodovaném stavu [43]

4.3.2. Metody vyšetření akomodace

Základní parametry vyšetření akomodace jsou amplituda akomodace, relativní akomodace a akomodační schopnost. Vzhledem k zaměření praktické části této práce bude podrobně rozvedeny metody vyšetření amplitudy akomodace. Rozmezí ostrého vidění jednotlivých bodů je vymezeno pomocí dalekého bodu, nejvzdálenějšího bodu, který je ještě viděn ostře a blízkým bodem (A_r), nejbližším ostře viděným bodem (A_p). Amplituda akomodace (AA) se určí z převrácených hodnot těchto bodů:

$$AA = \frac{1}{A_r[m]} - \frac{1}{A_p[m]} [D]. \quad [17]$$

Běžně se v literatuře udávají dva způsoby vyšetření:

-*Metoda Push-up-down.* Při tomto vyšetření pacient sleduje nejmenší optotyp, který přečte na 40 cm a pomalu si jej přibližuje k obličejí. Zaznamenává se bod, kdy se text rozmaže, poté se znovu oddaluje a zaznamenává se, kdy se text zaostří. Jako výsledek můžeme použít aritmetický průměr hodnot. Ve studii [28] byla amplituda akomodace měřena

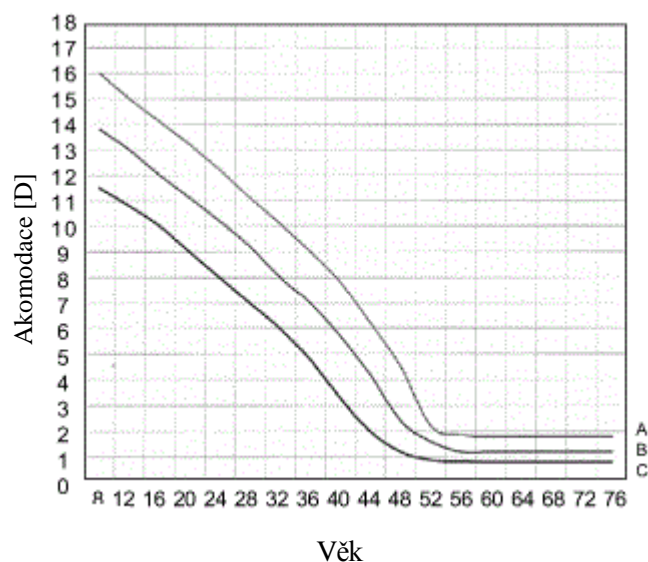
na open-field refraktometru, s možností změny fokusační vzdálenosti. Výsledek měření byl překvapivý. U většiny pacientů push-up-down test nadhodnocoval funkci akomodace. Pomocí open-field refraktometru bylo určeno mnohem více pacientů s akomodační insuficiencí. [10, 28]

-*Metoda rozptylky*. Při tomto měření se předkládají rozptylky do chvíle, než dojde k rozmazání. Tato metoda byla prokázána jako nejvíce podhodnocující amplitudu akomodace. [17, 29]

Jako normální hodnoty se udávají hodnoty, které jsou znázorněny Duanovou křivkou amplitudy akomodace. Také lze hodnoty amplitudy akomodace spočítat pomocí rovnic dle Hofstettera. Uvádí je ve studii [30], která se zabývá srovnáním Dondersovy Push-up metody a Duanovy Push-down metody:

Minimální amplituda [D] = 15,0 – (0,25 x věk [roky]).

Předpokládaná amplituda [D] = 18,5 – (0,3 x věk [roky]). [17]



Obr. 10. Duanova křivka amplitudy akomodace. A -maximální hodnoty, B - průměrné hodnoty, C - minimální hodnoty. [44, upraveno]

5. Vliv sportu na oko

Je samozřejmé, že stejně jako dochází k metabolickým změnám při tělesné zátěži v celém těle, dochází k zásadním změnám i v oku. Metabolismus svalů se během aktivity zásadně zvyšuje, také dochází ke změnám v dýchací a kardiovaskulární soustavě. [31]

Nejen v životě, ale především při sportovních aktivitách hraje velmi významnou roli právě zrak. Na kvalitu zrakového vjemu má vliv nejen dostatečná zraková ostrost, ale i funkce binokulárního systému. Správná a pružná koordinace akomodace a konvergence, která je zásadní pro rychlou lokalizaci předmětů v prostoru. Vidění je dále propojeno s dalšími smysly, zejména vestibulárním systémem, jehož koordinace se má zásadní význam pro povědomí o poloze, pohybu a orientaci v prostoru jedince. [31]

Tělesná zátěž může mít na oko jak pozitivní, tak negativní vliv. Vlivem cvičení dochází k snižování nitroočního tlaku. Toto snížení může být jak krátkodobé, tak dlouhodobé. Na poklesu nitroočního tlaku se nejspíše podílí osmotické změny v cévách. Oko i mozek mají autoregulační schopnost. Tím je zajištěn konstantní přísun okysličené krve i při metabolické zátěži. U glaukomatiků bylo prokázáno, že pravidelné cvičení snižuje nitrooční tlak až o 4 mmHg. Taková míra snížení nitroočního tlaku je dostatečná jako ochrana gangliových buněk před dalším nevratným poškozením. Stejně jak může mít pohybová aktivita dobrý vliv na zdravé oko, nemusí tyto účinky mít na oko jedince trpícího kardiovaskulárním nebo cévním onemocněním (hypertenze, ateroskleróza). V tomto případě má cvičení spíše negativní vliv. [31]

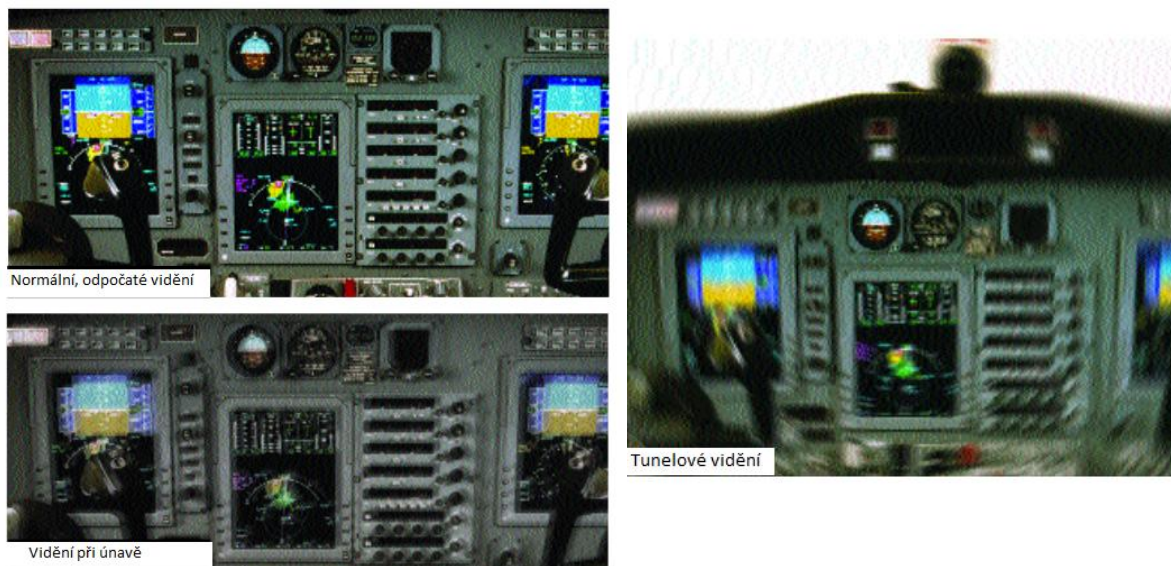
Vzácně se můžeme setkat i s neuro-oftalmologickým syndromem (Uhtoffův syndrom), který se objevuje při výrazném stresu, nadměrné zátěži či vysokých teplotách provázející fyzickou aktivitu. Jedná se o fenomén spojován především s jedinci trpícími roztroušenou sklerózou. Dochází k rozmazanému vidění až k přechodnému omezení zorného pole. S největší pravděpodobností na demyelizovaném optickém nervu dochází k blokaci nervových vzruchů metabolity, které vznikají nadměrně při nadměrném cvičení, či zvýšené tělesné teplotě. [31]

Pozornost si vyžadují také sporty, při kterých je organismus vystaven hyperbarickým podmínkám, jako je potápění nebo vysokohorské horolezectví. Při potápění dochází vlivem prudké změny tlaku k uvolňování inertních plynů. Tento fenomén je známý jako dekompresní choroba. Nejvýznamnějšími projevy tohoto stavu jsou bolesti končetin, otoky, změny barvy

kůže, ale také kardiovaskulární a neurologické potíže. V 7-8 % se setkáváme i se zamlženým viděním, blefarospasmem, nystagmem, diplopií, fotofobií, bolestí očí, výpadky v zorném poli až částečnou kortikální slepotou. Hyperbarická kyslíková terapie může tyto projevy zmírnit či úplně léčit, ale může dojít i ke komplikacím v podobě katarakty, či zúžení zorného pole. Nesprávná manipulace s kyslíkovou potápěčskou maskou může vést k zhmoždění víček, či hematomu spojivky. [31]

Při horolezectví je nejvíce organismus ohrožen výraznou hypoxií. Hypoxie je provázána zvětšením průsvitu cév a tím může v kombinaci s extrémní zátěží dojít ke krvácení do sítnice a tím k prudkému poklesu vidění. [31]

Únavu celého organismu nezpůsobuje pouze fyzická aktivita, ale také aktivita psychická. Velký vliv má především dlouhodobá soustředěná práce do blízka. Jedním z důležitých faktorů, který významně ovlivňuje stav organismu, jsou vnější podněty, jako vibrace a hluk. Tento vliv nejvíce pociťují piloti letadel, kteří v tomto prostředí a za špatných světelných podmínek pracují každý den. Právě u pilotů byl popsán výpadek periferního zorného pole při dlouhodobé námaze. Příčinou může být snaha uchování centrálního vjemu na úkor periferie. Podobné výpadky se popisují také u profesionálních sportovců, jako jsou maratonští běžci, či vytrvalostní cyklisté a plavci. [32]



Obr. 11. Vidění u pilotů ovlivněné únavou a tunelovým viděním.[32, upraveno]

II. Praktická část

6. Studie

Existuje pouze málo studií, které by se zabývaly vlivem pohybové aktivity na zrak. Především se jím zabývá sportovní optometrie. Hlavním problémem je komplikované standardizování a vyhodnocování reakcí. Každý člověk reaguje na stres, který intenzivní námaha představuje jinak. Velký vliv má také trénovanost a fyzický stav osoby. Také zrakové funkce jsou velmi individuální. Největším zadrhelem u většiny dostupných studií je měřitelnost a opakovatelnost měření všech aspektů týkajících se zraku. Ukazuje se, že jediným spolehlivým a zobecnitelným ukazatelem únavy zrakového systému může být mrkání. [nathan] Na základě poznatků, které jsou uvedeny v teoretické části, byla v období od února do dubna 2015 zrealizována experimentální studie, která byla zaměřena na vliv krátkodobé pohybové aktivity na akomodačně-vergenční systém.

Hlavním cílem výzkumu bylo zhodnotit průběh hodnot v průběhu měření (před aktivitou, po aktivitě a po odpočinku) u všech zúčastněných probandů a dále závislost klidových hodnot na velikost změny po aktivitě a po odpočinku. Také bylo zahrnuto zhodnocení refrakční vady ve vztahu k velikosti změny hodnot.

6.1. Soubor a metodika

Studie se zúčastnilo celkem 63 probandů, z toho 33 mužů a 30 žen. Průměrný věk byl $24,25 \pm 3,06$ s rozsahem od 20 do 39 let. Věk probandů byl omezený rozsahem 15 – 40 let. Horní hranice byla určena tak, aby byla zachována plná akomodační šíře, tedy měření nebylo ovlivněno presbyopií. Všechna měření byla prováděna s korekcí, ať už brýlemi, či kontaktními čočkami, na kterou byl proband zvyklý, a velikost vady byla zaznamenávána. Rozsah hodnot refrakce byl od -8,0 D do +10 D ve sféře (při zápisu korekce se záporným cylindrem). Hodnoty astigmatismu nenabývaly až na výjimky nijak významných hodnot (ve třech případech měli probandi cylindr pouze jednoho oka do 2,25 a v jednom případě měl subjekt cylindr jednoho oka 2,75 a druhého oka 2,25). Účast všech probandů byla dobrovolná. Všichni byli nejdříve seznámeni z obsahem, postupem a riziky studie. Svůj

souhlas s účastí, anonymním zpracováním výsledků studie a seznámením se s obsahem studie potvrdili podpisem na informovaném souhlasu. Probandi souhlasili se svou způsobilostí ve studii, ve které byly následující kritéria: Zúčastnění jedinci nesměli mít v době měření diagnostikované žádné oční onemocnění, které by výrazně omezovalo jejich zrakovou ostrost nebo binokulární vidění (katarakta, rohovkové jizvy, výpadky zorného pole, tupozrakost, atd.), nesměli mít žádné systémové onemocnění, které by jim znemožnilo nebo výrazně ovlivňovalo fyzickou aktivitu, nebo by způsobovalo neadekvátní reakci na stresovou zátěž (kardiovaskulární onemocnění, epilepsie, apod.). Předpokládala se normální fyzická zdatnost a trénovanost mladých osob.

Experimentální měření bylo prováděno v prostorách katedry optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. K měření byl použit standartní rotoped Landfit s ukazatelem času, průměrné rychlosti, ujeté vzdálenosti, tepu, spálených kalorií atd. Pro měření blízkého bodu konvergence (NPC) a akomodace (NPA) bylo užito akomodační pravítko. U NPC byl změřen bod rozdvojení a spojení, u NPA bod rozmazání a zaostření (viz. kapitola 4.2.1. a 4.3.2.).



Rotoped Landfit (vlastní fotoarchiv autora)



Akomodační pravítko (vlastní fotoarchiv autora)



Optotyp pro NPC



Optotyp pro NPA

(vlastní fotoarchiv autora)

Metodika měření byla koncipována tak, aby byla možnost co nejdříve měřit změny. Probandi byli po vyplnění informovaného souhlasu požádáni, aby následujících 10 minut nečetli a nepracovali do blízka. Bylo doporučeno, aby v této fázi seděli a dívali se do dálky. Tato část měření byla považována jako referenční klidová fáze, sloužící ke sjednocení fyzického stavu a stavu zrakového systému probandů, kteří se dostavili na měření. Následně probandům byl změřen pomocí akomodačního pravitka blízký bod konvergence binokulárně a blízký bod akomodace monokulárně. Toto měření bylo prováděno v sedě na rotopedu, aby si jedinci odzkoušeli, jestli jsou schopni být měření v této poloze záhy po ukončení pohybové aktivity. Oko, na kterém se měřil NPA, bylo vybráno podle roku narození probanda. U jedinců narozených v lichém roce bylo měřeno levé oko a u jedinců narozených v sudém roce bylo měřeno pravé oko. Následovala aktivní fáze, ve které každý účastník měl ujet na rotopedu vzdálenost 2 km za 4 minuty. Průměrná rychlost tedy byla $30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Nastavena byla minimální možná zátěž. Ujetou vzdálenost a zbývající čas si probandi mohli kontrolovat na displeji rotopedu. Po ujetí požadované vzdálenosti byly opět v sedě na rotopedu změřeny NPC a NPA. Následovala klidová fáze, při které byl proband opět požádán, aby 10 minut nečetl a nepracoval do blízka, ideálně v sedě, stejně jako na začátku studie. Po uplynutí požadované doby byly opětovně naměřeny hodnoty NPC a NPA.

Pro srovnání hodnot po aktivitě, respektive po odpočinku s klidovými hodnotami byl použit dvouvýběrový párový T-test na střední hodnotu na hladině významnosti 5 %. V textu jsou též uvedeny hladiny významnosti p , na kterých by právě došlo k zamítnutí rovnosti dat. Vzájemná závislost mezi studovanými veličinami byla hodnocena korelační analýzou prostřednictvím korelačního koeficientu r . Statistická významnost korelačního koeficientu byla vyhodnocena T-testem na hladině významnosti 5 % (pro daný počet subjektů byla kritická hodnota $r = 0,2803$).

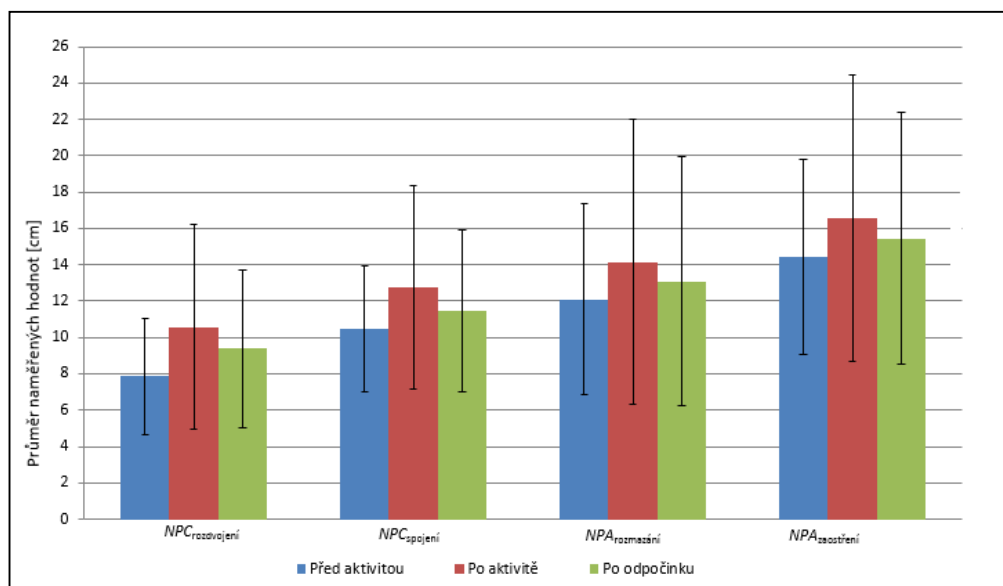
6.2. Rozbor výsledků

Veškeré naměřené hodnoty a získaná data byla zaznamenána, uspořádána a následně statisticky a graficky vyhodnocena. Průměrné hodnoty s příslušnými směrodatnými odchylkami jsou uvedeny v následující Tabulce 1 a seřazeny do Grafu 1.

	$NPC_{rozdvojení}$		$NPC_{spojení}$		$NPA_{rozmazání}$		$NPA_{zaostření}$	
	Průměr	Směrodatná odchylka	Průměr	Směrodatná odchylka	Průměr	Směrodatná odchylka	Průměr	Směrodatná odchylka
Klidová hodnota	7,8	3,2	10,4	3,4	12,1	5,3	14,4	5,4
Po aktivitě	10,6*	5,6	12,8*	5,6	14,2*	5,8	16,6*	7,9
Po odpočinku	9,4*	3,4	11,5*	4,5	13,1	6,7	15,5	6,9

Tabulka 1. Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky naměřených hodnot NPC a NPA v průběhu měření.

Hvězdičkou jsou označeny hodnoty, které se od klidových hodnot před měřením signifikantně liší.



Graf 1. Velikost jednotlivých měřených parametrů. Výška sloupců reprezentuje průměrné hodnoty, délka svislých úseček odpovídá dvojnásobku směrodatné odchylky.

Pro vyhodnocení amplitudy akomodace AA byly hodnoty blízkého bodu akomodace přepočítány pomocí vzorce

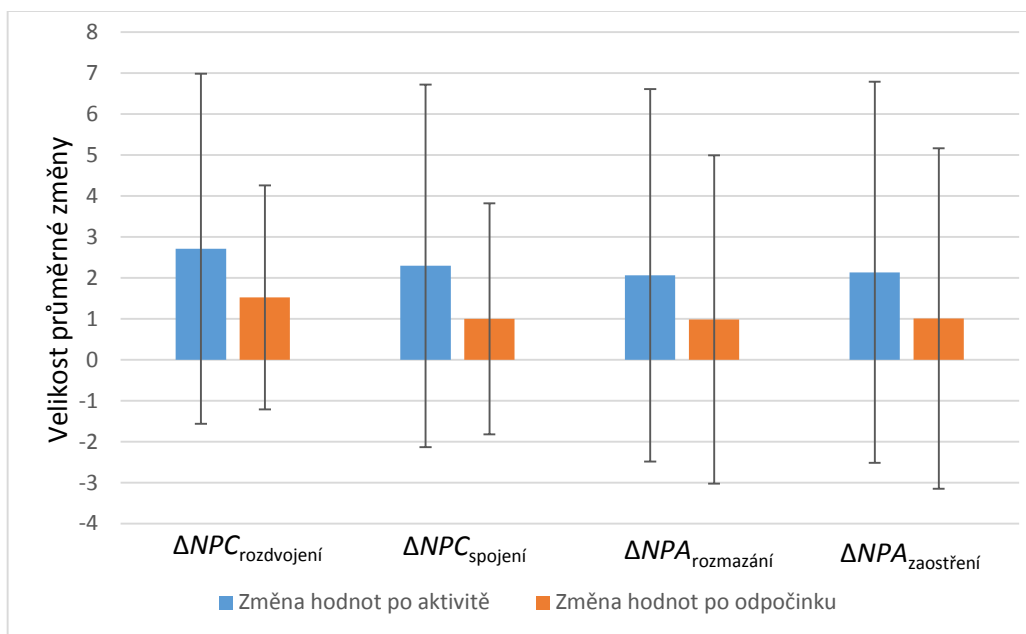
$$AA = \frac{1}{0,01 \cdot NPA} [m]$$

	$AA_{\text{rozmazání}}$		$AA_{\text{zaostření}}$	
	Průměr	Směrodatná odchylka	Průměr	Směrodatná odchylka
Klidová hodnota	9,5	3,1	7,6	2,1
Po aktivitě	8,5*	3,0	6,9*	2,1
Po odpočinku	9,1	3,3	7,3	2,2

Tabulka 2. Přepočítané hodnoty amplitud akomodace. Hvězdičkou jsou označeny hodnoty, které se od klidových hodnot výrazně liší.

Naměřené hodnoty po aktivitě a po odpočinku byly porovnávány s klidovými hodnotami. Největší statisticky významná změna se prokázala u srovnání hodnot rozdvojení NPC po aktivitě ($p < 4,29 \cdot 10^{-06}$), dále pak u srovnání rozdvojení NPC po odpočinku ($p < 3,94 \cdot 10^{-05}$). Srovnání bodu spojení NPC po aktivitě také bylo statisticky významné ($p < 0,12 \cdot 10^{-3}$), stejně tak jako srovnání bodu spojení NPC po odpočinku ($p < 6,56 \cdot 10^{-3}$). Při vyhodnocení NPA se prokázala statistická významnost pouze u srovnání po aktivitě, bod rozmazání ($p < 6,33 \cdot 10^{-3}$) a bod zaostření ($p < 5,54 \cdot 10^{-3}$). Při srovnání hodnot NPA po odpočinku nedošlo k žádné statisticky významné změně ($p = 0,056$, $p = 0,059$).

Dále byla sledována závislost změny hodnot NPC ($\Delta NPC_{\text{rozdvojení}}$, $\Delta NPC_{\text{spojení}}$) a NPA ($\Delta NPA_{\text{rozmazání}}$, $\Delta NPA_{\text{zaostření}}$) po aktivitě, resp. po následném odpočinku na jejich počátečních (klidových) hodnotách. Přitom kladná změna znamenala nárůst veličiny, záporná pokles.



Graf 2. Průměrná velikost jednotlivých změn měřených parametrů. Výška sloupců reprezentuje průměrné hodnoty, délka svislých úseček odpovídá dvojnásobku směrodatné odchylky.

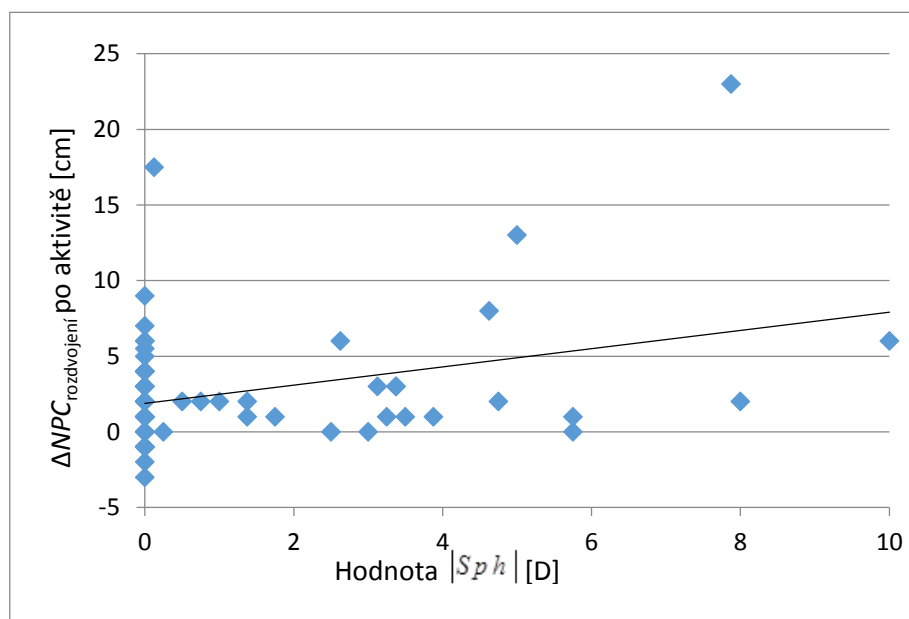
Odpovídající hodnoty korelačního koeficientu r jsou shrnuty v Tabulce 3. Nebyl prokázán žádný statisticky významný vztah mezi počátečními hodnotami a změnou hodnot v průběhu měření, pouze u blízkého bodu akomodace po aktivitě se vypočítané koeficienty korelace přiblížily kritické hodnotě.

Dále byl zkoumán vztah mezi změnou hodnot NPC ($\Delta NPC_{rozdvojení}$, $\Delta NPC_{spojení}$) a NPA ($\Delta NPA_{rozmazání}$, $\Delta NPA_{zaostření}$) v průběhu měření a velikostí vady oka. Kvůli malému množství probandů s významnější astigmaticou korekcí byla sledována pouze průměrná sférická vada, vypočítaná z obou očí. Korelace měřených parametrů se sférickou hodnotou však byla minimální, proto pro další analýzu byla využita pouze absolutní hodnota sférické vady, která vykazovala výraznější korelace. Vypočítané koeficienty korelace jsou uvedeny v Tabulce 3. V této analýze byl již prokázán statisticky významný vztah a to mezi změnou blízkého bodu konvergence po aktivitě, jak $\Delta NPC_{rozdvojení}$, tak $\Delta NPC_{spojení}$, a velikostí absolutní hodnoty průměrné sférické vady. Také byl statisticky významný vztah mezi změnou $\Delta NPC_{rozdvojení}$ po odpočinku a velikostí absolutní hodnoty průměrné sférické vady. Další hodnoty vztahů změny $\Delta NPC_{spojení}$ po odpočinku a změny blízkého bodu akomodace po aktivitě, jak

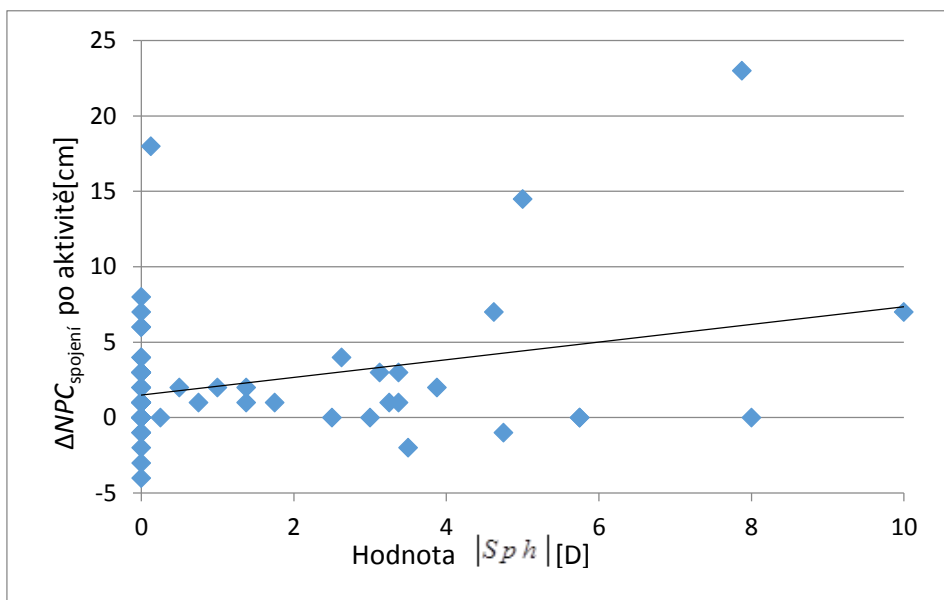
$\Delta NPA_{\text{rozmazání}}$, tak $\Delta NPA_{\text{zaostření}}$, se pouze významně přiblížili k požadované kritické hodnotě koeficientu korelace. Statisticky významné korelace, označené hvězdičkou v Tabulce 3. jsou znázorněny v Grafech 3-5.

	Po aktivitě				Po odpočinku			
	$\Delta NPC_{\text{rozdvojení}}$	$\Delta NPC_{\text{spojení}}$	$\Delta NPA_{\text{rozmazání}}$	$\Delta NPA_{\text{zaostření}}$	$\Delta NPC_{\text{rozdvojení}}$	$\Delta NPC_{\text{spojení}}$	$\Delta NPA_{\text{rozmazání}}$	$\Delta NPA_{\text{zaostření}}$
$NPC_{\text{rozdvojení}}$	0,1053	-	-	-	0,0518	-	-	-
$NPC_{\text{spojení}}$	-	-0,0015	-	-	-	0,0033	-	-
$NPA_{\text{rozmazání}}$	-	-	0,2635	-	-	-	0,0807	-
$NPA_{\text{zaostření}}$	-	-	-	0,2290	-	-	-	0,0353
$ Sph $	0,3307*	0,3108*	0,2562	0,2622	0,3023*	0,2522	0,0282	-0,0051

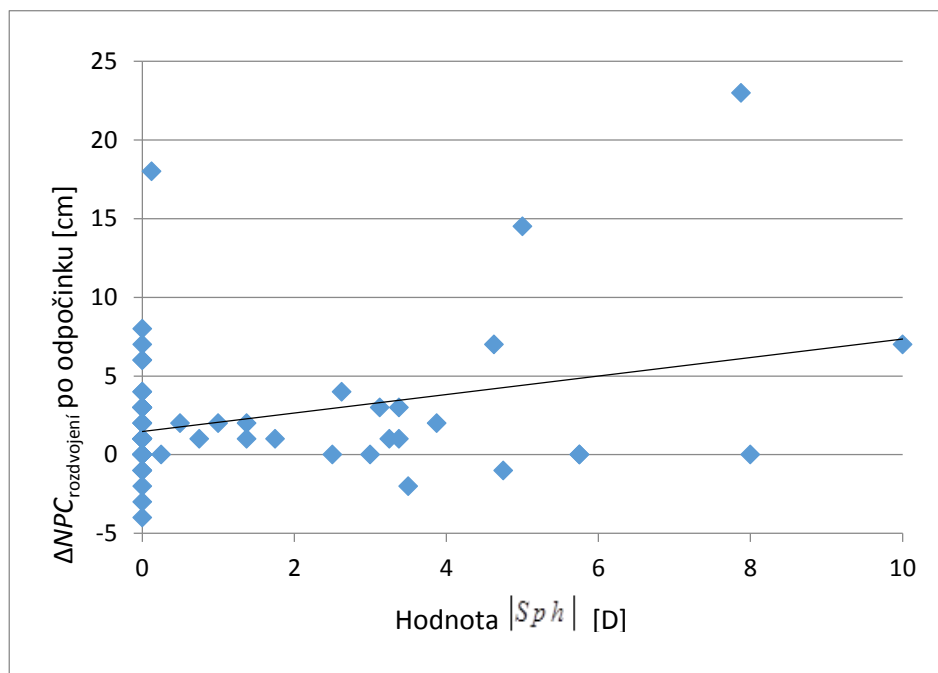
Tabulka 3. Hodnoty korelačních koeficientů mezi změnou sledovaných parametrů ($\Delta NPC_{\text{rozdvojení}}$, $\Delta NPC_{\text{spojení}}$, $\Delta NPA_{\text{rozmazání}}$, $\Delta NPA_{\text{zaostření}}$) a jejich počáteční klidovou hodnotou ($NPC_{\text{rozdvojení}}$, $NPC_{\text{spojení}}$, $NPA_{\text{rozmazání}}$, $NPA_{\text{zaostření}}$) a absolutní velikostí průměrné sférické vady ($|Sph|$). Hvězdičkou jsou označeny hodnoty, které mají signifikantní vztah se změnou naměřených hodnot.



Graf 3. Závislost $\Delta NPC_{\text{rozdvojení}}$ po aktivitě na absolutní hodnotě průměrné sférické vady. Modré body zobrazují jednotlivé probandy, linie označuje lineární závislost.



Graf 4. Závislost $\Delta NPC_{\text{spojení po aktivitě}}$ na absolutní hodnotě průměrné sférické vady. Modré body zobrazují jednotlivé probandy, linie označuje lineární závislost.



Graf 5. Závislost $\Delta NPC_{\text{rozdvojení po odpočinku}}$ na absolutní hodnotě průměrné sférické vady. Modré body zobrazují jednotlivé probandy, linie označuje lineární závislost.

6.3. Diskuse

V experimentální části této diplomové práce byl prokázán vliv krátkodobé pohybové aktivity na akomodačně-vergenční systém. Výsledky byly srovnávány se studií [33], ve které nebyl prokázán efekt běhu, jízdy na kole a běhu do schodů na ostrost vidění, refrakci, velikost zornic a amplitudu akomodace. V experimentální části této práce však byla prokázána statisticky významná změna ihned po aktivitě všech měřených parametrů, dále statisticky významné byly hodnoty změny blízkého bodu konvergence i po odpočinku. Průměrné klidové hodnoty probandů před aktivitou byly vyhodnoceny jako normální vzhledem k hodnotám uvedené v kap. 5.1.2. Po aktivitě se průměrné hodnoty vychýlily mimo normální hodnoty. Po odpočinku se systém vracel zpět k původním hodnotám. Blízký bod konvergence se po aktivitě vzdálil v průměru o 2 cm. Dle studie [34] je možné jako kritickou hodnotu NPC považovat bod rozdělení větší než 9,5 cm. Větší hodnoty se již prokázaly jako symptomatické a měly za následek zhoršené pohodlí při práci do blízka. Blízký bod akomodace se také odchýlil po aktivitě v průměru o asi 2 cm. Tato změna by se mohla také posuzovat jako akomodační nesnadnost, která by mohla způsobovat potíže. Blízký bod konvergence i po aktivitě zůstal blíže, než blízký bod akomodace, stejně jako před aktivitou.

Také byl prokázán statisticky významný vztah velikosti absolutní sférické vady s některými z naměřených parametrů, avšak je třeba dalšího výzkumu, ve kterém se zúčastní více probandů s korekcí, k upřesnění tohoto vztahu. Lze však předpokládat, že velká refrakční vada je významným faktorem, který ovlivňuje rovnováhu celého akomodačně-vergenčního systému.

Celkově můžeme vycházet z předpokladu, že reflex akomodace je vyvinutější než reflex konvergence, a tedy u něj dochází k mnohem větším změnám. Tento fakt může být podložen jak ontogenetickým vývojem, tak svalovou podstatou okohybných svalů, které podléhají významněji změnám celého organismu při fyzické zátěži. Struktura okohybných svalů je uzpůsobená k rychlým a přesným pohybům a svalová vlákna jsou velmi náročná na přísun živin a kyslíku. Intenzivní krátkodobá zátěž celého těla vyvádí celý systém z rovnováhy a za tento krátký čas aktivity nedochází k adaptaci. Proto dochází k distribuci živin především do místa aktuální potřeby.

Ve studii [35] byl kromě změny nitroočního tlaku zkoumán pulzační krevní tok v oku a byla prokázána jeho signifikantní nárůst. Hodnota nejvyššího nárůstu krevního tlaku v oku

koresponduje s hodnotou největšího poklesu nitroočního tlaku. Zatímco hodnoty nitroočního tlaku se vrací do původní hodnoty až za 30 minut, pulzační krevní tok se navrácí k původním hodnotám už za 10 minut. V experimentální části této práce je také zaznamenán částečný návrat ke klidovým hodnotám za 10 minut. Tento čas by se dal vyhodnotit jako minimální doba, za kterou se organismus dokáže ve velké míře vyrovnat s krátkodobou intenzivní zátěží. Bylo by však vhodné také určit dobu, za kterou se parametry měřené v této práci úplně navrátí ke klidovým hodnotám.

Výsledky mohou také mít podstatu v mechanismu řízení těla vegetativním nervstvem, při kterém sympatikus má dominantní roli ve stresové situaci, kterou je výrazná pohybová aktivita, a tím je upřednostněn stav jako při pohledu do dálky. V tomto schématu je poté práce do blízka výrazně oslabena a v nejextrémnějších podmínkách úplně znemožněna, aby nedošlo k poškození tkáně.

Probandi byli v průběhu měření dotazováni, jestli nepocítují výrazné zrakové nepohodlí, výpadky zorného pole, výrazné omezení při pohledu do blízka atd. Žádný takový projev nebyl subjektivně pocíťován. Objektivně však byla pozorovány potíže. U některých probandů bylo potřeba měření provést vícekrát, protože si po aktivitě nebyli jistí, kdy nastává rozdvojení, či rozmazání. Také u NPC se výrazně zvětšil počet probandů, kteří pozorovali před rozdvojením také rozmazání. Tato skutečnost může být posuzována jako snížení schopnosti akomodace, protože rozmazání před rozdvojením při měření NPC je charakteristické u osob v presbyopickém věku.

Závěr

Tato diplomová práce se zabývala tématem vlivu pohybové aktivity na akomodačně-vergenční systém. Cílem bylo shrnout veškeré dostupné zdroje a podat ucelený pohled na faktory, které mohou ovlivnit zrak při fyzické zátěži. První kapitola teoretické části byla věnována osvětlení pojmu pohybová aktivita. Druhá kapitola se zabývala strukturou svalové tkáně a její fyziologií. Ve třetí kapitole byl zmíněn způsob, jakým se transportuje energie v těle a jaký je způsob adaptace na fyzickou zátěž. Čtvrtá kapitola byla zaměřena na akomodačně-vergenční systém, základní funkce a postupy měření vybraných parametrů. Pátá kapitola v krátkosti shrnula vliv vybraných, vysoce zátěžových sportovních aktivit na oko.

V praktické části byla vypracována metodika výzkumu, byl proveden rozbor výsledků a následná diskuze. Byl sledován vliv krátkodobé pohybové aktivity ve formě jízdy na rotopedu na blízký bod konvergence a blízký bod akomodace. Statisticky byla zhodnocena změna hodnot po aktivitě a po odpočinku vůči klidovým hodnotám před měřením. Také byla vyhodnocena korelace mezi změnou hodnot a počátečními klidovými hodnotami a následně mezi klidovými hodnotami a absolutní hodnotou průměrné sférické vady. Výsledky byly zhodnoceny v diskuzi.

Ačkoli existuje v moderní medicíně mnoho způsobů, jak analyzovat parametry oka, dosud nebyly v tuzemských ani zahraničních studiích prokázán významný vliv fyzické zátěže na zrak. Byly popsány pouze některé fenomény, avšak zásadní problém bylo standardizovat projevy únavy. Největším přínosem této práce byla zdokumentovaná statisticky významná změna měřených hodnot po aktivitě. Existují různé formy stresu, mezi které patří i fyzická aktivita, způsobující zásadní vychýlení organismu z rovnováhy. Tento vliv je důležitý nejen pro vrcholové sportovce, ale především pro netréňované jedince, kteří se adaptují na zátěž delší dobu. Oko je velmi citlivý orgán, který velice jemně, přesně a rychle reaguje na tyto změny. Účelem této práce bylo přinést podnět pro další podrobnější studie na tuto tematiku.

Použité zdroje:

- [1] MĚKOTA, K., CUBEREK, R. *Pohybové dovednosti, činnosti, výkony*. Olomouc 2007. ISBN 978-80-244-1728-8
- [2] WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Global recommendations on physical activity for health*. Switzerland 2010, ISBN 978-92-4-159-997-9
- [3] *Pohybová aktivita*.
<http://www.med.muni.cz/centrumprevence/informace-pro-vas/zdravy-zpusob-%09zivota/14-pohybova-aktivita.html> [cit. 2015-3-23]
- [4] MÁČEK, M., RADVANSKÝ, J., ET AL. *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Gálén, 2011. ISBN 978-80-7262-695-3
- [5] KOPECKÝ, M., CICHÁ, M. *Somatologie pro učitele*. Univerzita Palackého v Olomouci, 2005. ISBN 80-244-1072
- [6] SCHERRER, J. *Únava*. Presses Universitaires de France, 1989. Překlad MUDr. Miloš Máček DrSc. Praha 1995. Victoria Publishing, a.s. ISBN 80-85865-73-4
- [7] KITTNAR, O., PROF., MUDR., CSC., A KOL. *Lékařská fyziologie*. Praha, 2011. Grada Publishing, a.s., ISBN 978-80-247-3068-4
- [8] Mourek, J. *Fyziologie, Učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. Grada Publishing, a.s. Praha 2012. ISBN 978-80-247-3918-2
- [9] ČIHÁK, R. *Anatomie 3*. Praha 2009, Grada Publishing, a.s., ISBN: 80-247-0143-X
- [10] STIDWILL, R., FLETCHER, R. *Normal Binocular Vision*, United Kingdom 2011. Blackwell Publishing Ltd. ISBN 978-1-4051-9250-7
- [11] Nathan, J., B.Sc. Some Aspects of Visual Fatigue. *The Australian Journal of Optometry*. July 1961. Page 332-362.
- [12] ECKHARD, L. B., MCLEAN, J. M., AND GOODELL, H. *Experimental Studies on Headache: The Genesis of Pain from the Eye*. Research publications – Association for Research in Nervous and Mental Disease. 23/1943. 209-227.
- [13] GRAHAM, R. H., MD, ET AL. *Extraocular Muscle Anatomy*. Updated: Jun 21, 2013. <http://emedicine.medscape.com/article/1189799-overview> [cit. 2015-4-1]
- [14] ISIKAWA, T. *Fine Structure of the Human Ciliary Muscle*. *Investigative Ophthalmology*. October 1962, Volume 1, Number 5.

- [15] NOVÁKOVÁ, M., BC., MSC. *Neurologie pro Optometrii*. Česká oční optika. 3/2009. 22-24. ISSN 1211-233X
- [16] AUTRATA, R., MUDR., CSC., ČERNÁ, J., MUDR. *Nauka o zraku*. NCO NZO Brno 2006. ISBN 80-7013-362-7
- [17] EVANS., B. J.W. *Binocular Vision Anomalies*. Butterworth. Heinemann, Elsevier, USA, 2007. ISBN 978-0-7506-8897-0
- [18] SCHEIMAN, M., OD, FAAO, GALLAWAY, M., OD, FAAO ET AL. *Nearpoint of Convergence: Test Procedure, Target Selection, and Normative Data*. Optometry & Vision Science: March 2003. Volume 80 . Issue 3. 214-225
- [19] BURD., H. J., JUDGE, S. J., FLAVELL, M. J., *Mechanics of Accommodation of the Human Eye*. Vision Research 39. 1999. 1591-1595.
- [20] VON HELMOHOLTZ, H. *Über die akkommodation des auges (On the accommodation of the eye)*. Albrecht Von Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol. 1855, 1-74.
- [21] GROSVENOR, T., OD., PH.D., FAAO, *Primary Care Optometry*. Elsevier Health Sciences. Missouri, 2007. ISBN 978-0-7506-7575-8
- [22] FINCHAM, E. F. *The Mechanism of Accommodation*. British Journal of Ophthalmology. 1937.8.7-76.
- [23] FISHER, R.F. *The Vitreous and Lens in Accommodation*. Trans Ophthalmol Soc U K. 1982. 102/3. 318-322.
- [24] SCHACHAR, R.A. *Cause and treatment of presbyopia with a method for increasing the amplitude of accommodation*. Ann Ophthalmol.1992;24(12):445–447
- [25] COLEMAN, D. J., MD, FISH, S. K., MD. *Presbyopia, accommodation, and the mature catenary*. September 2001. Volume 108. Issue 9. Pages 1544–1551
- [26] GOLDBERG, D. B. MD. *Computer-animated Model of Accommodation and Theory of Reciprocal Zonular Action*. Clinical Ophthalmology. October 2011/5. 1559-1566.
- [27] GOLDBERG, D. B. MD. *Understanding Accommodation*. Cataract and Refractive Surgery. April 2014.
<http://crstodayeurope.com/2014/04/understanding-accommodation/> [cit.2015-4-5]
- [28] CHASE, C., TOSHA, C., BORSTING., E., RIDDER, W. *Visual Discomfort and Objective Measures of Static Accommodation*. Optometry and Vision Science. July 2009. 883-9.

- [29] TAUB, M. B., OD, MS, FAAO, FCOVD; SHALLO-HOFFMANN, J., PHD, FAAO. *A Comparison of Three Clinical Tests of Accommodation Amplitude to Hofstetter's Norms to Guide Diagnosis and Treatment*. Optometry & Vision Development. 2012. Vol. 43. Issue 4. 180.
- [30] HOFSTETTER, H. W. *A Comparison of Duane's and Donder's Tables of the Amplitude of Accommodation*. American Journal of Optometry and Academic Optometry. 1944/21/9. 345-363.
- [31] Hilton, E., BSc., Ph.D. *Exercise-Eyes Effects of Exercise on Ocular Health*. Optometry Today. August 2003.
- [32] NOVACEK, P. *How Can Avionics Help Reduce Pilot Fatigue?* Avionics News. April 2003. 50-54.
- [33] WOODS, R. L., THOMSON, W. D. *Effects of exercise on aspects of visual function*. *Optical Physiol. Opt.* 1995 Vol. 15. No. 1. 5-12.
- [34] HAMED., M. M. GOSS, D., MARZIEH, E. *The relationship between binocular vision symptoms and near point of convergence*. Indian Journal of Ophthalmology. July 2013. 61(7): 325-328.
- [35] PRICE, E. L., BSc. ET AL. *Effect of Exercise on Intraocular Pressure and Pulsatile Ocular Blood Flow in a Young Normal Population*. Optometry & Vision Science. June 2003. Volume 80. Issue 6. 460-466

Použité obrázky

[36] Metabolic equivalent. Dostupné z:

<http://www.whyexercise.com/metabolic-equivalent.html>. [cit 2015-4-2]

[37] Structure of Skeletal Muscle. Dostupné z:

<http://163.178.103.176/CasosBerne/3cMusculo/Caso12-1/HTMLC/CasosB2/ATP/amuscle.html>.

[cit 2015-4-20]

[38] The Extrinsic Eye Muscles.jpg. Dostupné z:

http://cnx.org/contents/14fb4ad7-39a1-4eee-ab6e-3ef2482e3e22@6.27/Anatomy_&_Physiology.

[cit. 2015-3-14]

[39] Dilator pupillae. Dostupné z:

<http://images.frompo.com/a7ebff59c091d8a72c8e9be621c2cfb9>. [cit 2015-4-13]

[40] Accommodation. Dostupné z:

<http://atlasofophthalmology.org/ciliary-body/> [cit. 2015-4-2]

[41] Schematic presentation of ciliary muscle. Dostupné z:

<http://www.yourarticlelibrary.com/biology/human-beings/orbit-the-blood-vessels-system-of-the-orbit-of-human-eyes-8329-words/9827/> [cit. 2015-4-19]

[42] Eye, Brain, Vision. Dostupné z: <http://hubel.med.harvard.edu/book/b54.htm> [cit.2015-4-3]

[43] Cama 2.0 composite model showing the eye in accommodation. Dostupné z:

<http://ophthalmologytimes.modernmedicine.com/ophthalmologytimes/content/tags/accommodation-and-presbyopia/updated-computer-animated-model-elevate?page=full> [cit. 2015-3-10]

[44] Duane´s standard curve of accomodation. Dostupné z:

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0004-27492000000600011&script=sci_arttext&tlng=en
[cit. 2015-4-16]