

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI
KATEDRA OPTIKY



VIZUÁLNÍ EVOKOVANÉ POTENCIÁLY

Diplomová práce

VYPRACOVALA:

Bc. Elena Schmidtová

B5435 - Specializace ve zdravotnictví

Optometrie

Studijní rok 2012/2013

VEDOUcí DIPLOMOVÉ PRÁCE:

RNDr. Mgr. František Pluháček Ph.D.

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením mého školitele RNDr. Mgr. Františka Pluháčka Ph.D. a za použití literatury, která je uvedena v seznamu použité literatury.

V Olomouci, dne 1.7, 2013

.....

Elena Schmidtová

Poděkování:

Tímto bych chtěla poděkovat RNDr. Mgr. Františkovi Pluháčkovi Ph.D. za odborné vedení práce, možnost konzultací a přínosné rady. Dále bych chtěla poděkovat MUDr. Bohumilu Matušíku za rady a konzultace z oblasti neurologie a možnost užívání přístroje Medtronic, bez kterého bych nebyla schopna vypracovat svou praktickou část diplomové práce. Dále bych chtěla dát dík MUDr. Zuzaně Chovancové za vypůjčení vyšetřovací skříně pro účely výkonu praktické části diplomové práce. Nakonec bych chtěla poděkovat všem, kteří se aktivně i pasivně podíleli na vzniku této práce.

OBSAH

1. ÚVOD	5
2. ZÁKLADY NEUROFYZIOLOGIE	6
2.1. <i>Nervová soustava</i>	6
2.2. <i>Neuron</i>	7
2.2.1. Stavba neuronu	7
2.2.2. Typy neuronů	8
2.2.3. Funkce neuronu	9
2.3. <i>Vznik a vedení nervového vzruchu</i>	10
2.3.1. Elektrické projevy vzruchu	10
2.3.2. Šíření vzruchu	11
2.4. <i>Synapse</i>	12
2.5. <i>Aferentní systém</i>	13
2.5.1. Senzitivní nervové zakončení	13
2.5.2. Mechanismus aferentace	14
2.6. <i>Bioelektrická mozková činnost</i>	14
3. ZÁKLADNÍ ANATOMICKÉ A FYZIOLOGICKÉ POZNÁMKY KE ZRAKOVÉMU SYSTÉMU	15
3.1. <i>Sítnice</i>	15
3.1.1. Topografie sítnice	15
3.1.2. Stavba sítnice	16
3.2. <i>Transformace světelného signálu v elektrický</i>	17
3.3. <i>Zraková dráha</i>	19
3.3.1. 1. neuron – Fotoreceptory	20
3.3.2. 2. neuron – Ganglion retinae	20
3.3.3. 3. neuron – Ganglion opticum	21
3.3.4. Zrakový nerv a chiasma opticum	21
3.3.5. 4. neuron – Corpus geniculatum laterale	22
3.3.6. Optická radiace	22
3.3.7. Zraková kůra	23
3.4. <i>Receptivní pole</i>	24
3.5. <i>Zraková diskriminace</i>	26
3.6. <i>Zraková ostrost</i>	27
4. EVOKOVANÉ POTENCIÁLY	28
4.1. <i>Obecná charakteristika</i>	28
4.2. <i>Princip vzniku evokovaného potenciálu</i>	28
4.3. <i>Technické předpoklady</i>	29
4.3.1. Stimulátor	29
4.3.2. Elektrody	30
4.3.3. Zesilovač	31
4.3.4. Zprůměrnovač	31

5.	ZRAKOVÉ EVOKOVANÉ POTENCIÁLY	32
5.1.	<i>VEP na zábleskový podnět</i>	32
5.1.1.	Stimulace a stimulátor	33
5.1.2.	F VEP křivka	33
5.1.3.	Hodnocení F VEP	34
5.1.4.	Využití F VEP	34
5.2.	<i>VEP na strukturovaný podnět</i>	34
5.2.1.	Stimulace a stimulátor	34
5.2.2.	Vznik EP na strukturovaný podnět	35
5.2.3.	Křivka PR VEP	36
5.2.4.	Hodnocení PR VEP	36
5.2.5.	Elektrody	37
5.2.6.	Vliv fyzikálních faktorů na PR VEP	38
5.2.7.	Vliv fyziologických faktorů na PR VEP	42
5.2.8.	Nejčastější abnormality hodnocené dle PR VEP	44
6.	VÝZKUMNÁ ČÁST	45
6.1.	<i>Úvod</i>	45
6.2.	<i>Metodika</i>	45
6.2.1.	Výběr probandů	46
6.2.2.	Nastavení přístroje	46
6.2.3.	Elektrody	47
6.2.4.	Vlastní měření	48
6.2.5.	Zpracování výsledků a výpočet objektivního vízu	49
6.2.6.	Subjektivní stanovení vízu	49
6.3.	<i>Výsledky</i>	50
6.3.1.	Grafické zpracování	50
6.3.2.	Shrnutí výsledků	56
6.4.	<i>Diskuze</i>	57
7.	ZÁVĚR	60
8.	POUŽITÉ ZKRATKY	62
9.	POUŽITÁ LITERATURA	63
10.	PŘÍLOHA	67
10.1.	<i>Vysvětlivky</i>	67
10.2.	<i>Vyšetřovaný č. 1</i>	67
10.3.	<i>Vyšetřovaný č. 2</i>	68
10.4.	<i>Vyšetřovaný č. 3</i>	69
10.5.	<i>Vyšetřovaný č. 4</i>	70
10.6.	<i>Vyšetřovaný č. 5</i>	71

1. ÚVOD

Předkládána diplomová práce nese název Vizuální evokované potenciály. Problematika zrakových evokovaných potenciálů mnohdy přesahuje rámec znalostí řádového optometristy. Vysvětluji si to tím, že v pracovním životě se s touto tematikou běžně neseťká. Bližší je lékaři neurologovi či oftalmologovi. Já jsem však měla možnost pohybovat se na hraně výběru mezi specialistou lékařem a optometristou. Můj otec je totiž neurolog, který ve své praxi provádí měření evokovaných potenciálů, a to i těch zrakových. Tím jsem získala příležitost dané téma lépe poznat a prostudovat. Nakonec zaujalo mě natolik, že jsem si jej vybrala jako téma pro vypracování své závěrečné práce. Cíl této diplomové práce spočívá v přiblížení problematiky evokovaných vizuálních potenciálů mým kolegům, současně bych ráda našla jejich uplatnění pro naši současnou i budoucí praxi.

Diplomová práce je rozdělena do dvou hlavních oblastí, teoretické a praktické. Teoretická část by měla sloužit k objasnění a pochopení pojmů, které souvisejí s částí praktickou.

V praktické části využívám přístroj pro snímání evokovaných zrakových potenciálů. Dle literatury jsem zjistila, že na základě vyvolaných zrakových odpovědí lze měřit zrakovou ostrost a refrakci. Je to jedna z dalších objektivních metod stanovení vízu, kterou však majoritní většina optometristů ve své praxi nepoužívá. Z tohoto důvodu jsem se rozhodla metodiku vyzkoušet. Cílem experimentální části je zjistit, jak přesné je dané měření v porovnání se subjektivně stanoveným vízem, jak je metodika náročná, zda-li by bylo pro optometristy přínosem tuto metodu využívat, a v kterých případech by tak bylo možné.

Teoretická část slouží k pochopení vlastního výzkumu. Z tohoto důvodu zde budou zmíněny základy neurofyzologie, především vznik a šíření nervového vzruchu. Čtenář se také dozví nezbytně nutné informace o transformaci a vedení světelného signálu zrakovou dráhou a pochopí zpracování zrakové informace mozkiem. Do potřebné míry se budu věnovat také samotným evokovaným potenciálům, jejich principem vzniku a technickým předpokladům pro jejich snímání. V závěru teoretické části budou rozepsány samotné zrakové evokované potenciály a možnosti jejich snímání.

2. ZÁKLADY NEUROFYZIOLOGIE

2.1. Nervová soustava

Nervová soustava je hlavní řídicí a integrační jednotkou organismu. Řídí správnou funkci všech orgánů v těle a zajišťuje komunikaci mezi vnějším prostředím a organismem. Je schopna informace přijímat, zpracovat a vést je, a adekvátně na ně reagovat. Nervová soustava se skládá se z neuronů, glií a kapilárního řečiště. Neuron je funkční, glie podpůrnou jednotkou nervové soustavy. Kapiláry mají úlohu výživy.

U člověka rozlišujeme centrální nervovou soustavu (CNS) a periferní nervovou soustavu (PNS). CNS je tvořena hřbetní míchou a mozkem. Skládá se z bílé a šedé hmoty míšní. Zastupuje senzorycké funkce, jako jsou například zrakové a somatické výkonné funkce, tedy hybnost.

PNS je složena z periferních nervů a nervových uzlin. Periferní nervy spojují CNS s periferií organismu. PNS tvoří vegetativní nervový systém a mozkomíšní nerstvo. Činnost vegetativního neboli autonomního nervstva nepodléhá naší vůli a je tedy schopné relativně nezávislé činnosti na CNS. Skládá se z parasympatických a sympatických nervů, které se chovají antagonisticky. Inervují například hladké svalstvo. Mozkomíšní nervy dělíme na hlavové a míšní. Hlavových nervů je celkem 12, mezi které řadíme také nervus opticus. Mozkomíšní nervy mají složku aferentní a eferentní a jsou tedy schopny vést informace dostředivě i odstředivě. Dostředivě k CNS, kdy přivádějí informace z vnitřního a vnějšího prostředí k jejich zpracování. V tomto případě mluvíme o senzitivních aferentních nervech. Odstředivě vedou informace z CNS do periferie a mohou mít funkci motorickou, sekreční, trofickou či vazomotorickou. [1, 2, 4, 15, 16]

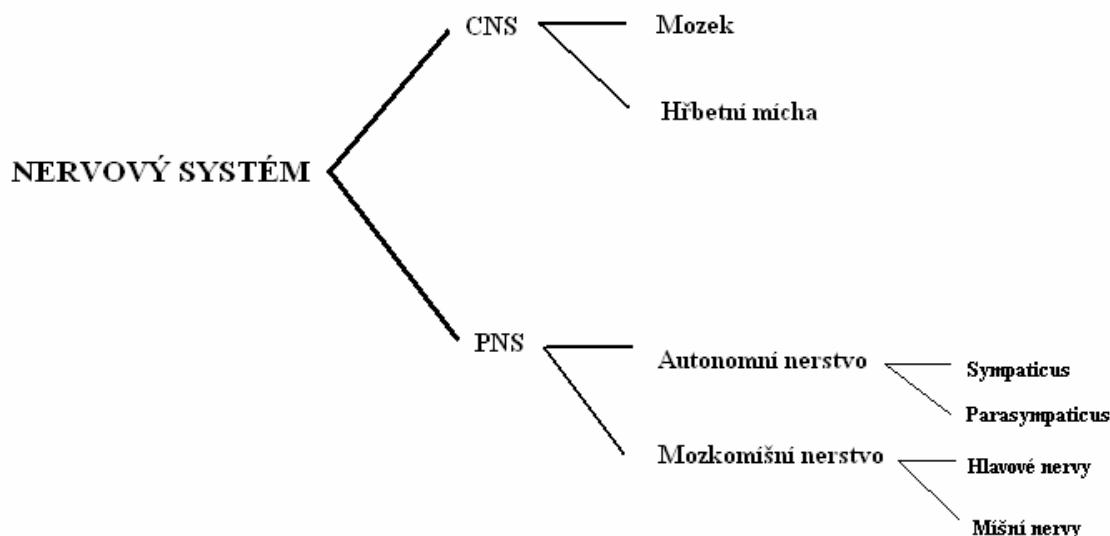


Schéma č. 1

Rozdělení nervového systému

2.2. Neuron

Neuron je anatomickou, funkční a trofickou jednotkou nervové soustavy člověka. Neurony jsou převážně soustředěny v CNS. V mozku dosahuje jejich počet 80 – 100 miliard. Nerozmnožují se, jejich množství je konstantní do 20. roku života, poté postupně klesá. Pokud je porušeno tělo neuronu, nejsou schopny regenerace.

Nervové buňky se svými výběžky vytvářejí prostorovou síť, avšak individuálně je každý neuron schopný vzruch přijímat i odvádět na další buňku. Kontakt mezi výběžky dvou neuronů je tvořen synapsí.

2.2.1. Stavba neuronu

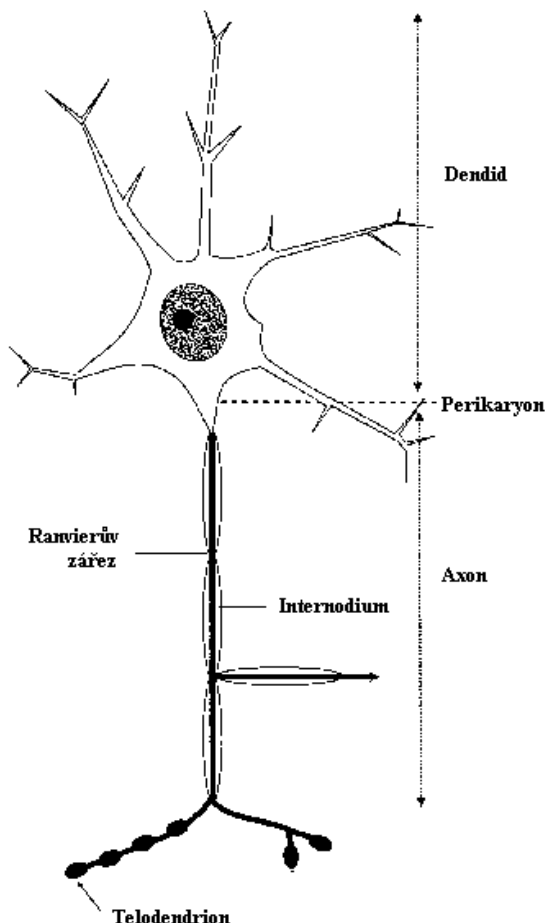
Neuron se skládá z perikaryonu neboli těla nervové buňky a výběžků nervových vláken.

Perikaryon je tvořen plazmatickou membránou, neuroplazmou a nejméně jedním jádrem s jádérkem. Neuroplazma je silně dráždivá a schopna na dráždění reagovat. Od perikaryonu vycházejí dva druhy nervových vláken – dendrit a axon.

Dendrit je recepční zóna neuronu, přijímá vzruchy a vede je směrem k nervové buňce, neboli celulipetálně. Vlákná dendritu jsou krátká, tenká, často se

mnohočetně větví, podobně jako větve stromu. Velikost povrchu recepční zóny určuje kolik impulzů je schopný daný neuron v určitou chvíli přijmout.

Axon, označovaný též jako vodivý aparát neuronu, vede vzruch celulifugálně. Vlákno bývá jedno a může dosahovat délky i jednoho metru. Větví se zpravidla až na konci svého průběhu. Toto terminální větvení nazýváme telodendrion, efektor



neuronu. Nasedají na něj tzv. butony, které vytváří synaptické spojení s jinými buňkami. Vyjma telodendrionu je axon ve většině případů kryt obaly.

Nejčastější obal neuritu je sestaven z myelinu. Ten je produktem podpůrných buněk nervové soustavy, glií. Myelinová pochva není v celém svém průběhu jednotná, ale v 1-3 milimetrových úsecích bývá přerušena tzv. Ranvierovými zářezy. Axon je v těchto místech odhalen a přichází do kontaktu s extracelulárním prostorem. Úsek neuritu vymezený dvěma Ranvierovými zářezy se nazývají internodium. Je to funkční jednotka nervového vlákna. [1, 2, 3, 4]

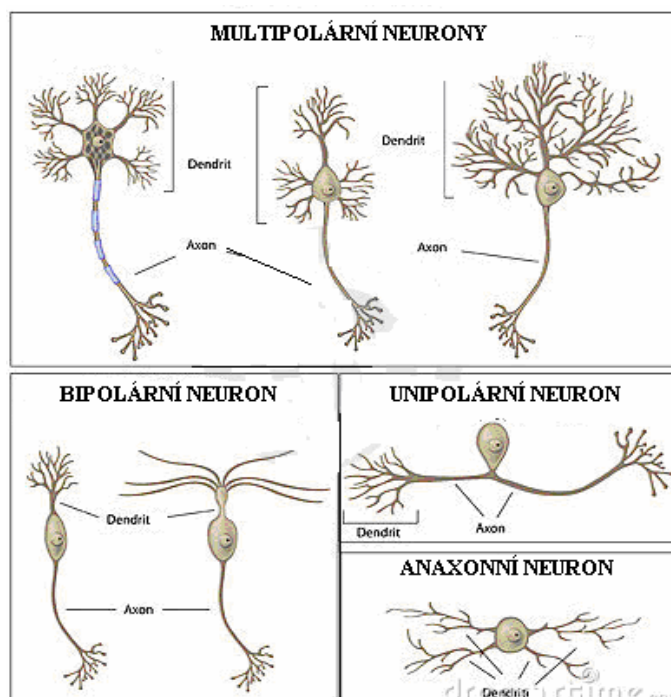
Obr. č. 1 [1]

Neuron

2.2.2. Typy neuronů

Podle počtu a charakteru výběžků rozeznáváme tyto typy neuronů: pseudounipolární, unipolární (tyčinky a čípky), bipolární (2.neuron zrakové dráhy), multipolární (3.neuron zrakové dráhy) aanaxonní (amakrinní buňka sítnice). Unipolární neuron má přeměněný dendrid na receptor. Nacházíme jej u smyslových buněk, fotoreceptorů. Bipolární neuron je uspořádán tak, že na jedné straně buněčného těla je dendrid, na straně druhé axon. Multipolární neurony se vyskytují v CNS

nejčastěji. Mají jeden axon a několik dendritů. Anaxonní buňky neobsahují axon, mají pouze buněčné tělo a několik dendritů. Pomocí synapsí se spojují s dalšími dendrity jiných neuronů. [2, 3, 31]



Obr. č. 2 [2]
Typy neuronů

2.2.3. Funkce neuronu

Funkce neuronu je trofická a specifická. Ta specifická spočívá v tvorbě a vedení nervového vzruchu. Ke vzniku nervového vzruchu je zapotřebí podnět o určité, prahové energii. Působení podnětu nazýváme dráždění neboli stimulace. Neuron je schopen přenášet nezměněnou informaci o nadprahovém dráždění na relativně velkou vzdálenost. Jednotlivé neurony se navzájem přidružují a společně tvoří nervové dráhy.

Dle funkce rozlišujeme neurony na senzitivní aferentní, motorické eferentní a interneurony. [1, 2, 31]

2.3. *Vznik a vedení nervového vzruchu*

2.3.1. Elektrické projevy vzruchu

Ke vzniku vzruchu je zapotřebí **stimul**, a to o určité prahové intenzitě. Nazýváme též jako prahový podnět. Ten vyvolá akční potenciál, který se šíří po membráně nervového vlákna s maximální amplitudou. Pokud je jeho intenzita nedostačující (podprahový podnět), ke vzruchu nedojde a akční potenciál nevznikne. Řídí se dle zákona „vše anebo nic“.

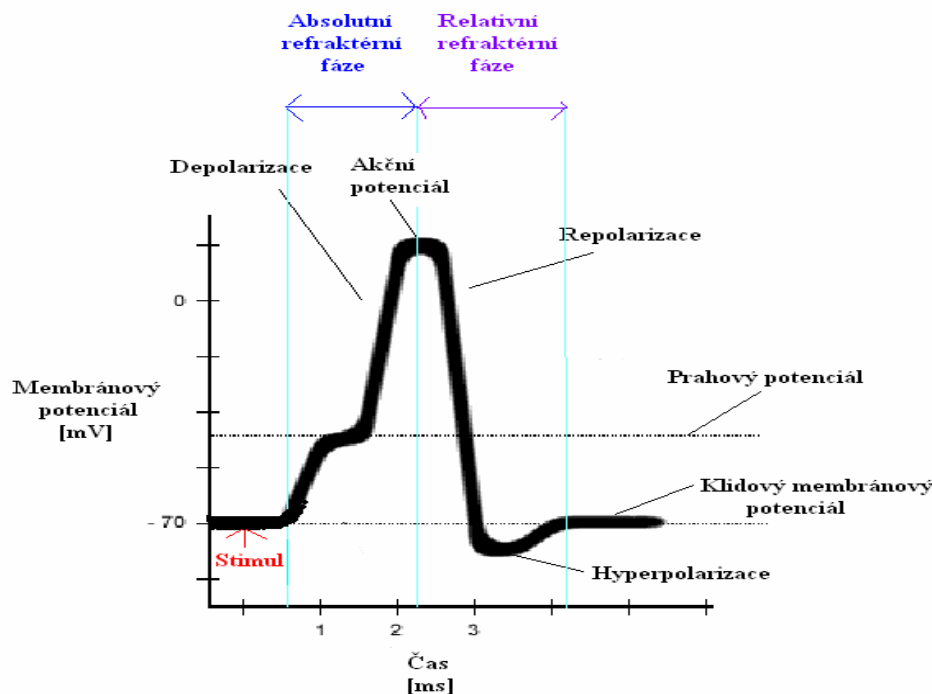
Neuron má obecně nízký práh dráždivosti. Podnět může mít charakter mechanický, tepelný, elektromagnetický, elektrický, chemický, atp. Některé neurony se během vývoje staly citlivé pouze na podněty o určitém charakteru. Tyto podněty pak značíme jako adekvátní.

Buňka, která je v klidu, si udržuje stálý, **klidový membránový potenciál**. Hodnota aktuálního potenciálu je výsledkem rozdílu elektrického potenciálu mezi vnější a vnitřní stranou semipermeabilní buněčné membrány. V klidovém stavu se pohybuje v rozmezí -60 - -100 mV, a to v závislosti na typu buňky. Vnitřek buňky je oproti vnějšku negativní a buněčná membrána je tak polarizována. Tento stav je dán nerovnoměrným rozložením základních fyziologických iontů (K⁺, Cl⁻, Na⁺, Ca²⁺) na obou stranách membrány, je udržován metabolickou aktivitou buňky a zabezpečován sodíko-draslíkovou pumpou.

Jestliže buněčnou membránu dráždíme, v místě podráždění dojde ke změně propustnosti pro základní ionty, především K⁺, Na⁺ a tedy i ke změně membránového potenciálu. Nadprahovým podnětem se kladný potenciál vnější buněčné membrány mění na záporný a vzniká **akční potenciál**. Dochází k obrácení polarity neboli **depolarizaci**. Vlna elektrické negativity (akční potenciál) se s určitou stálou rychlostí a bez úbytku amplitudy lavinovitě šíří po celém povrchu membrány. Toto šíření označujeme **vzruchem**. Po vlně depolarizace následuje vlna **repolarizace**, která navrací buňku do původního, klidového stavu.

V případě, že vlákno není v danou chvíli ani vzrušivé ani vodivé, nachází se v tzv. **absolutní refrakterní fázi**. Po absolutní nastává fáze **relativní**. V tuto dobu jsme již schopni vyvolat nový vzruch, avšak pouze podněty o vyšší intenzitě. Refrakterní fázi dráždivosti neuronu je zajištěno vedení jednoho akčního potenciálu po

jediném podnětu a šíření vzruchu pouze v jednom směru. Její délka pak určuje, kolik nervových vzruchů může axon převést za jednu sekundu. Frekvence bývá mezi 150 – 800 Hz. [1, 2, 3, 4, 6, 9, 17]



Obr. č. 3 [3]

Akční potenciál a refraktérní fáze

2.3.2. Šíření vzruchu

Dle stavby neuronu můžeme šíření vzruchu rozdělit na **kontinuální** a **saltatorní**. Kontinuální nalézáme u vláken bez myelinové pochvy. Jedná se o výše popsaný děj šíření akčního potenciálu.

U vláken s myelinovou pochvou se šíření vzruchu označuje jako **saltatorní**. V tomto případě se axon dostává do kontaktu s mimobuněčným prostředím pouze v oblasti Ranvierova zářezu. Tím je umožněno, že impulz se šíří od jednoho zářezu ke druhému přeskokem. Akční potenciál v oblasti Ranvierova zářezu má stejný tvar jako u nemyelizovaného vlákna, rychlost šíření je však až 10x vyšší. S rostoucí vzdáleností intenzita vzruchu neklesá.

Rychlost vedení tedy závisí na typu, průměru a stavbě vlákna a pohybuje se v rozmezí od 0,5 – 120 m/s. Pro dané nervové vlákno je však konstantní.

„**Vodivost** nervového vzruchu je funkcí času a vzdálenosti.“ [1, str. 667] Je určen axoplazmatickým odporem nervového vlákna. Matematicky ho můžeme vyjádřit vtahem:

$$I = E/R,$$

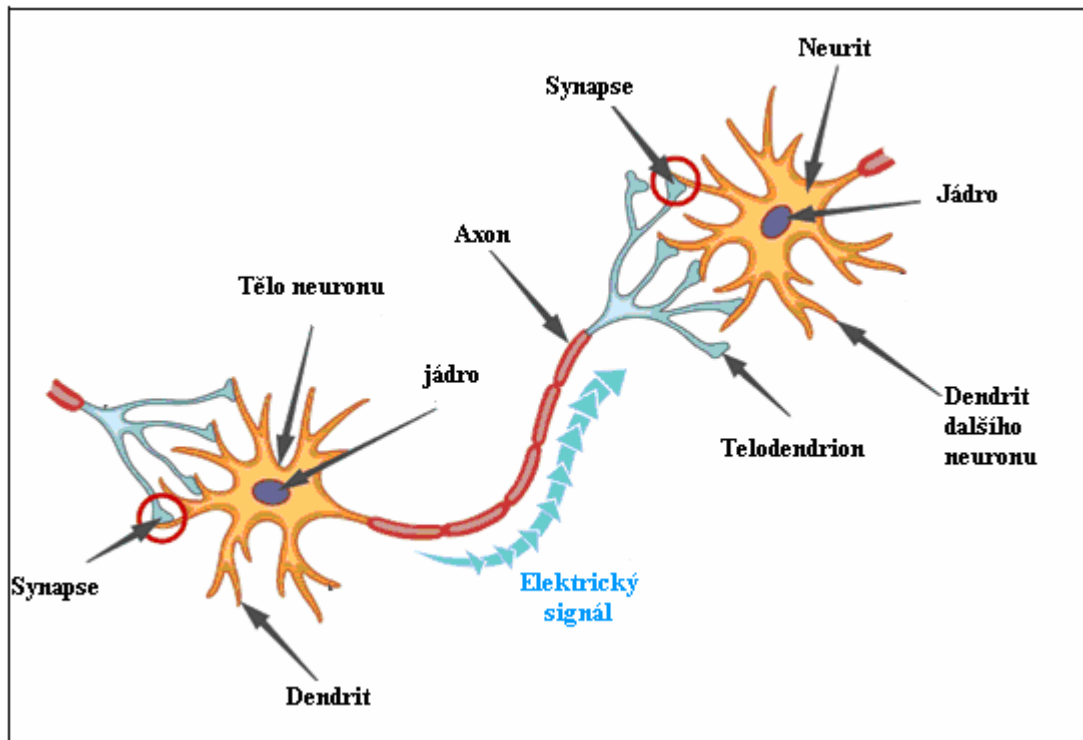
kde E je rozdíl napětí a R je impedance vodiče. [1, 6]

2.4. *Synapse*

Pojem synapse zavedl v roce 1906 Sir Charles Sherrington. Jeho význam byl funkční a znamenal přenos vzruchu z jednoho neuronu na druhý. Později Williams použil pojem synapse jako místní určení kontaktu dvou neuronů. Dnes se užívají oba významy.

Synapse je definována jako funkční spojení dvou buněčných membrán, z nichž alespoň jedna je membrána nervové buňky a je schopna zajistit převod vzruchu z jedné buňky na druhou. Existují spojení interneuronální, neuroreceptorové, neuroglandulární a neuroefektorové. Dokážou tak přenést vzruch z jednoho neuronu na druhý (interneuronové synapse) či předat informace z neuronu na výkonný orgán (motorická ploténka, neuron – buňka hladkého svalu, neuron - buňka endokrinního orgánu, atp.). Dle typu přenosu vzruchu dělíme interneuronální synapse na elektrické a chemické. Každá synapse se skládá z presynaptické a postsynaptické části, mezi nimi se nalézá synaptická štěrbina.

Mezi důležité vlastnosti synapsí patří jejich konvergentní a divergentní uspořádání. **Konvergentní uspořádání** synapsí znamená, že na jednu synapsi je napojeno několik axonů z jiných nervových buněk. Toto uspořádání zajistí převod vzruchu z jednoho axonu na několik neuronů. Naopak, pokud se axon před synapsí větví a vytváří spojení s více buňkami, jedná se o **divergenci**. V tomto případě se vzrušovací aktivita zesiluje. Konvergence a divergence tvoří anatomický základ pro zpětnou vazbu regulačních okruhů nervové soustavy. Uskutečňuje se na úrovni míchy, subkortikálně i kortikálně. [1, 4, 5, 18, 19, 31]



Obr. č. 4 [4]

Propojení neuronů

2.5. Aferentní systém

2.5.1. Senzitivní nervové zakončení

Jsou to periferní, senzitivní nervová zakončení dendridů označované jako receptory. Přijímají podněty z vnějšího a vnitřního prostředí organismu v různých formách energie (mechanická - tlak, dotyk - *mechanoreceptory*; elektromagnetická – světlo - *fotoreceptory*; chemická – vůně – *chemoreceptory*; atp.) a dokáží je transformovat na nervový vzruch. Nakupení receptorů a dalších buněk se souhrnně označuje jako smyslový orgán.

Pokud podnět se stálou intenzitou působí na receptor delší dobu, frekvence vzruchové aktivity se snižuje a dochází k adaptaci receptorů. Aktivita receptorů může být regulována také CNS či funkčním stavem sousedních receptorů. Jako příklad uvádím laterální inhibici fotoreceptorů, kdy po podráždění daného receptoru je aktivita okolních tlumena (viz. podkap.3.4) [1, 4]

2.5.2. Mechanismus aferentace

Receptor dráždíme adekvátním podnětem, a tak vzniká generátorový, receptorový potenciál. Má charakter stupňovité odpovědi a pokud dosáhne prahové amplitudy, vyvolá vzruchovou aktivitu. Vzruch je dále veden aferentním systémem jako kódovaná informace do specifické oblasti kůry CNS, kde je převeden na počítky. Z primární korové oblasti je informace následně převáděna do asociačních oblastí k dalšímu zpracování. Během vedení vzruchu dochází na synapsích k filtraci a integraci signálu. [1, 4, 9]

2.6. Bioelektrická mozková činnost

Mezi zjevné projevy mozkové činnosti řadíme jeho bioelektrickou aktivitu. Na vzniku této aktivity se podílí elektrická aktivita nervové buňky, nervového vlákna a synapsí při přenosu vzruchů aferentními drahami. Vytváří se také činností efektorních systémů a zpětnovazebných kontrolních mechanismů. [1]

Dle velikosti a umístění elektrod jsme schopni registrovat buď elektrickou aktivitu jednotlivých nervových buněk nebo celkovou aktivitu mozku. Bioelektrickou aktivitu jednotlivých neuronů snímáme pomocí mikroelektrod, celkovou aktivitu mozku pak pomocí větších kulatých elektrod připevněných na povrch hlavy metodou elektroencefalografie (EEG). Můžeme registrovat jejich spontánní či evokovanou aktivitu. Evokovanou odpověď získáme buď drážděním receptorové oblasti adekvátním či elektrickým podnětem, anebo drážděním nervových vláken elektrickým podnětem v průběhu jeho aferentní dráhy. Evokovaný potenciál registrujeme pouze v podkorových či korových centrech příslušné ascendentní dráhy.

Na záznamu elektroencefalografu můžeme rozlišit několik vln o různé frekvenci a amplitudě vzniklé spontánní aktivitou mozku. Nazýváme je alfa-rytmus, beta-rytmus, theta-rytmus a delta-rytmus. Alfa-rytmus je přítomen v bdělém stavu při zavřených očích. Maximální amplitudy dosahuje v oblasti parieto-okcipitální. Z tohoto důvodu mohou být snímané zrakové potenciály překryty vlnami spontánního alfa-rytmu. Oddělení spontánní a evokované aktivity je umožněno počítači. [1, 4, 6, 9]

3. ZÁKLADNÍ ANATOMICKÉ A FYZIOLOGICKÉ POZNÁMKY KE ZRAKOVÉMU SYSTÉMU

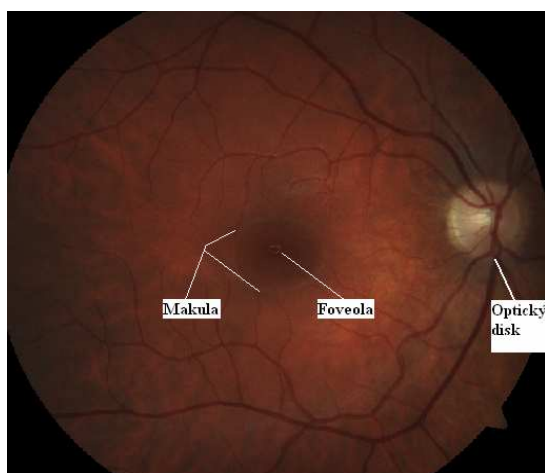
3.1. Sítnice

3.1.1. Topografie sítnice

Sítnicí označujeme nejvnitřnější vrstvu oční koule. Dělí se na slepou část bez světločivných buněk a optickou, vlastní senzoricou část. Pars coeca retinae je tvořena dvouvrstevným epitelem, naléhá na vnitřní část duhovky a řasnaté těleso.

V místě zvaném ora serrata přechází v senzoricou část. Směrem ke středu oční koule jí tvoří světločivné receptory (tyčinky a čípky), které se napojují na dendridy bipolárních buněk. Bipolární buňky jsou dále spojeny s axony gangliových buněk, jejichž neurity se sbíhají v místě zvaném papilla nervi optici a vytvářejí optický nerv. Tato oblast je slepým místem sítnice bez světločivných buněk.

Temporálně od papily zrakového nervu se nachází macula lutea. Její průměr se pohybuje okolo 5,5 mm, obsahuje zejména čípky a více než jednu vrstvu gangliových buněk. Makula je složena z foveoly, fovey, parafovey a perifovey a obklopena periférickou sítnicí. Foveola se nachází v centru zrakové osy. Je to místo nejostřejšího vidění, kde je hustota čípků nejvyšší. Periferně od foveoly žluté skvrny hustota čípků klesá, naopak roste zastoupení tyčinek. Největší hustota tyčinek je v oblasti asi 20 stupňů od foveoly. Směrem do periferie jejich zastoupení opět klesá a čípky již nejsou přítomny. [1, 2]



Obr. č. 5 [5]

Oční pozadí pravého oka

3.1.2. Stavba sítnice

Histologicky dělíme senzorickou část retiny na deset částí:

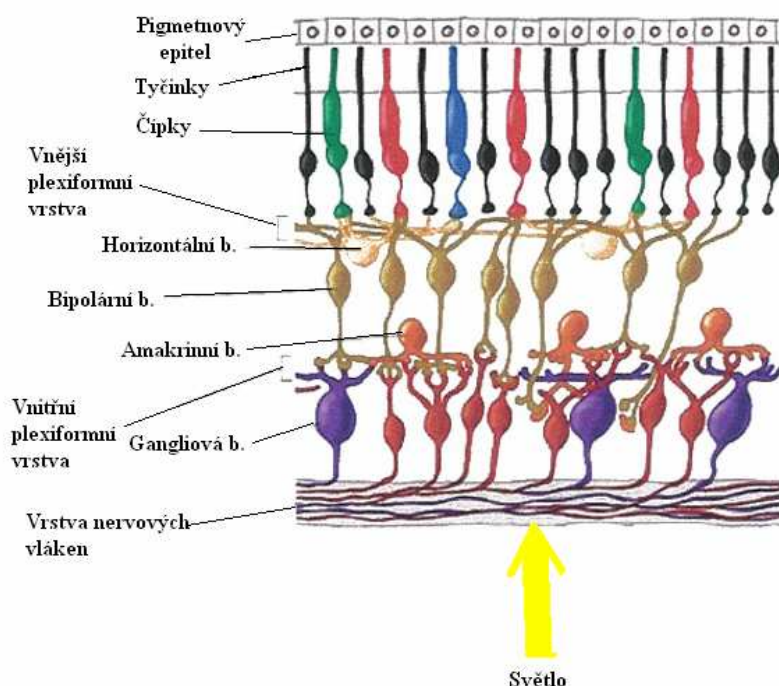
1. Pigmentový retinální epitel
2. Vrstva tyčinek a čípků
3. Membrana limitans externa
4. Zevní jádrová vrstva
5. Zevní plexiformní vrstva
6. Vnitřní jádrová vrstva
7. Vnitřní plexiformní vrstva
8. Vrstva gangliových buněk
9. Vrstva nervových vláken
10. Membrana limitans interna

Vrstva fotoreceptorů těsně sousedí s pigmentovým epitelem. Světelné paprsky tak musí projít přes všechny vrstvy sítnice než dorazí k těmto světločivným buňkám. Ty pak převádějí příchozí impulzy světelné na elektrochemické.

Axony fotoreceptorů vytvářejí synapse s bipolárními a horizontálními buňkami právě v zevní plexiformní vrstvě. Horizontální buňky jsou interneurony, které vytvářejí laterální spoje mezi fotoreceptory, modulují převod impulzů z tyčinek a čípků na bipolární buňky a zajišťují horizontální souhru bipolárních buněk.. Morfologicky rozlišujeme jejich 2 typy, A-typ a B-typ. A typ, tzv. barvocitlivý je v savčí sítnici vzácnější. Neobsahuje axon a propojuje pouze čípky. B-typ axon obsahuje a propojuje jak čípky tak tyčinky. Tento typ značíme též jako luminósní. Jak název napovídá, je spojen s vnímáním změny intenzity světla a upravováním adaptačních mechanismů.

Vnitřní plexiformní vrstva obsahuje synapse s axony bipolárních a amakrinních buněk a dendridy gangliových buněk. Je zde více synaptických spojů než je tomu u zevní plexiformní vrstvy, tudíž existuje větší variabilita buněčných interakcí. Amakrinní buňky, které řadíme mezi interneurony dopomáhají synaptické konvergenci a modifikují převod vzruchů z bipolárních buněk na buňky gangliové. Jsou schopny vést vzruch oběma směry, tedy centripetálně i centrifugálně. Retina obsahuje též podpůrné buňky Müllerovy a astrocyty. Astrocyty plní funkci výživy.

Gangliových a bipolárních buněk je daleko méně než tyčinek a čípků. Konečný počet nervových vláken ve zrakovém nervu je přibližně 1 milion, tyčinek 100-120 milionů (poměr 100 : 1), čípků zhruba 7 milionů (poměr 7 : 1). Je tedy nutné, aby při vzájemném propojení fotoreceptorů a nervových vláken docházelo k mohutné konvergenci. Míra této konvergence ovšem není v celém rozsahu sítnice symetrická. Ve fovea centralis, místě nejostřejšího vidění je jeden čípek napojen pouze na jedno nervové vlákno, směrem k periferii se míra zapojení zvyšuje. Je tedy logické, že centrální oblast má oproti periferii lepší zrakovou ostrost. [1, 3, 7, 8, 20, 32]



Obr. č. 6 [6]
Stavba sítnice

3.2. Transformace světelného signálu v elektrický

Základním předpokladem vnímání světla je schopnost fotoreceptorů transformovat elektromagnetické záření v elektrický signál. To se neděje přímo, ale prostřednictvím několika biofyzikálních a biochemických dějů. Jedná se o fotochemickou reakci mezi fotony a zrakovým pigmentem uloženým v zevním segmentu fotoreceptorů (viz. podkap. 3.3.1.).

Rhodopsin, tyčinkový zrakový pigment se skládá z retinalu (aldehyd vitamínu A), který má schopnost absorbovat fotony a z proteinu opsinu. Jestliže je tyčinka ve tmě, pak přítomnost rhodopsinu v zevním segmentu otevírá kanály pro vstup Na^+ iontů z mimobuněčného prostoru. Vnitřní segment obsahuje sodíko-draslíkové pumpy, které udržují vysoký koncentrační gradient. Kanál pro Na^+ zůstává otevřen a napětí buněčné membrány dosahuje hodnoty -40 mV .

Dojde-li k absorpci fotonů viditelného světla mění se struktura retinalu z cis formy na trans retinal. Trans retinal není schopen se s opsinem vázat a rhodopsin se rozpadá na jeho základní složky. Rozpadem se uvolňuje energie, následuje sled kaskád, které vedou k uzavření membránových kanálů pro Na^+ ionty. Sodíková pumpa však nadále přečerpává ionty do mimobuněčného prostoru a tato nerovnováha mezi buňkou a intersticiem vyvolá hyperpolarizaci buněčné membrány. Buněčná membrána se stává ještě více negativní a dosahuje hodnoty -80 mV . Hodnota hyperpolarizace je závislá na intenzitě osvětlení.

Pokud je náhle osvětlení přerušeno, trans retinal se změní zpět na jeho cis formu a opět se pojí s volným opsinem a dochází k regeneraci rhodopsinu. Vzniklý rhodopsin otevře opět kanály pro Na^+ ionty. Sodíková pumpa však nestačí náhle přítomné ionty z buňky odčerpávat a dochází k depolarizaci.

Účinkem světla tedy dochází ke změně membránového napětí tyčinky či čípku ve smyslu hyperpolarizace a vzniká receptorový potenciál. Sumace receptorových potenciálů vyvolá u dalších neuronů zrakové dráhy akční potenciál, který je dál veden do zrakových korových center mozku. Bipolární buňky však ještě nemají schopnost generovat akční potenciály. Na světelný podnět reagují excitací či inhibicí a to v závislosti na osvětlené části jejich receptivního pole. Prvními buňkami, u kterých byla zjištěna elektrická aktivita, jsou buňky amakrinní. Na osvětlení reagují depolarizací a výbojem akčních potenciálů. Gangliové buňky reagují na impulz depolarizací, slouží ke zpracování informace o velikosti a intenzitě zrakového podnětu a ve formě akčních potenciálů jsou tyto informace předávány dál cestou zrakové dráhy.

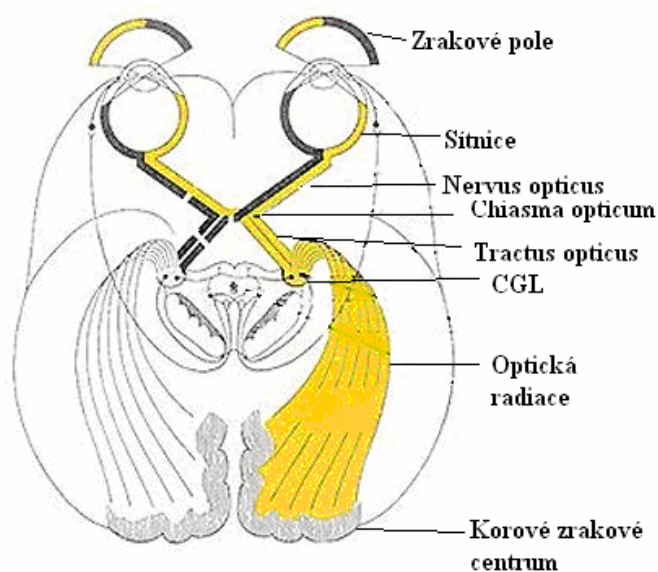
Fotochemická reakce čípků na světlo je podobná jako u tyčinek, avšak s rozdílem ve zrakovém pigmentu. Existují tři druhy čípků s různým typem fotosenzitivního pigmentu. Pigment je složen z několika druhů proteinů. Jeho skladba je určena podle toho, pro kterou barvu je příslušný čípek nejcitlivější. Absorbční

maxima jsou 440, 540 a 570 nm. Rozdíl oproti tyčinkám je také ve vyšší rychlosti hyperpolarizace a rychlejší regeneraci zrakového pigmentu. [1, 6, 7, 21]

3.3. Zraková dráha

Zraková dráha je čtyřneuronová aferentní, centripetální dráha s cílovým neuronem ve zrakové kůře okcipitálního laloku.

První tři neurony se nachází v oční kouli. Jedná se o tyčinky a čípky, ganglion retinae a ganglion opticum. Axony gangliových buněk vystupují z oční koule jako nervus opticus. Po částečném křížení v chiasma opticum pokračuje jako tractus opticus a míří do corpus geniculatum laterale. Zde po přepojení pokračuje jako optická radiace až do cílové zrakové kůry v area 17. Z primárního zrakového kortexu, area 17 se rozbíhají vlákna dvěma hlavními cestami, tzv. dorsální a ventrální dráha. Dorsální dráha míří do frontálního laloku, ventrální do laloku temporálního, a tak vytvářejí asociační spoje s primárním zrakovým centrem. V následujícím textu jsou detailněji popsány jednotlivé části zrakové dráhy. [5, 7]



Obr. č. 7 [7]

Zraková dráha

3.3.1. 1. neuron – Fotoreceptory

Jako fotoreceptory označujeme tyčinky a čípky. Jejich funkce spočívá v zachycení světelného záření a jeho převodu na elektrický signál. Adekvátní podnět je elektromagnetické vlnění o vlnové délce 400 – 700 nm.

Fotoreceptory jsou modifikované nervové buňky, jejichž dendrická část je přeměněna na receptor. Axonální část je krátká, u tyčinek kulovitá, nazývaná sferula, u čípků pedikulus. Morfologicky rozlišujeme zevní a vnitřní segment. Zevní segment je v kontaktu s pigmentovým epitelem a obsahuje lamelárně uspořádané membránové disky se zrakovým pigmentem. Vnitřní segment se skládá z velkého počtu mitochondrií a vytváří synapse s bipolárními buňkami.

Tyčinky jsou receptorové buňky protáhlého tvaru, pracují při nízkých intenzitách osvětlení a zprostředkovávají vidění černobílé. Takovéto vidění nazýváme skotopickým a odpovídá jasů o hodnotě menší než je $10^{-3} \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Adaptace zraku na temno je relativně pomalý proces, maximální hodnoty dosahuje po 40 - 60 minutách. Tyčinky obsahují zrakový pigment rhodopsin.

Čípky jsou kratší buňky kónického tvaru a zajišťují vidění barevné neboli fotopické. Existují tři druhy čípků s různými absorpčními maximy. Každý typ je maximálně citlivý na světlo o určité vlnové délce (440, 540, 570 nm). Adaptace čípků na světlo je rychlá, maximálních hodnot dosahuje již po 20 – 60 sekundách. Jas odpovídá hodnotám větším než je $10^2 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Čípky obsahují zrakový pigment iodopsin.

Existuje také vidění, kdy pracují oba typy fotoreceptorů současně. Takovéto vidění označujeme jako mezopické a je v činnosti při jasů o hodnotě 0,001 – 10 $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$. [2, 3, 6]

3.3.2. 2. neuron – Ganglion retinae

Bipolární buňky (b.b.) sítnice jsou souhrnně označovány jako ganglion retinae. Dle způsobu zapojení s fotoreceptorem rozeznáváme jejich tři typy. **Tyčinkové bipolární buňky**, které vytvářejí spojení s několika tyčinkami. Dále **čípkové trpasličí**, které tvoří synapse s dendrity jediného čípku a nakonec **čípkové ploché bipolární buňky**, na které je napojeno několik čípků. [5, 7]

3.3.3. 3. neuron – Ganglion opticum

Gangliové buňky (g.b.) tvořící 3. neuron zrakové dráhy se souhrnně označují ganglion opticum. Podle způsobu zapojení g.b. s buňkou bipolární rozlišujeme monosynaptické, též parvocelulární P-buňky a polysynaptické, magnocelulární M-buňky. **P-buňky** přijímají informaci z jediné bipolární buňky většinou trpasličí čípkové. Reagují zejména na kontrast, detail a barvu. Naopak aferentace **M-buňky** přichází z více bipolárních buněk současně. M-buňky reagují hlavně na osvit a pohyb.

Dle cíle eferentace dělíme gangliové buňky do třech typů. Jedná se o Y, X a W gangliové buňky.

Y g.b. odpovídají polysynaptickým buňkám, M - buňkám, projikují do corpus geniculatum laterale (CGL) a tecta mesencefala. V CGL končí v magnocelulárních, velkobuněčných vrstvách a dále pokračují jako magnocelulární, dorsální dráha. Z celkového počtu tvoří 10%. Mají velké tělo, rozšířenou dendrickou část a schopnost rychlého vedení vzruchu.

X g.b. odpovídají zejména parvocelulárním g.b., P - buňkám, v menší míře i magnocelulárním. Tvoří 80% z celkového počtu a projikují jen do CGL. Jejich axony končí v malobuněčných vrstvách CGL, tvoří parvocelulární ventrální dráhu. Mají středně velké tělo, dendrické pole je malé a obsahují velký axon. Vzruch vedou pomalu.

W g.b. je zbylých 10% a projikují pouze do tecta a odpovídají monosynaptickým buňkám. [2, 7, 8]

3.3.4. Zrakový nerv a chiasma opticum

Axony gangliových buněk se sbíhají v papilla nervi optici, vystupují z oční koule a po průchodu lamina cribrosa sclerae vytvářejí II.hlavový nerv, nervus opticus. Ten již obsahuje obal z myelinu a je kryt mozkovými obaly. Zhruba 4/5 vláken zrakového nervu pokračuje ke corpus geniculate laterale, zbytek ze své dráhy uhýbá a tvoří odbočky zrakové dráhy. Popis odboček zrakových drah však přesahuje rámec této práce, proto se o nich nebudu zmiňovat.

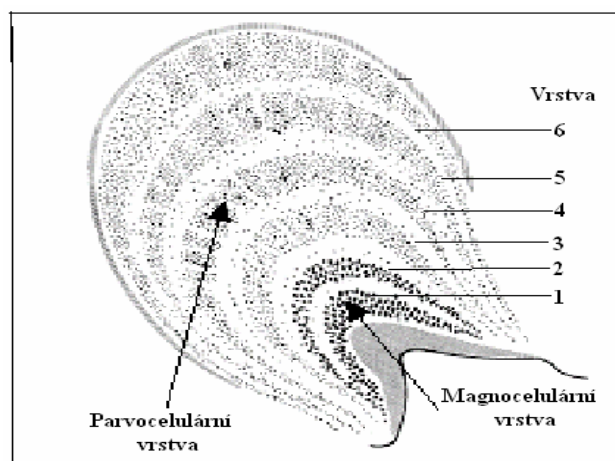
Chiasma opticum je umístěno na tureckém sedle nad hypofýzou. V tomto místě dochází k částečnému křížení, tzv. semidekusaci nervových vláken pravého a levého optika. Kříží se vlákna vycházející z nasální části sítnice a část vláken z makula lutea.

Soubor těchto vláken vstupuje do druhostranného optického traktu. Zbytek se nekříží a pokračuje ve stejnostranném optickém traktu. Vlákná z nasálních retinálních kvadrantů zobrazují temporální části zrakového pole, temporální naopak nasální. Tato znalost je velmi důležitá pro diagnostiku a lokalizaci poruch zrakové dráhy. [2, 8]

3.3.5. 4. neuron – Corpus geniculatum laterale

CGL je párová struktura, která má tvar ohnutého vějíře a mikroskopicky zřetelně vrstevnatou strukturu. Obsahuje 6 vrstev, které značíme čísly 1 – 6 (ventrální až dorsální vrstva). Vrstva 1 a 2 je parvocelulární (přepojují se X g.b. → ventrální dráha), zbytek magnocelulární (přepojují se Y g.b. → dorsální dráha). Zkřížené vlákna tractus opticus končí ve vrstvách 1., 4., 6., nezkrížená ve vrstvách 2., 3., 5.

Existuje úzký vztah mezi stavbou sítnice a CGL, tzv. **retinotopická organizace CGL**. Vlákná z horních stejnostranných retinálních kvadrantů končí v mediální části CGL, z dolních retinálních kvadrantů v laterální části CGL. Tak zůstává stále oddělena informace obrazu každého oka i po průchodu CGL. [5, 7, 8]



Obr. č. 8 [8]
Struktura CGL

3.3.6. Optická radiace

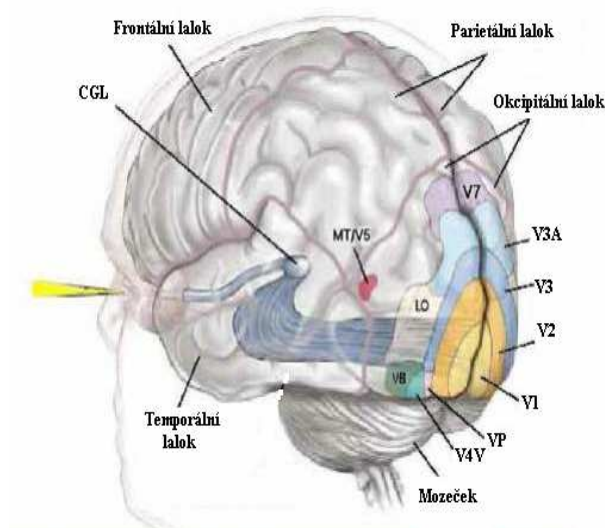
Optická radiace, označována též jako Gratioletův svazek, je tvořena horním a dolním svazkem. Horní svazek obsahuje vlákna z g.b. ze stejnostranných horních retinálních kvadrantů, z laterálních částí CGL. Dolní svazek obsahuje vlákna g.b. z dolních stejnostranných retinálních kvadrantů, tedy z mediálních částí CGL. [8]

3.3.7. Zraková kůra

V mozkové kůře bylo nalezeno několik oblastí, kde se vyskytuje přesná retinotopická organizace. Jedná se o primární zrakovou kůru V1 a sekundární zrakovou kůru V2 - 5 (asociační korová oblast).

Primární zrakový kortex V1 se je uložen v okcipitálních lalocích nad a pod fissura calcarina v Brodmannova area 17. Projikuje zde retinotopická organizace, avšak zastoupení makuly je nepřímo úměrné velikosti makuly sítnice. Makula, která odpovídá 8° zorného pole zaujímá v primárním zrakovém kortexu až 50 %. To je z důvodu, že to je oblast s nejvyšší zrakovou ostrostí. Centrum je zodpovědné za rozeznávání tvaru, barvy a pohybu předmětu.

Sekundární zrakový kortex se nachází v okolí primární zrakové kůry a jedná se o oblast v Brodmannově aree 18 (V2-4) a 19 (V5). Aferentní vlákna vycházejí z primární zrakové kůry, eferentní vedou informace zpět k primárnímu kortexu a do asociačních korových oblastí. Tato vzájemná propojení slouží k dalšímu zpracování a integraci zrakové informace.



Obr. č. 9 [9]

Zraková kůra

Z vizuálního kortexu vycházejí také odstředivé spoje, které míří zpět ke CGL. Tento systém reguluje příjem zrakových informací a tak zlepšuje rozlišovací schopnosti oka. [2, 5, 7, 8, 22]

3.4. Receptivní pole

Velká konvergence zápojů v sítnici umožňuje úpravu vizuální informace ještě před tím, než vstoupí do centrálních částí zrakového analyzátoru. Tato úprava souvisí s uspořádáním receptivních polí (RP).

Pojem RP zavedl v roce 1952 Stehpan Kuffler. Jeho experiment, který potvrdil přítomnost RP, spočíval ve zkoumání elektrické aktivity daného neuronu pomocí zavedené elektrody do sítnice kočky. K aktivaci neuronu využíval optický stimulátor, černou tabuli, na kterou promítal světelný obrazec. Tento obrazec (většinou úsečka, bod či kroužek) posunoval po tabuli tak dlouho, dokud nezaznamenal změnu elektrické aktivity zkoumaného neuronu. Následovalo vymezení pole, ve kterém lze neuron dráždit. Vymezené pole změny aktivity dnes nazýváme receptivním polem.

RP je definováno jako ta část prostoru, ze které je možné excitovat či inhibovat aktivitu jedné nervové buňky. Je jednotkou funkční a jeho velikost je různá v různých částech sítnice. Ve fovea centralis je menší nežli v periférii sítnice (menší konvergence zápojů), což určuje rozlišovací schopnost oka.

RP fotoreceptorů

RP fotoreceptorů je konstruováno jednoduše. Receptor reaguje na světelný podnět v celém svém rozsahu receptivního pole, a to hyperpolarizací.

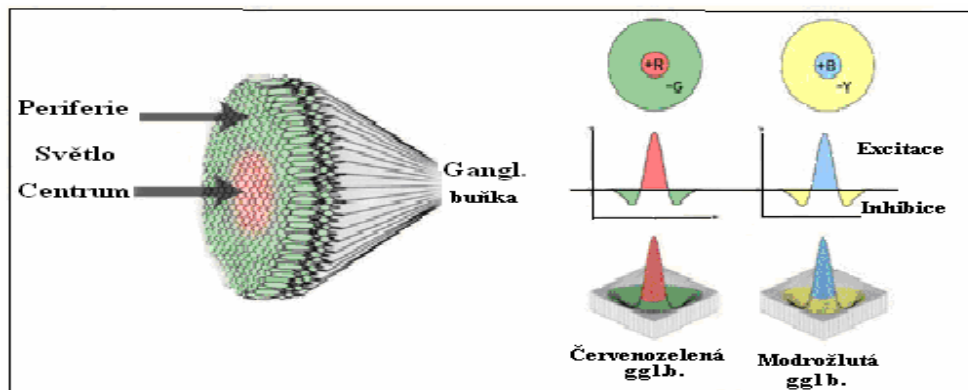
RP bipolární buňky

Vzhledem k laterálním spojům mezi fotoreceptory a bipolárními buňkami jsou RP bipolárních buněk, podobně jako gangliových buněk koncentricky uspořádány.

RP gangliové buňky

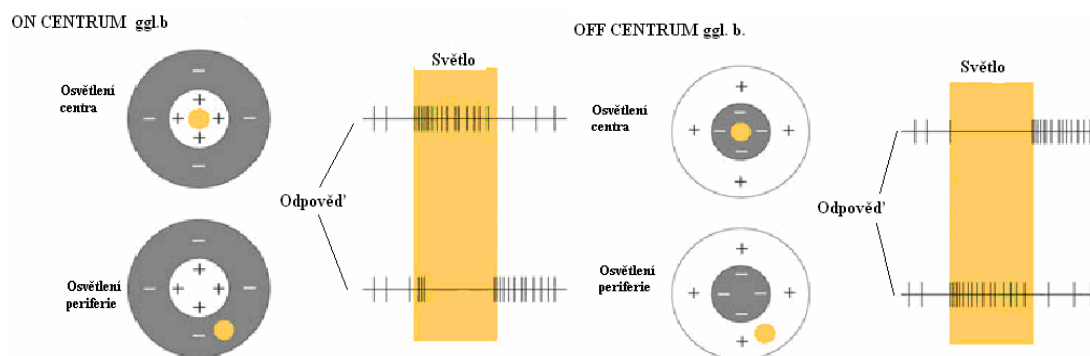
RP gangliové buňky je kruhovitě s centrální a periferní zónou. Podle typu této zóny rozdělujeme ON a OFF buňky. Rozlišujeme RP gangliového neuronu s ON centrem a OFF periferií (ON g.b.) a OFF centrem a ON periferií (OFF g.b.). ON buňka je taková, která po dopadu světla na centrální část jejího receptivního pole excituje, naopak dopad na periférii ji inhibuje. OFF buňka pracuje opačně. Dopad světla na periférii receptivního pole vyvolá excitaci dané buňky, centrum se inhibuje.

Ve foveole centralis jsou přítomné zejména čípky pro barevné vidění. Jejich centrum a periferie RP po dopadu monochromatického světla reaguje protichůdně na doplňkové barvy, což by vysvětlovalo teorii protibarev.



Obr. č. 10 [10]

Receptivní pole gangliové buňky



Obr. č. 11 [11]

Receptivní pole s ON a OFF CENTREM

Receptivní pole buněk v corpus geniculatum

RP má velmi podobný tvar jako RP g.b. Liší se pouze ve velikosti, je o něco zvětšené. Vysvětluje se to tím, že jeden neuron v CGL dostává impulzy z několika gangliových buněk.

Receptivní pole korových buněk

Receptivní pole korových buněk jsou různá a různě drážditelná. Neuronů lze rozdělit na jednoduché, komplexní a hyperkomplexní, a to dle počtu synapsí do kterých vstupují od CGL až po mozkovou kůru.

Jednoduché vizuální neurony mají většinou RP oválného tvaru a jsou nejlépe drážděny světelnou úsečkou orientovanou určitým směrem. Při změně směru, reakce na stimul mizí. Komplexní vizuální neurony vstupují do synapse s jednoduchými. Jejich RP je větší a složitější. Reagují na širokoplošné vizuální podněty. Hyperkomplexní vizuální neurony jsou o synapsi vzdálenější neurony a zasahují až do arey 18. Jejich RP jsou větší nežli je tomu u komplexních neuronů a reagují na pohybující se světelný podnět v určitém směru. [1, 2, 5, 7, 23]

3.5. Zraková diskriminace

Vedle systému receptivních polí existuje také tzv. magnocelulární a parvocelulární systém. Tyto systémy jsou přítomny již na úrovni gangliových buněk.

Magnocelulární systém přijímá informace z gangliových M-buněk (odpovídající Y-buňky). Pokračuje z primární zrakové oblasti jako dorsální dráha do několika asociačních korových center, nejbližší je oblast parietookcipitálního laloku, area 7. Je specializován na pohyb velkých předmětů s nízkým kontrastem, poskytuje odpověď na otázku „kde?“ a je zodpovědný za **hrubou zrakovou diskriminaci**. Zvyšuje také zrakovou pozornost.

Parvocelulární systém dostává impulzy z gangliových P-buněk. Buňky, které pokračují z CGL jdou převážně do primárního zrakového centra, area 17. Asociační spoje jdou jako ventrální dráha ke korové oblasti okcipitotemporálního laloku, končí v area 20, 21. Je zaměřen na vnímání detailů o vysokém kontrastu, malých světelných cílů, vnímání barev a dává odpověď na otázku „co?“. Mluvíme o **jemné zrakové diskriminaci**. [7, 8]

3.6. Zraková ostrost

Zraková ostrost je závislá na jasu osvětlení, kontrastu a hustotě fotoreceptorů v daném místě sítnice. Jak jsem již předeslala výše, největší nahuštění čípků je ve fovee centralis sítnice, což je místo neostřejšího vidění.

Míra ostrosti je závislá na takzvaném minimum separabile neboli rozlišovací schopnosti oka. Minimum separabile je nejmenší vzdálenost dvou bodů v prostoru, které je oko schopno rozeznat. Emetropické oko je schopno rozeznat tyto body, jestliže jejich obrazy dopadají na dva čípky, mezi kterými leží alespoň jeden čípek nepodrážděný. Průměr čípku ve fovee činí asi 0,004 mm. Dle modelu Gullstrandova oka je vzdálenost obrazu od obrazového uzlového bodu 17 mm. Úhlová velikost dvou právě rozlišitelných bodů je pak rovna 0,0003 rad. To odpovídá zornému úhlu 1 minuta a určuje tzv. minimum separabile, též označované jako minimální úhlové rozlišení *MÚR*.

Hodnota minima separabile, emetropického oka, tedy 1 úhlová minuta, se konvenčně užívá jako referenční hodnota ke stanovení centrální zrakové ostrosti, tzv. vízu *V*. Vízus je definován vztahem

$$V = 1' / MÚR.$$

Můžeme zapisovat ve formě desetinného čísla nebo jako logaritmus *MÚR*. Ve spojitosti s měřením na tzv. optotypech lze též zapsat pomocí zlomku, kde v čitateli je uvedena pozorovací vzdálenost v metrech a ve jmenovateli je číslo nejmenšího přečteného řádku. Typickým příkladem jsou Snellovy optotypy, které se používají pro stanovení zrakové ostrosti do dálky. Optotyp je pozorován ze vzdálenosti 6, 5 nebo 4 metry a je sestaven z černých písmen na bílém podkladu s odstupňovanou velikostí. Celý znak, který odpovídá fyziologickému *MÚR* a vízu jedna, je viděn pod zorným úhlem 5', jeho detail pak pod úhlem 1'. Číslo řádku tedy udává pozorovací vzdálenost v metrech, ze které by daný znak při vízu jedna byl viděn pod zorným úhlem 5'. [6, 8, 24]

4. EVOKOVANÉ POTENCIÁLY

4.1. *Obecná charakteristika*

Evokované potenciály (EP) jsou charakterizovány jako změny elektrické aktivity centrálního analyzátoru vyvolané kvantifikovaným stimulem o specifické modalitě. Zjednodušeně řečeno, jsou to všechny odpovědi nervového systému (nervové dráhy, nervová centra) na dráždění receptoru. V praxi se měření EP užívá ke zhodnocení funkce nervových drah. Pomocí standartizovaných metod jsme schopni hodnotit funkci aferentního i eferentního nervového systému.

Nejdůležitějším měřítkem pro hodnocení EP je přítomnost evokované odpovědi a její latence. Hodnotí se tedy rychlost vedení zkoumaného aferentního systému, amplituda a tvar odpovědi. Amplituda EP je na smyslový podnět téměř stejná či nižší jako soustavná mozková aktivita. Proto je nutné, aby k detekci a znázornění EP byly použity vhodné neurofyziologické metody a správné technické zajištění.

Dle registrace určitých modalit stimulu se vyčlenili tyto techniky: VEP (zrakové EP), SEP (somatosenzorické EP), BAEP (sluchové kmenové EP), MEP (motorické EP) a ERP (endogenní kognitivní EP). Krom techniky MEP jsou měřeny EP aferentních drah. [9, 12]

4.2. *Princip vzniku evokovaného potenciálu*

Odpověď nervového systému na určitý stimul tvoří pohybující se elektrické pole, které jsme schopni snímat kdekoliv v průběhu jeho dráhy.

Všechny evokované odpovědi mají společnou charakteristiku, kterou je vždy stejná, krátkodobá změna elektrického napětí v nervové tkáni. Tato změna se propaguje aktivně nervovým vodičem (axony, neurony) a pasivně šířením do okolních tkání tzv. objemovým vodičem. Díky pasivnímu šíření objemovým vodičem jsme schopni snímat EP s povrchu těla. Změnu napětí prokážeme rozdílem mezi dvěma snímacími elektrodami.

Potenciál elektrického pole, tzv. **field potencial** dle Chungovi definice „je souborem akčních potenciálů participujících neuronů a podprahových

postsynaptických potenciálů.“ [12, str. 16]. Tento potenciál se dostává ke snímací elektrodě prakticky pouze šířením objemovým vodičem. Technicky vzato není možné dosáhnout přímý kontakt elektrody s aktivním vodičem a snímat generátorové akční potenciály, měřené EP jsou tudíž propagované potenciály.

Tento **propagovaný potenciál** má trifázický tvar a PNP charakter. Přibližující se elektrické pole se nejprve vychýlí do pozitivní deflexe (způsobena iniciální hyperpolarizací), následuje negativní deflexe (depolarizace), poté opět nastává deflexe pozitivní (následná hyperpolarizace). PNP tvar EP je závislý na umístění aktivní a referenční elektrody. Typické PNP nastává v případě, že aktivní elektroda je napojena na prvním vstupu, blíže generátoru elektrické změny než elektroda referenční. [12]

Potenciál, který se šíří objemovým vodičem, můžeme také definovat podle vzdálenosti od generátoru. Jestliže je mezi elektrodou a předpokládaným generátorem elektrického pole silná vrstva tkáně (př. mozková hemisféra), mluvíme o potenciálu vzdáleného pole (**far field**), pokud je přítomna pouze slabá vrstva (př. kůže) mluvíme o blízkém poli (**near field**). Blízké a vzdálené elektrické pole má vliv na bioelektrický záznam, díky němuž lze lokalizovat generátor a určuje jaký typ snímacích elektrod je vhodné použít.

Vzdálenost registrační elektrody od generátoru určuje velikost amplitudy. Se zvětšující se vzdáleností elektrody amplituda prudce klesá, po určité vzdálenosti jsou změny amplitudy již menší. To vysvětluje, proč amplituda vzdáleného pole je relativně stálá. Naopak potenciál blízkého pole má vyšší amplitudu s větší variabilitou závislou na umístění registrační elektrody. [9, 10, 11, 12]

4.3. Technické předpoklady

Základní vybavení pro registraci EP je stimulátor, registrační elektrody, zesilovač a zprůměrnovač signálu a přístroj k zobrazení signálu.

4.3.1. Stimulátor

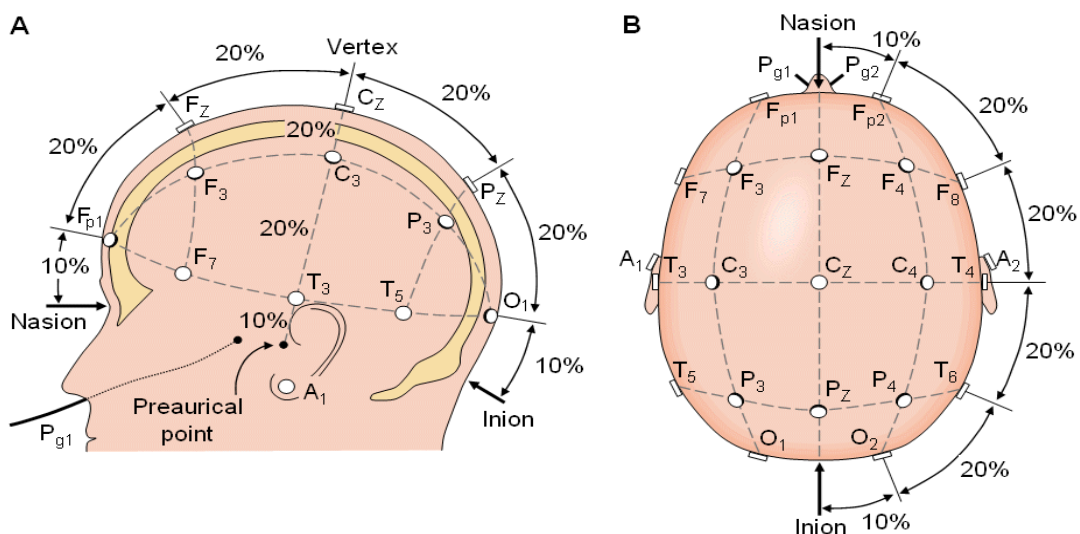
EP je odpověď na nervové soustavy na určitý stimul. Stimulátor je proto volen podle toho, kterou smyslovou modalitu chceme vyšetřit. Je většinou montován jako

součást přístroje či je dodáván samostatně. Doporučuje se co nejsilnější možný stimul, aby byl zvýšen podíl signál/šum a tím snazší detekce EP. [12]

4.3.2. Elektrody

Elektrody pro snímání EP mohou být jehlové nebo povrchové. Snímací povrchové elektrody jsou kovové, s chloridem stříbrným (AgCl) nebo pozlaceným povrchem. Připevňují se speciálním gelem na dobře očištěnou a odmaštěnou kůži. Je nutné, aby kontakt mezi kůží a elektrodou byl co nejtěsnější, kontaktní impedance by neměla nepřesahovat 10 k Ω . Ideální je pokud je dosaženo kožního odporu 5k Ω a méně. Jehlové elektrody se vpichují do kůže v místě registrace EP. Jedná se o rychlou, avšak invazivní metodu snímání EP a je zatížena značnou přítomností artefaktů z okolního prostředí.

Ke snímání EP preferujeme bipolární zapojení elektrod, díky kterým dosáhneme nejnižšího šumu. Mluvíme tak o aktivní a referenční elektrodě, které jsou připevněny v různé vzdálenosti od sebe. Aktivní elektroda by měla být přiložena co nejbližše generátoru. Pokud se vzájemná vzdálenost připevněných elektrod zvyšuje, roste síla snímaného signálu, avšak přímou úměrností roste také šum. Zapojený pár elektrod označujeme jako svod. Ustálený systém svodů značíme jako lokalizační. Konvenčním lokalizačním systémem je užívaný systém 10/20 skalpových elektrod EEG. [9, 10, 12, 25]



Obr. č. 12 [12]

Lokalizační systém svodů 10/20

4.3.3. Zesilovač

Zesílení určuje poměr velikostí mezi výstupním a vstupním signálem. Je tedy třeba, aby rozdíl mezi výstupní a vstupní impedancí snímací elektrody byl co nejvyšší. Kontaktní impedance (elektroda-kůže) by měla být co nejnižší a vstupní impedance zesilovače vyšší alespoň o tři řády. V dnešní době jsme vstupní signál schopni zesílit 1000 – 500 000x

Důležitou vlastností zesilovače je tzv. **pásmová propustnost**. Je ohraničena horní a dolní mezí kmitočtu, ve které zesilovač pracuje. Význam spočívá ve filtraci výstupního signálu. Signály, které jsou nad a pod stanovenou frekvenční hranicí jsou méně zesilovány. Současně se mění jejich časový vztah mezi vstupním a výstupním signálem. Čím méně jsou zesilovány (nacházejí se dále od frekvenční hranice), tím větší je fázový posun. Rozsah pásmové propustnosti je rozdílný dle použitých technik. [9, 10, 12, 25]

4.3.4. Zprůměrnovač

Po výstupu signálu z elektrodového zesilovače je nutné, aby přístroj signál opět zesílil, převedl z analogové formy na digitální, zprůměrnil, očistil od vzniklých artefaktů, zobrazil v přijatelné formě a nakonec uložil na vhodné médium. Bez zpracování výsledků počítačem by byly vzhledem k spontánní mozkové činnosti EP nezřetelné.

Pro vznik relevantních výsledků, je zapotřebí, aby proběhlo několik po sobě jdoucích podnětů, tzv. epoch či přeběhů. Následuje zprůměrnění epoch programem. Čím větší je EP a menší vnitřní a vnější vlivy, které ruší snímaný signál, tím méně přeběhů je nutných. Někdy stačí pouze 50 přeběhů, jindy až 1000. Vysoký počet přeběhů se týká případu, jestliže snímáme potenciály vzdáleného pole. Vyšší počet přeběhů však neznamená vždy zkvalitnění výstupního signálu. Vyšetřovaný po delším čase přestane relaxovat, zvýší se svalové napětí a výsledkem bývá to, že EP jsou překrývány náhodným elektromyogramem. Je zapotřebí přistupovat ke každému snímání EP individuálně. [9, 12, 25]

5. ZRAKOVÉ EVOKOVANÉ POTENCIÁLY

„Vizuální evokované potenciály (VEP) jsou bioelektrické odpovědi mozku na dráždění fotoreceptorů sítnice definovaným zrakovým podnětem.“ [9, str. 173] Ke stimulaci zrakového centra se užívá buď strukturovaného nebo zábleskového podnětu.

Jestliže dojde ke stimulaci zábleskem, faktor k vyvolání VEP je změna osvitů sítnice. U strukturovaného podnětu to je kontrast mezi různě osvětlenými částmi sítnice. Jas stimulačního pole však v tomto případě zůstává konstantní.

Strukturovaný podnět aktivuje optický systém o mnoho lépe než podnět vyvolaný zábleskem. Dle experimentu PHESLA a KUHLA (1981), kteří pozitronovou emisní tomografií zobrazili mozkovou aktivitu, se korová aktivita oproti výchozí hodnotě u flash podnětu v primární kůře zvýšila o 12 %, v asociační korové oblasti o 6 %. Při stimulaci strukturovaným podnětem byla aktivita v primární zrakové kůře zvýšena o 140 %, v asociační kůře o 340 %. To je nejspíš dáno uspořádáním sítnicových receptivních polí gangliových buněk a korových receptivních polí komplexních a hyperkomplexních neuronů (viz. kapitola 3.4.).

VEP na strukturovaný podnět je tedy citlivější, s menší variabilitou výsledků. Dokáže lépe ohraničit pásmo normy a odhalit abnormality zrakové dráhy. Svůj význam ovšem neztratil ani VEP na zábleskový stimul. VEP můžeme vyšetřovat jak monokulárně, tak binokulárně. [9, 11, 12]

5.1. VEP na zábleskový podnět

Tato kapitola je vypracována stručněji. Jeden z důvodů je, že stimulace zrakové dráhy na zábleskový podnět není diagnosticky tolik významná. Druhý ten, že k vypracování své praktické části diplomové práce užívám stimulaci strukturálním podnětem.

Flash VEP (F VEP) je více variabilní nežli ostatní typy měření. Je to však stále velmi důležitá vyšetřovací metoda. Uplatnění metodiky F VEP nacházíme u nespolupracujících pacientů, pacientů v kómatu nebo u pacientů s nízkou zrakovou ostrostí ($V < 6/36$). [9, 11]

5.1.1. Stimulace a stimulátor

Stimulace

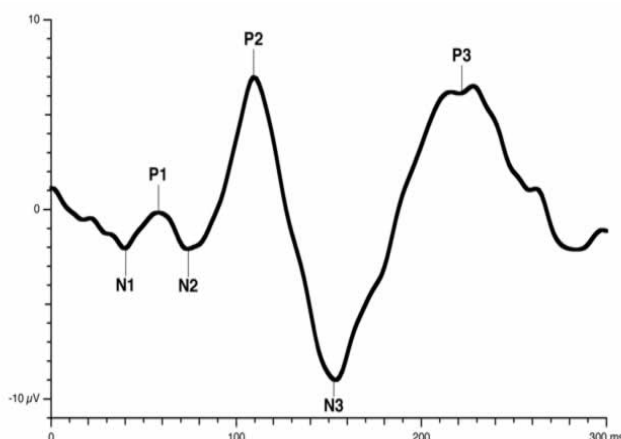
Stimulace se děje prostřednictvím xenonové výbojky. Podnět je vyvolán změnou jasu v zorném poli. Intenzita tohoto podnětu by měla být alespoň 1 J/s, jeho tvání 10 μ s a frekvence opakování podnětu méně než 1,5 Hz. Vyšetřujeme v zatemněné místnosti.

Stimulátor

K dráždění F VEP užíváme stroboskop či speciální LED brýle. [11, 29]

5.1.2. F VEP křivka

Křivka vyvolána zábleskovým stimulem se vyznačuje sledem několika pozitivních a negativních vln. První vlnou, kterou jsme schopni detekovat, je okcipitální vlna N1 s latencí kolem 30 ms. Ta je však nestálá, závislá na daných parametrech stimulace a registrace. Následují vlny P1 a N2. Vlnou N2 končí úsek časných neboli primárních odpovědí a nastává první stálý prvek F VEP snímání. Tím je negativní vlna N3 s latencí kolem 60 – 80 ms. Následné vlny spolu s P2 vytvářejí tzv. sekundární odpověď, která je charakterizována svou stálostí. Je ukončena negativní vlnou P3. Poté již následuje vlnění, které se považuje za následné rytmické výboje. Standardní F VEP je odpovědí fotopického zrakového systému. [9, 11, 29]



Obr. č. 13 [13]

Křivka F VEP

5.1.3. Hodnocení F VEP

Jak jsem již zmínila, hodnocení F VEP je velmi individuální vzhledem k vyšetřovacím podmínkám. Zejména pak latence a amplituda F VEP jsou citlivé a variabilní na zvolené metodice měření. Jestliže zvyšujeme intenzitu podnětu, zvyšuje se také amplituda a zkracuje latence. Existuje též saturační hranice, amplituda již nadále neroste, naopak v některých případech mírně klesá.

Rozdílnost křivky F VEP závisí také na stimulaci monokulární či binokulární vlnové délce monochromatického světla. Binokulární odpovědi jsou až o 40 % větší než monokulární a podobná vlnová délka světla vyvolá méně rozdílnou odpověď.

Dle experimentu Cigánka a Ingvara byla podpořena Youngova trichromatická teorie. Ve svém výzkumu zjistili, že v křivce průměrných relativních amplitud byly tři vrcholy při vlnové délce světla 464, 551 a 615 nm. Též korelace mezi F VEP a Purkyňovým fenoménem byla prokázána Monnierem a Rietveldem. [11]

Šíře zornic ovlivňuje výsledné měřené hodnoty, zejména pak amplitudu a latenci. Abychom předešli takovému zkreslení, lze použít mydriatika pro dilataci zornice nebo užít stenopeickou clonu. [9, 11, 29]

5.1.4. Využití F VEP

Slouží k odhalení hrubých lezí, a to v celém rozsahu zrakové dráhy. Dle evokovaných potenciálů na zábleskový podnět nelze s určitostí lokalizovat místo poruchy zrakové dráhy. Hemianopie nelze odlišit od heteranopie. F VEP může sloužit jako ukazatel aktuálního funkčního stavu mozku v průběhu operací. V praxi je dána přednost PR VEP vyšetření. [9, 11]

5.2. VEP na strukturovaný podnět

5.2.1. Stimulace a stimulátor

Stimulace

Pro vyšetření VEP je nutné vyvolat optické podněty. V tomto případě užíváme obraz šachovnice nebo obraz s černými a bílými pruhy. Stimulovat strukturovaným podnětem lze třemi způsoby. První metodiku nazýváme

pattern reversal čili zvrát v obraze, druhou pattern appearance neboli zjevení struktury.

Pattern reversal (PR VEP) je nejčastější stimulační metoda. Stimulační obraz (např. šachovnice) se s určitou frekvencí mění v jeho komplementární obrazec, černá pole šachovnice se mění v bílá a naopak. Změna kontrastu na sítnici vyvolá EP. Ke specifickému popisu VEP vyvolané strukturálním podnětem metodikou pattern reversal.

V případě metodiky **pattern appearance** sleduje pacient rovnoměrně osvětlenou plochu, která se v pravidelných cyklech mění v plochu strukturovanou, čímž dojde k vyvolání EP. [9, 11, 12, 29]

Stimulátor

Pro vyvolání evokovaných potenciálů je zapotřebí stimulátor, který řídí vlastní generátor optických podnětů. Generátor, určený k vizuálnímu dráždění strukturovaným podnětem, se ve většině případů volí monitor. Nevýhoda, která se ve volbě monitoru je potřeba určitého času k vykreslení daného stimulu na obrazovce, a to v závislosti na jeho řádkovací frekvenci. Tím dochází ke zpoždění v dráždění a prodloužení latencí snímaného VEP. Ke stimulaci užíváme zejména CRT monitor pro svůj vysoký kontrastní poměr s téměř nulovou kontrastní a jasovou deformací. Naopak LCD monitory se jako generátory nehodí. Dalším generátorem, který užíváme ke stimulaci PR VEP jsou LED brýle nebo specializovaná projekční zařízení. [11, 26]

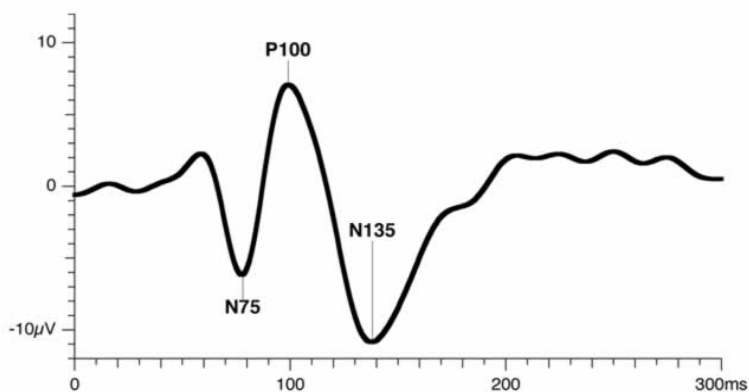
5.2.2. Vznik EP na strukturovaný podnět

Obraz strukturovaného podnětu dopadá na sítnici a dráždí ji především svým kontrastem. Zrakovou dráhou dojde podráždění až k neuronům zrakové kůry, kde vzniká elektrické makropole primárních a sekundárních zrakových oblastí. Mezi retinálním a korovým potenciálem existuje blízká korelace. Po integraci a transformaci tohoto bioelektrického pole v mozku vzniká na povrchu hlavy další elektrické pole, které následně snímáme a značíme jako VEP. [11]

5.2.3. Křivka PR VEP

Křivka VEP se mění v závislosti na umístění snímacích elektrod na skalpu a také podle toho jakou část sítnice stimulujeme.

V případě křivky PR VEP, která byla vyvolána full-field stimulací a byla registrována elektrodami z míst O_z - F_z , je charakterizována sledem NPN vln. Nejzřetelnější a nejstálejší složka je pozitivní vlna P100 s latencí kolem 100ms. Tu předchází negativní vlna N75, po P100 následuje vlna N135. PR VEP lze získat jak monokulární, tak binokulární stimulací. [12, 29]



Obr. č. 14 [13]

Křivka PR VEP

5.2.4. Hodnocení PR VEP

Pro hodnocení normální či anomální křivky VEP existuje několik parametrů. Jako důkaz validního měření slouží reprodukovatelnost křivky. Dále hodnotíme počet vln, tvar křivky VEP, vrcholové latence, amplitudy a délka trvání jednotlivých vln. Latence a amplituda se hodnotí zejména u vlny P100. Amplitudu měříme buď od izoelektrické nuly nebo mezi vrcholy. Odchylna latence vlny P100 je jeden z nejdůležitějších ukazatelů různých patologií zrakové dráhy.

Dále existuje možnost hodnotit šířku NPN komplexu a podobnost křivek pravého a levého oka (zejména jejich amplitud). Jestliže se tyto údaje odchylují od normálu, mohou poukazovat na patologii zrakové dráhy či technické komplikace.

Každá laboratoř by si měla stanovit vlastní normativní data. To je z důvodu, že na vliv průběhu VEP působí více faktorů, o kterých se zmíním níže. Tyto faktory nemusí být pro každou laboratoř stejné. [9, 11, 12]

<i>PR VEP</i>	<i>Latence</i>	<i>SD</i>
<i>N 70</i>	71,87	± 5,5
<i>P 100</i>	96,99	± 4,77
<i>N 130</i>	134,81	± 10,46

Tab. č. 1 [1]

Normativní hodnoty vrcholových latencí vln PR VEP latence (Mod. Sec. LIPOVSKY, 1986)

V tabulce č. 1 jsou uvedeny hodnoty latencí v milisekundách, [ms] dle Lipovského. SD značí směrodatnou odchylku v milisekundách, v milisekundách, [ms]..

<i>PR VEP</i>	<i>Amplituda</i>	<i>SD</i>
<i>N 70 – P 100</i>	11,89	± 3,37
<i>P 100 – N 130</i>	14,9	± 3,93
<i>N 130 – P 250</i>	10,67	± 5,00

Tab. č. 2 [1]

Normativní hodnoty mezivrcholových amplitud vln PR VEP (Mod. Sec. LIPOVSKY, 1986)

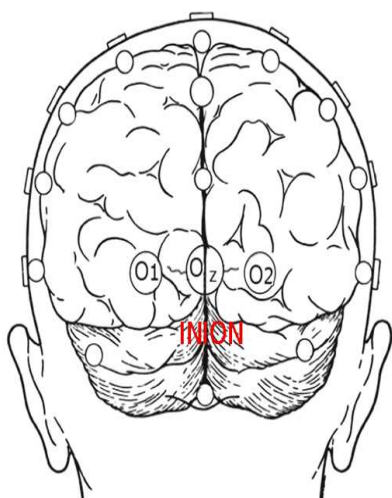
V tabulce č. 2 jsou uvedeny hodnoty mezivrcholových amplitud v mikrovoltech, [μ V] dle Lipovského v mikrovoltech. SD značí směrodatnou odchylku v mikrovoltech, [μ V].

5.2.5. Elektrody

Elektrody se užívají povrchové či jehlové. Přednost dáváme povrchovým pro jejich neinvazivnost. Elektrody se přikládají pomocí gelu na očištěný povrch hlavy.

Vzhledem k anatomii zrakové dráhy očekáváme, že nejvyšší amplituda evokovaných odpovědí bude v zadní třetině hlavy, v oblasti okcipitálního laloku, fissura calcarina.

Pro snímání PR VEP lze využít bipolárního zapojení, kdy aktivní elektroda dle systému 10/20 je umístěna v oblasti O_z , což odpovídá místu 5 cm nad inion. Referenční elektroda je přikládána na místo F_z . Nejlépe je však provádět na třech až čtyřech svodech současně. Při zapojení 3 svodů přikládáme aktivní elektrodu na místo O_z , O_2 , O_1 . Referenční elektrodu volíme opět v místě F_z . Jako zemnicí elektroda se užívá vlhký pásek, který přikládáme na zápěstí. Pokud máme k dispozici snímání na 4 svodech, přikládáme další aktivní elektrodu 5cm nad místo O_z . Odpor povrchových elektrod by neměl činit více než 10 k Ω . [10, 11, 12, 29]



Obr. č. 15 [14]

Umístění aktivních elektrod v místech O_z , O_2 , O_1



Obr. č. 16 [5]

Povrchové elektrody

5.2.6. Vliv fyzikálních faktorů na PR VEP

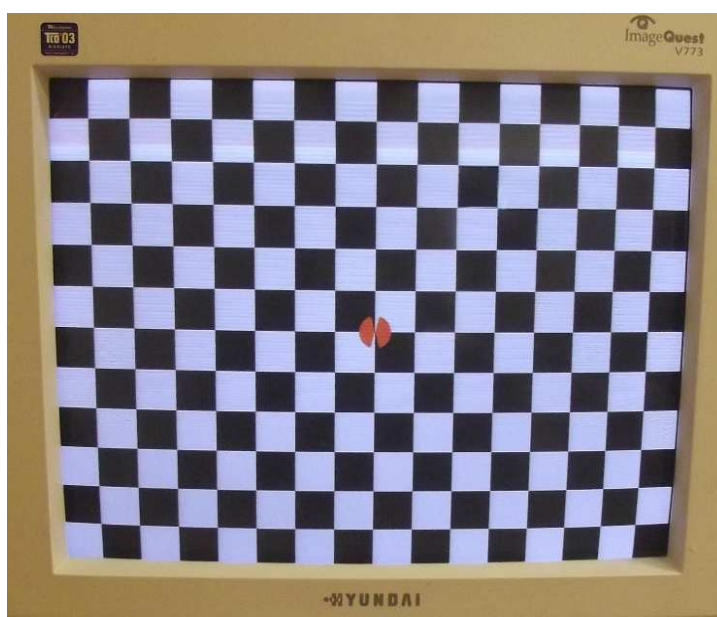
Velikost stimulačního pole

Rozsah stimulačního pole určuje jakou část sítnice neboli velikost zorného pole budeme stimulovat. „Udává se v úhlových stupních a lze vyjádřit jako funkci velikosti stimulační plochy a její vzdálenosti od oka pozorovatele.“ [12, str. 36].

Rozlišujeme stimulaci celým polem (**full field stimulance**) a stimulaci polovin zorných polí (**half field stimulance**). V případě, že pozorovatel fixuje střed stimulační plochy, je tedy stimulováno centrum a různě velká část

periferie sítnice. Mluvíme o stimulaci celým polem, full field stimulaci. Jestliže rozsah stimulační plochy činí 2°-6°, dráždíme pouze foveolární oblast sítnice. Bylo prokázáno, že při zvětšování stimulační plochy dochází k zvyšování amplitudy vlny P100. Zorný úhel 2° představuje 25% velikosti amplitudy, jestliže zakryjeme 4° zorného úhlu, amplituda se sníží o 35%, při zakrytí 6° dojde ke snížení o 50 %. To lze vysvětlit uspořádáním X a Y g.b. v sítnici (viz. podkap.3.3.3.). X buňky s citlivostí především na detail a kontrast jsou nahuštěné zejména v centru sítnice. Počet Y g.b., které jsou citlivé na pohyb a osvit, roste směrem k periferii.

Při half field můžeme stimulovat nasální, temporální, horní či dolní části sítnice. Nasální a temporální stimulační slouží k diagnostice poruch zrakové dráhy v oblasti chiasmatické a retrochiasmatické. [9, 11, 12, 13]



Obr. č. 17 [5]

Stimulační pole, šachovnice s fixačním bodem pro stimulaci celým polem

Velikost čtverců

Velký vliv při použití šachovnicového podnětu má na výsledném záznamu velikost jednotlivého čtverce, resp. jeho strany. Čím je velikost čtverců menší, tím je VEP vyšetření citlivější na poruchy zrakové dráhy. Výsledek je však závislý i na zrakové ostrosti.

Při snižování velikosti čtverců dochází ke zmenšování amplitudy vlny P100 a k prodlužování její latence. Bylo prokázáno, že nejvyšší amplitudy vlny P100 dosáhneme, jestliže použijeme úhlovou velikost čtverců 10 – 30'. Dle jiné literatury je maxima dosaženo při velikosti stimulačního prvku 8'. Pokud zvětšíme jeho velikost až na 2°, pak již nedochází ke stimulaci strukturovaným podnětem, ale přechází to do stimulace zábleskem. Určující je zde jas bílé plochy, nikoli kontrast černého a bílého čtverce. Dle STOHRÁ při normální zrakové ostrosti amplituda snímaného napětí dosahuje svého maxima při použití stimulačních čtverců o úhlové velikosti 30'. Jestliže však je velikost stimulačního čtverce menší než 3', odpověď nelze vybavit.

V praxi se používá také pojem **prostorová frekvence**. Ta vyjadřuje počet čtverců, které se nacházejí na 1° stimulačního pole. Její jednotkou je cyklus na stupeň [c/deg].

Velikost čtverců lze měnit nastavením přístroje nebo změnou vzdálenosti vyšetřovaného od obrazovky. Úhel, pod kterým je jeden čtverec viděn, je určen vztahem:

$$\operatorname{tg} \alpha = a/l,$$

kde a je velikost strany čtverce a l reprezentuje vzdálenost pacienta od obrazovky.[9, 12, 13,27]

Frekvence opakování podnětu

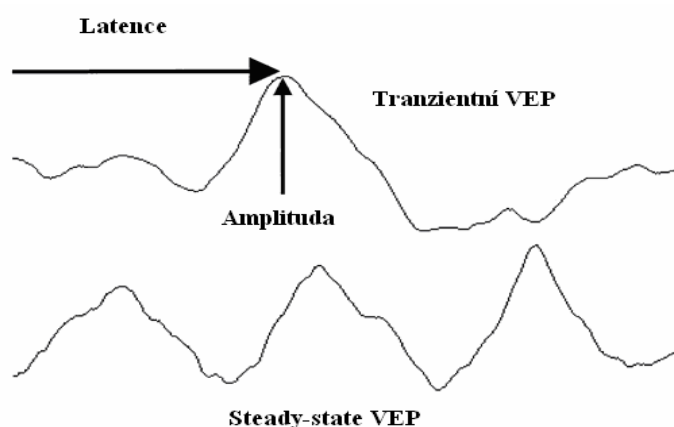
Frekvence opakování podnětu je počet změn stimulačního podnětu za sekundu a udává se v jednotkách Hz.

Při pomalé frekvenci opakování podnětu dochází k tomu, že VEP vyhasne a zrakový systém se navrátí do původního klidového stavu. Lze tak analyzovat jednotlivé odpovědi. V tomto případě mluvíme o **tranzientní evokované odpovědi**. Frekvence opakování činí 1 – 2 Hz.

Pokud frekvenci opakování podnětu zvyšujeme, interval mezi stimuly se zkracuje, až je kratší nežli jednotlivé odpovědi. Další stimul zastihuje zrakovou dráhu v její refrakterní fázi a jednotlivé odpovědi spolu interferují. Opakování podnětu s intervalem kratším než je odpověď vede k ustálení rovnovážného stavu a tak nelze přiřadit jednotlivý cyklus stimulu

k jednotlivému cyklu odpovědi. Vzniká tzv. **steady-state VEP**, které svým tvarem křivky připomíná sinusoidní vlnění s frekvencí, která se blíží frekvenci opakování podnětu. Steady-state VEP vzniká při frekvenci stimulu vyšším než je 6 Hz. Pokud použijeme frekvenci o velikosti 10 Hz, může být evokovaná odpověď zkreslena spontánní alfa aktivitou mozku.

Hodnocení steady-state VEP je odlišné, posuzujeme nejen amplitudu, ale také frekvenci a fázový posun vln vzhledem ke stimulu.[9, 12, 27]



Obr. č. 18 [15]
Steady-State VEP

Jas podnětu

Dle hodnoty jasu stimulační plochy můžeme vyvodit, jaký typ vidění je v činnosti, zda-li vidění fotopické či skotopické. Při vyšetření PR VEP se užívá takový jas, aby byl zapojen systém fotopického vidění. Minimální hodnota jasu v laboratorních podmínkách činí $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, je tedy zapojena činnost tyčinek i čípků. Jestliže klesá jas podnětu, klesá také amplituda a prodlužuje se latence.[9, 11, 13]

Kontrast

Kontrast C mezi černým a bílým polem se udává v procentech a lze vypočítat pomocí vztahu:

$$C = (L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min}) \times 100 \%,$$

kde L_{\max} je jas světlých polí a L_{\min} jas tmavých polí.

Existuje závislost laboratorních výsledků na stupni kontrastu. Jestliže kontrast polí snižujeme, latence VEP roste. Toto je zřetelné zejména pokud nastavíme malou úhlovou velikost čtverců. Amplituda rovněž klesá, avšak jen do saturačního stropu, který leží při 20-40% stupni kontrastu. Z tohoto důvodu při měření VEP používáme kontrast vyšší než je tato saturační hranice, nejlépe pak 75 % a vyšší.[9, 11, 13]

Pásmová propustnost

Pásmovou propustnost zesilovače volíme v rozmezí 0,2 – 300 Hz. V některých případech snižujeme horní pásmovou propustnost na 100 Hz, což vyhladí křivku, avšak prodlouží latenci. Zvýšení dolní meze naopak latenci zkrátí. [11]

5.2.7. Vliv fyziologických faktorů na PR VEP

Věk

Věk hraje důležitou roli k určení normativních výsledků měření VEP. Má vliv především na latenci vlny P100 PR VEP. Do 20. roku života latence klesá, od 50.roku opět narůstá. Odhaduje se, že nárůst činí 2-5 ms na jednu dekádu. K faktorům, které se podílejí na změnu latence, se k věku přiřazuje již zmíněná velikost použitých stimulačních prvků a jas polí. Vliv věku na latenci je však nedostatečně prozkoumaný, vliv na amplitudu je ještě méně známý. [11, 12, 27]

Pohlaví

Pohlaví má vliv jednak na latenci vlny P100, tak na její amplitudu. Latence bývá u mužského pohlaví delší, u žen kratší. Důvodem kratší latence u žen je pravděpodobně vyšší tělesná teplota a menší lebka, tedy i kratší zraková dráha.

Amplitudy odpovědí bývají u ženského pohlaví ve srovnání s mužským jednoznačně vyšší. Dle studie Stejskala a spol. činil amplitudový rozdíl mezi pohlavími u vlny P100 6,2 μ V, N145 6,4 μ V ($P < 0,01$). [9, str. 246] Důvod je vysvětlován hormonální rozdílností obou pohlaví. [9, 11]

Zraková ostrost

Výsledky měření PR VEP korelují s hodnotou zrakového vízu. Ke stanovení zrakové ostrosti se většinou pracuje se Steady- state VEP. Hledáme nejmenší velikost čtverců, které ještě vyvolají odpověď. Jestliže zraková ostrost klesá, klesá i amplituda P100 a její latence se prodlužuje. Pro stanovení objektivní zrakové ostrosti lze také využít steady-state VEP, metodu sweep. Jedná se o rychlou metodu s přesností měření $\pm 0,5$ D. Při samotném vyšetření se v rychlém sledu mění prostorová frekvence stimulačních čtverců, sledujeme pokles amplitudy. Pro objektivní stanovení refrakce předkládáme před vyšetřované oko korekční pomůcku tak dlouho, dokud nedosáhneme v evokované odpovědi největší možnou hodnotu amplitudy. [9, 11, 14, 28]

Pozornost vyšetřovaného

Je prokázáno, že snížená pozornost, únava a distrakce pacienta v průběhu vyšetření snižuje amplitudu, latence však zůstává nezměněna. Výsledky tak mohou být ovlivněny i špatnou fixací pacienta nebo záměrným rozostřováním obrazu změnou akomodace během vyšetření (zaostření před či za obrazovku). [9, 12]

Šíře zornic

Pro vyšetření PR VEP je mydriáza i mióza nežádoucí z důvodu, že může zkreslit výsledky. Pracujeme tak s přirozenou šíří zornic. [9]

Jiné faktory

Bylo prokázáno, že amplituda při vyšetření dominantního oka je vyšší nežli u nedominantního. Také nystagmus ovlivní amplitudu ve smyslu jejího snížení, latence zůstává nezměněna. I některé léky mohou ovlivnit výsledný PR VEP. [9, 11]

5.2.8. Nejčastější abnormality hodnocené dle PR VEP

K hodnocení abnormalit užíváme zejména již zmíněnou změnu latence P100, dále interokulární rozdíl latencí, změny amplitudy až chybění vlny. Dle vyšetření PR VEP lze usoudit, v jaké části zrakové dráhy se defekt nachází.

Jestliže se jedná o prechiasmatickou oblast, vznikne abnormální obraz jednoho oka, obraz druhého bývá normální. Prodloužená latence celého NPN komplexu bez změny amplitudy u jednoho oka může odhalit demyelinizační onemocnění jako sklerosis multiplex. Pokles amplitudy není ovšem tolik specifický ukazatel. Může naznačovat jak optickou neuritidu, tak onemocnění dalších částí zrakové dráhy. Snížená amplituda může poukazovat též na sníženou zrakovou ostrost. Dle PR VEP lze diagnostikovat též amblyopii.

K odhalení poruchy zrakové dráhy v oblasti chiasmatické a retrochiasmatické je nutné použít hemi-field stimulaci. Pro přesnou lokalizaci defektu musíme stimulovat temporální a nasální poloviny zorných polí. Chybění vln PR VEP křivky při dané half-field stimulaci nám pomůže určit přibližné místo dané poruchy. Detailní popis dané problematiky však přesahuje rámec této práce.[9, 11, 12, 14]

6. VÝZKUMNÁ ČÁST

6.1. Úvod

Ve své výzkumné části diplomové práce se věnuji problematice stanovení zrakové ostrosti pomocí VEP. Již dříve bylo provedeno několik experimentů, které potvrdily možnost měření zrakové ostrosti a stanovení refrakce za použití VEP. Přesnost měření se odhaduje na $\pm 0,5$ D. [9] Lze sledovat změnu amplitudy nebo latenci vlny P 100 v závislosti na předloženém refrakčním sklu nebo na velikosti použitého stimulačního prvku. [13, 28] Já jsem pro svůj výzkum zvolila sledování změny velikosti amplitudy vlny NPN v závislosti na velikosti použitého stimulačního obrazce při užití metodiky Steady-state PR VEP.

Mým hlavním zájmem je zjistit přesnost metody měření objektivní zrakové ostrosti v porovnání se zrakovou ostroostí získanou subjektivní metodou dle optotypů. Zajímalo mě, zda-li rozdíl subjektivního a objektivního vizu je podobný při nízkých a vysokých hodnotách zrakové ostrosti. Současně jsem chtěla odhalit náročnost daného měření a zhodnotit, zda-li by tato metoda mohla najít uplatnění v praxi optometristy.

Amplituda napětí, kterou snímáme s povrchu hlavy, je však vcelku variabilní veličina a závisí na mnoha faktorech. HEJSEK a kol. dle vlastního experimentu [30] uvedli, že objektivně stanovená zraková ostrost nekoreluje s ostroostí subjektivní. Má metodika je však odlišná, sleduji totiž přesnost měření dle hodnoty zamlžení. Z tohoto důvodu očekávám, že výsledky nebudou srovnatelné s předchozím experimentem.

6.2. Metodika

O možnostech měření zrakové ostrosti a refrakce jsem se zmínila v podkapitole 5.2.7. Celkové nastavení přístroje pro snímání VEP je dosti individuální a vyšetřovací podmínky spíše doporučeny nežli stanoveny. Vzhledem k mé nezkušenosti z oblasti neurologie a nutnosti nastudování dané problematiky předcházel samotnému experimentu předvýzkum, při němž jsem zjišťovala potřebné nastavení přístroje, vhodnou vzdálenost pacienta od obrazovky a samotnou metodiku. Prováděla jsem jej

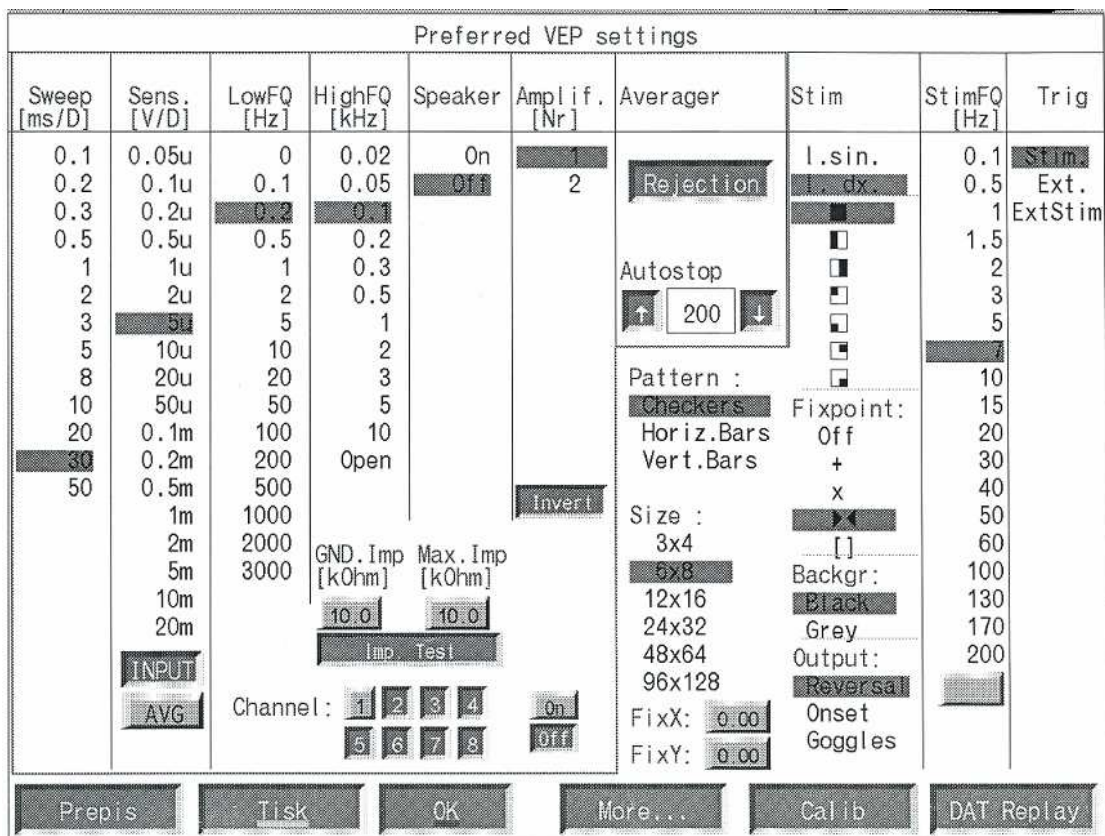
na několika probandech a sledovala odpovědi amplitudy VEP při různé metodice vyšetření. Na základě získaných dat jsem zvolila níže popsanou metodiku.

6.2.1. Výběr probandů

Vzhledem k časové náročnosti a specifiky měření jsem výzkum prováděla na 5 probandech. Jednalo se pouze o muže ve věku 25 až 33 let s normálními, zdravými očima a s korigovaným vizelem více než jedna. Skupinu mužů v daném věkovém rozpětí jsem volila z důvodu, že pohlaví a věk má prokazatelný vliv na hodnotách získaných PR VEP (viz podkap.5.2.7.). Pro účely dalšího vyšetření byla u všech probandů stanovena aktuální sférocylindrická korekce. Stav s touto korekcí byl považován za výchozí.

6.2.2. Nastavení přístroje

Ke snímání VEP jsem užívala přístroj od firmy Medtronic a pracovala s programem KEYPOINT[®], který jsem měla k dispozici na neurologickém pracovišti Dr. Matušíka v Trutnově. Využívala jsem stimulační metodu pattern reversal s užitím šachovnice a stimulovalo se celým polem. Velikost stimulačního pole byla seřízena tak, aby byla drážděna pouze makulární oblast. Jeho úhlová velikost proto činila 7° x 5,25°. Ve středu této plochy byl fixační obrazec. Frekvenci opakování stimulu jsem nastavila na 7 Hz, čímž jsem vyvolala steady-state odpověď. Pásmová propustnost byla v rozmezí 0,2 Hz až 0,1 kHz (viz. podkap. 5.2.1., 5.2.6).

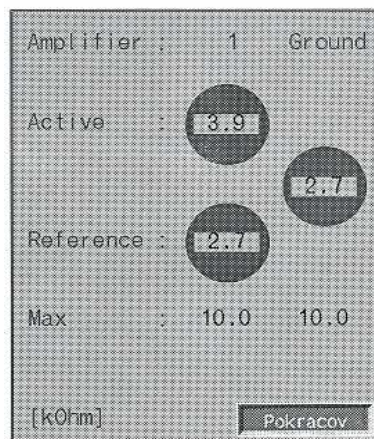


Obr. č. 19 [5]

Ukázka vlastního nastavení přístroje

6.2.3. Elektrody

Pro snímání elektrické aktivity byly použity povrchové elektrody. Referenční elektroda byla přiložena dle systému 10/20 v místě Fz, aktivní pak Oz (viz podkap. 4.3.2.). Zemní elektrodu ve formě pásu jsem přiložila na zápěstí. Kožní odpory byly kontrolovány před každým měřením a nikdy nepřesahovaly 10k Ω . Snaha byla dosáhnout hodnoty 5 k Ω a méně.



Obr. č. 20 [5]

Ukázka hodnoty aktuálních impedancí aktivní, pasivní a zemní elektrody

6.2.4. Vlastní měření

Vyšetřovaný byl pohodlně usazen do křesla s opěrkou pro hlavu ve vzdálenosti 2,7 m od CRT obrazovky, kde se promítala šachovnice. Vzhledem k zvolené vyšetřovací vzdálenosti mohla být navozena akomodace o hodnotě 0,37 D, která by mohla nežádoucím způsobem ovlivnit vyšetření. Pro její eliminaci byla při vyšetření k použité korekční hodnotě přidána slabá adice (0,25 D) v kombinaci se stenopeickou clonou o velikosti 3 mm. Adice přímo eliminuje akomodaci, stenopeická clona zvýší hloubku ostrosti a sníží potřebu akomodace. Předsazením clonky také došlo k omezení distrakce probanda okolními předměty a dosáhla jsem konstantní velikosti pupily všech vyšetřených.

Stimulace probíhala v místnosti s přirozeným osvětlením, a to monokulárně, dráždilo se vždy pravé oko. Samotný pacient během snímání VEP musel být v absolutním klidu, šíje měla být uvolněná, hlava opřená o opěrku, nemluvil a musel se soustředit na fixační bod. To vše z důvodu snahy o minimalizaci mozkové aktivity, která by mohla snímané potenciály překrýt.

VEP na strukturální podnět byl měřen při čtyřech různých úhlových velikostech stimulačních čtverců v pořadí od největšího po nejmenší. Vzhledem k nabídce prostorové frekvence stimulačních čtverců jsem se musela omezit na níže zmíněné úhlové velikosti těchto prvků. Amplitudy snímaného napětí NPN vlny jsem tedy sledovala při úhlové velikosti čtverců 52,5', 26,25', 13,125' a 6,56'. Jestliže bych použila stimulační prvek o velikosti 105', pak by již křivka PR-VEP přecházela v křivku podobnou F-VEP. Při užití čtverců o velikosti 3,28' nebyla vyvolaná vzruchová aktivita dobře odlišitelná od šumu.

Nejprve jsem snímala zrakové potenciály u probandů s výchozí korekcí. Poté byl vízus snížen dioptrickou čočkou o hodnotě + 1 D zamlžením, následně + 2 D. U každého probanda jsem tak získala 12 měření (4 pro výchozí vízus, 4 při zamlžení + 1 D, + 4 při zamlžení 2 D). Počet opakování přeběhů, nutných k naměření kvalitní steady-state odpovědi, činil v průměru 50. V každém měření jsem si vyznačila maxima a minima odpovědi, přístroj mi sám spočítal hodnotu amplitudy při dané úhlové velikosti čtverců. Měření amplitudy probíhalo mezi minimem N75 a maximem P100 dané vlny.

Při nastavení všech parametrů jsem se ohlížela též na experimenty provedené Reganem a Hejskem. [28, 30]

6.2.5. Zpracování výsledků a výpočet objektivního vízu

K získání hodnoty objektivního neboli kalkulovaného vízu, V_k byla sledována závislost amplitudy na prostorové frekvenci čtverců. Přitom v souladu s publikací [30] byl použit logaritmus prostorové frekvence. Rozlišovací mez $MÚR_k$ v úhlových minutách můžeme určit z mezní hodnoty prostorové frekvence PF_k v cyklech na stupeň, při které amplituda klesne na nulu, pomocí vztahu

$$MÚR_k = 1 / 2 PF_k * 60.$$

Z této hodnoty $MÚR_k$ stanovíme vízus

$$V_k = 1 / MÚR_k.$$

Vzhledem k tomu, že v rámci použitého rozsahu prostorové frekvence prezentovaných znaků nebylo dosaženo mezní hodnoty, bylo nutné provést extrapolaci. Pro tyto účely byla sledovaná závislost proložena parabolickou křivkou, přičemž jako závisle proměnná byl uvažován zmíněný logaritmus prostorové frekvence. Prahová hodnota odpovídající průsečíku křivky s osou x, byla zjištěna odlogaritmováním. Parabolickou křivku jsem volila z důvodu, že s klesající velikostí stimulačního prvku amplituda registrovaného napětí roste, avšak po dosažení jejího maxima náhle klesá, a to i přes to, že stimulační obrazec se nadále zmenšuje. To je uvedeno v citované publikaci [13, str. 306 - 307].

6.2.6. Subjektivní stanovení vízu

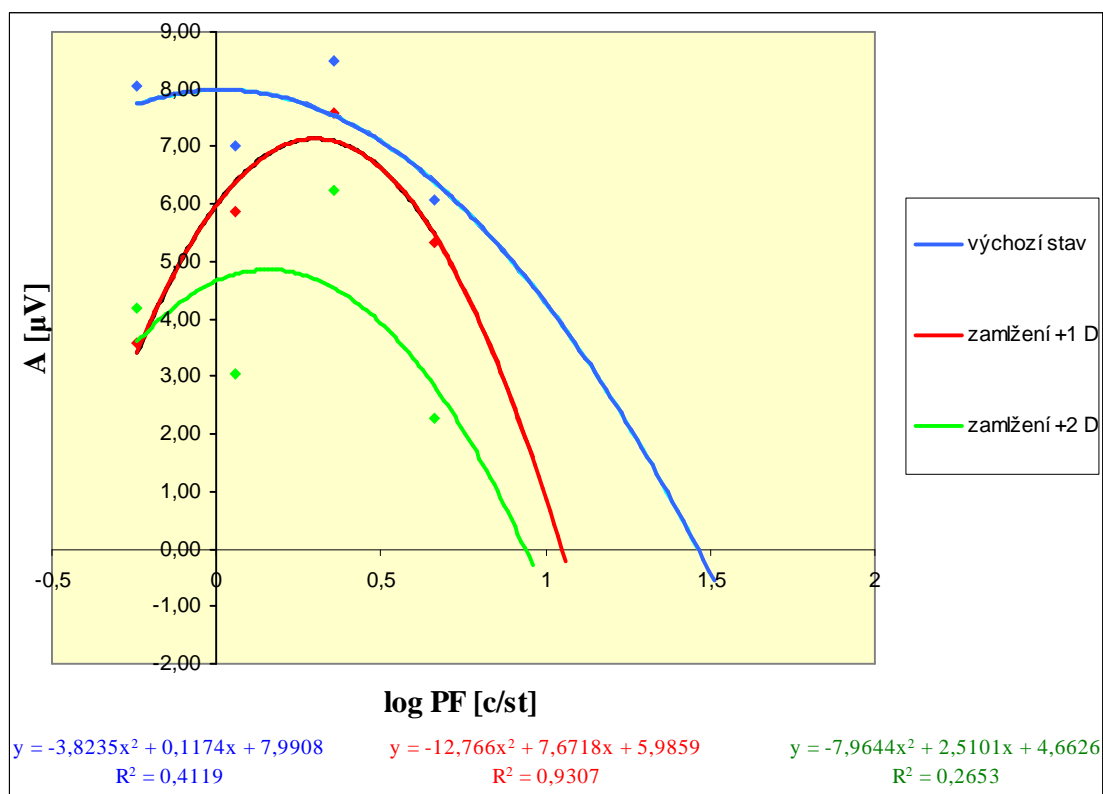
K zhodnocení validity objektivního měření zrakové ostrosti, jsem výsledky porovnávala se zrakovou ostroostí získanou subjektivní metodou dle optotypu. Kontrola subjektivního vízu V_s byla prováděna na optotypu vytvořeném na katedře Optiky UP v Olomouci. Použila jsem písmena Sloan Letter 5 x 5. K jejich prezentaci byla použita stejná CRT obrazovka jako při snímání VEP. Jas a kontrast znaků optotypu a stimulačních čtverců byl tedy konstantní. Testování zrakové ostrosti probíhalo monokulárně, a to vždy pro oko pravé ze vzdálenosti 5 m v místnosti s přirozeným osvětlením. Vyšetřovaný dosáhl daného vízu v případě, jestliže přečetl na daném řádku alespoň 3 znaky z 5.

6.3. Výsledky

6.3.1. Grafické zpracování

Získané závislosti amplitudy na logaritmu prostorové frekvence testového znaku pro jednotlivé probandy jsou prezentovány na obrázku číslo 21, 23, 24, 25 a 26.

Vyšetřovaný č. 1



Obr. č. 21

Velikost amplitudy napětí v mikrovoltech, A [μV] v závislosti na logaritmu prostorové frekvence velikosti stimulačních čtverců v cyklech na stupeň, $\log c/st$, $\log PF$ [c/st]

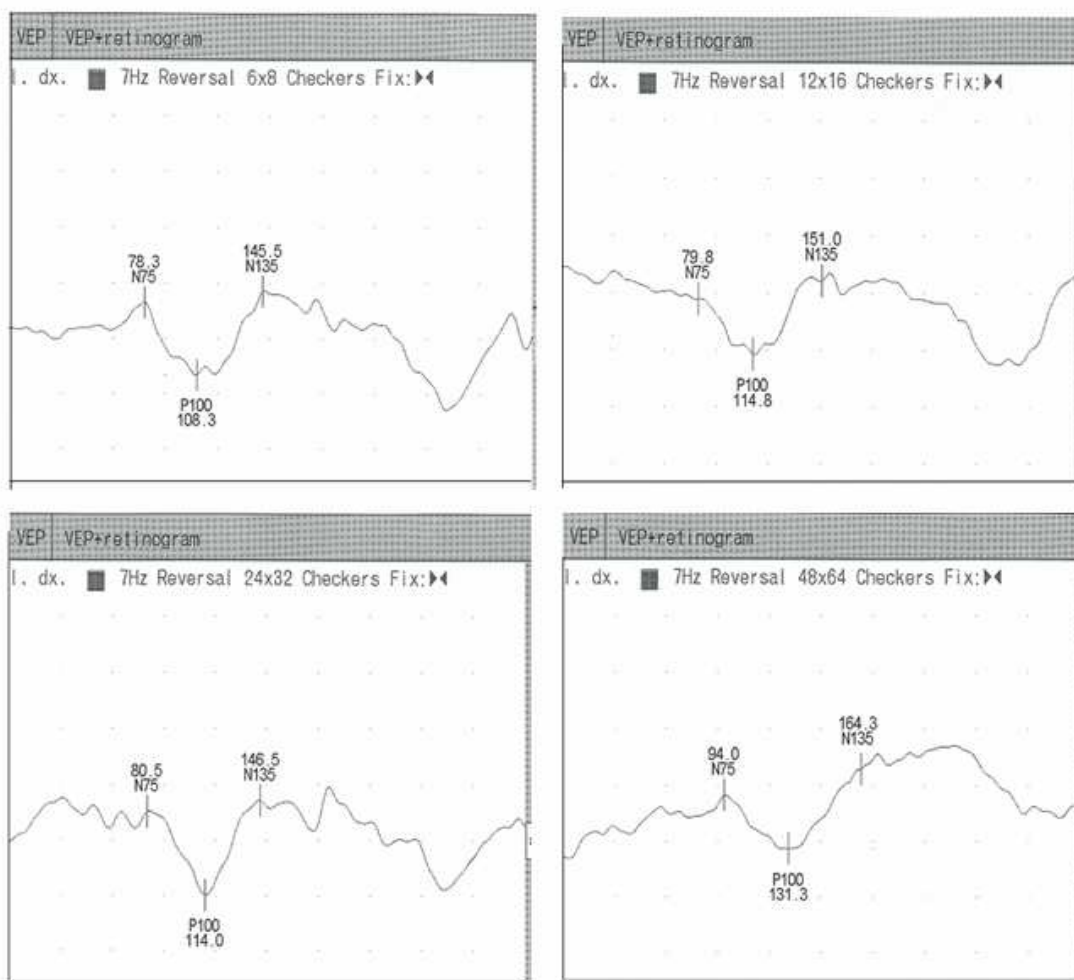
V obrázku jsou též uvedeny regresní rovnice a koeficienty spolehlivosti barevně odlišený dle hodnoty zamlžení.

Výsledky vyšetřovaného č. 1

<i>zamlžení / D</i>	V_s	V_k	$\Delta_I = V_s - V_k$
0	1,25	0,94	0,31
+ 1	0,63	0,37	0,26
+ 2	0,25	0,29	- 0,04

Tab. č. 3

Hodnota subjektivního vízu, V_s , objektivního vízu, V_k a jejich rozdíl, Δ_I u prvního vyšetřovaného dle hodnoty zamlžení

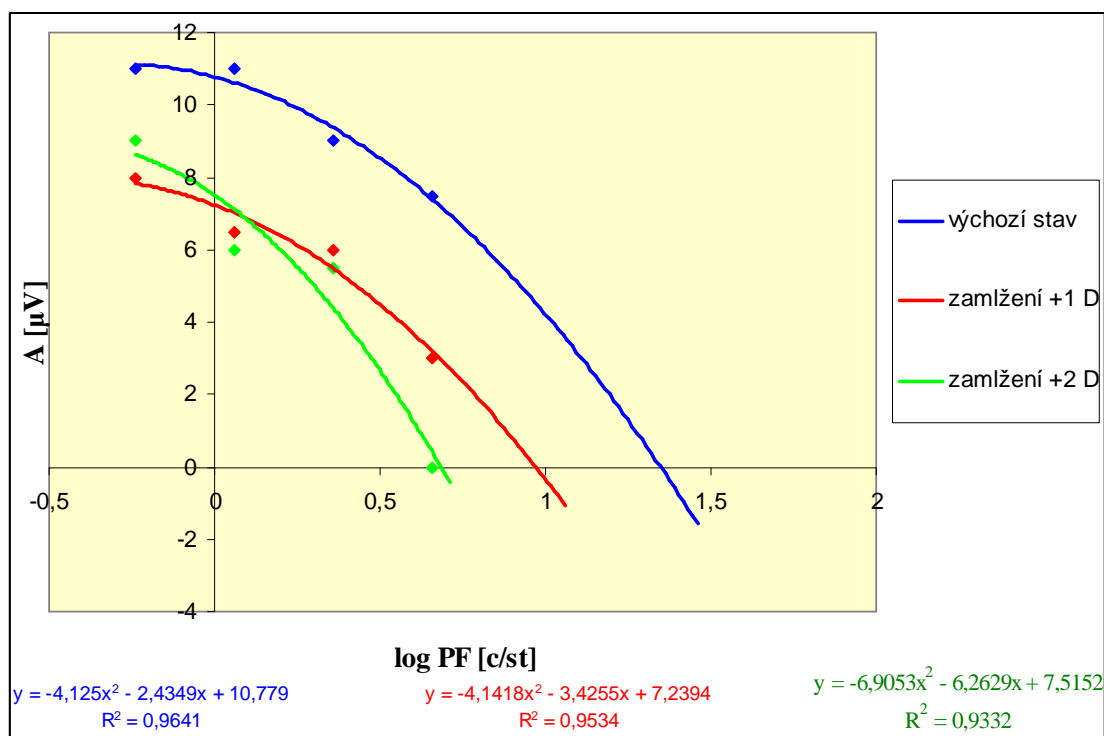


Obr. č. 22 [5]

Křivka Steady-state PR VEP s vyznačenými maximy a minimy u prvního probanda při hodnotě zamlžení 0 D při čtyřech různých úhlových velikostech stimulačních prvků

Obrázek slouží jako ukázka vzhledu Steady-state křivky snímaných potenciálů.

Vyšetřovaný č. 2



Obr. č. 23

Velikost amplitudy napětí v mikrovoltech, A [μV] v závislosti na logaritmu prostorové frekvence velikosti stimulačních čtverců v cyklech na stupeň, $\log \text{c/st}$, $\log \text{PF}$ [c/st]

V obrázku jsou též uvedeny regresní rovnice a koeficienty spolehlivosti barevně odlišeny dle hodnoty zamlžení.

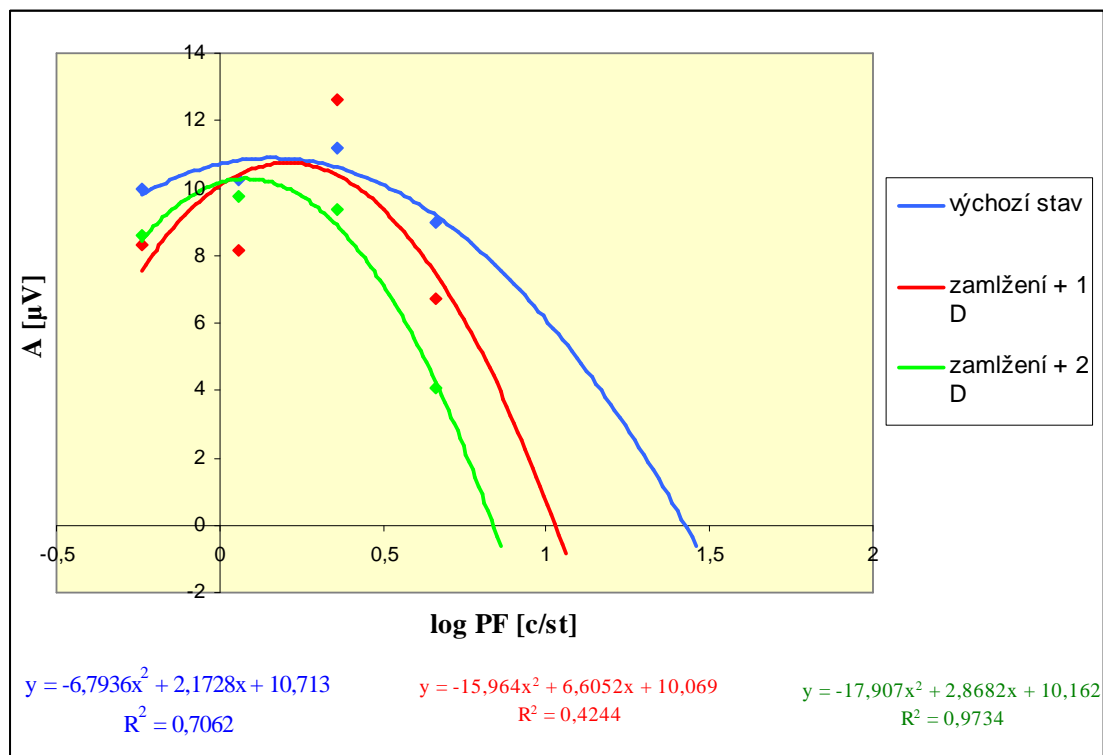
Výsledky

<i>zamlžení / D</i>	V_s	V_k	$\Delta_2 = V_s - V_k$
0	1,25	0,74	0,51
+ 1	0,5	0,31	0,19
+ 2	0,25	0,16	0,09

Tab. č. 4

Hodnota subjektivního vízu, V_s , objektivního vízu, V_k a jejich rozdíl, Δ_2 u druhého vyšetřovaného dle hodnoty zamlžení

Vyšetřovaný č. 3



Obr. č. 24

Velikost amplitudy napětí v mikrovoltech, A [μV] v závislosti na logaritmu prostorové frekvence velikosti stimulačních čtverců v cyklech na stupeň, $\log c/\text{st}$, $\log \text{PF}$ [c/st]

V obrázku jsou též uvedeny regresní rovnice a koeficienty spolehlivosti barevně odlišeny dle hodnoty zamlžení.

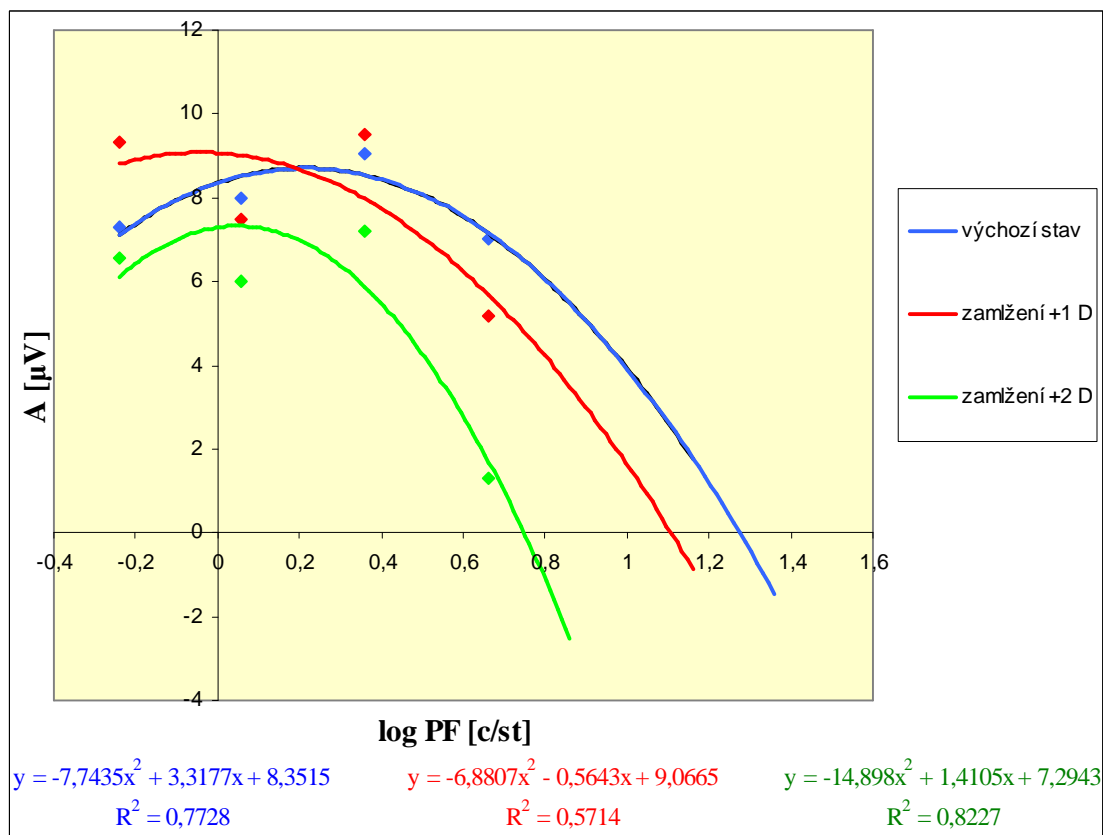
Výsledky

<i>zamlžení / D</i>	V_s	V_k	$\Delta_3 = V_s - V_k$
0	1,6	0,9	0,7
+ 1	0,63	0,36	0,27
+ 2	0,32	0,23	0,09

Tab. č. 5

Hodnota subjektivního vízu, V_s , objektivního vízu, V_k a jejich rozdíl, Δ_3 u třetího vyšetřovaného dle hodnoty zamlžení

Vyšetřovaný č. 4



Obr. č. 25

Velikost amplitudy napětí v mikrovoltech, A [μV] v závislosti na logaritmu prostorové frekvence velikosti stimulačních čtverců v cyklech na stupeň, $\log c/\text{st}$, $\log \text{PF}$ [c/st]

V obrázku jsou též uvedeny regresní rovnice a koeficienty spolehlivosti barevně odlišeny dle hodnoty zamlžení.

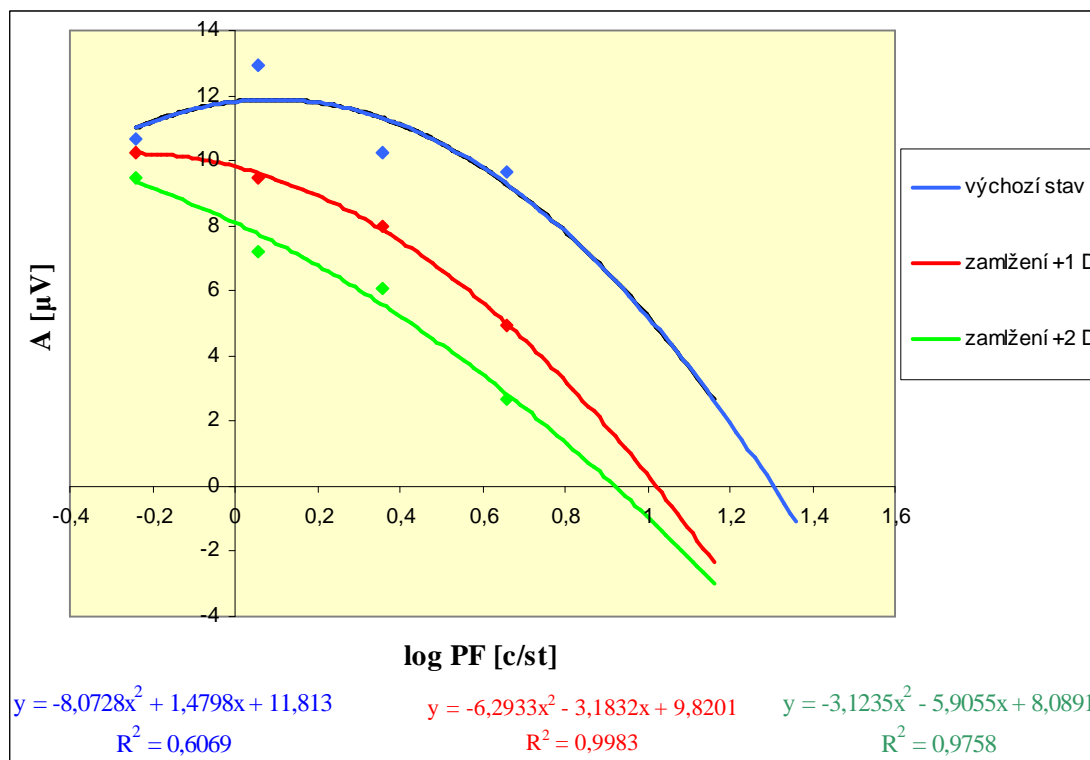
Výsledky

<i>zamlžení / D</i>	V_s	V_k	$\Delta_4 = V_s - V_k$
0	1,25	0,62	0,63
+ 1	0,63	0,52	0,11
+ 2	0,25	0,19	0,06

Tab. č. 6

Hodnota subjektivního vízu, V_s , objektivního vízu, V_k a jejich rozdíl, Δ_4 u čtvrtého vyšetřovaného dle hodnoty zamlžení

Vyšetřovaný č. 5



Obr. č. 26

Velikost amplitudy napětí v mikrovoltech, A [μV] v závislosti na logaritmu prostorové frekvence velikosti stimulačních čtverců v cyklech na stupeň, $\log c/\text{st}$, $\log \text{PF}$ [c/st]

V obrázku jsou též uvedeny regresní rovnice a koeficienty spolehlivosti barevně odlišeny dle hodnoty zamlžení.

Výsledky

<i>zamlžení / D</i>	V_s	V_k	$\Delta_5 = V_s - V_k$
0	1,25	0,67	0,58
+ 1	0,5	0,35	0,15
+ 2	0,25	0,28	-0,03

Tab. č. 7

Hodnota subjektivního vízu, V_s , objektivního vízu, V_k a jejich rozdíl, Δ_5 u pátého vyšetřovaného dle hodnoty zamlžení

6.3.2. Shrnutí výsledků

zamlžení / D	$\bar{\varnothing} V_s$	$\bar{\varnothing} V_k$	σV_s	σV_k
0	1,32	0,77	0,14	0,13
+ 1	0,58	0,38	0,06	0,08
+ 2	0,26	0,23	0,03	0,05

Tab. č. 8

Průměr $\bar{\varnothing}$ a směrodatná odchylka σ subjektivního vízu, V_s a objektivního (kalkulovaný) vízu, V_k dle hodnoty zamlžení u všech vyšetřených

Z tabulky č. 8 lze vyčíst, že průměrné výsledky objektivně stanoveného vízu jsou oproti průměrným hodnotám subjektivně stanoveného vízu podhodnoceny. Směrodatné odchylky průměrného subjektivního a objektivního vízu si jsou vzájemně při daném stupni zamlžení podobné.

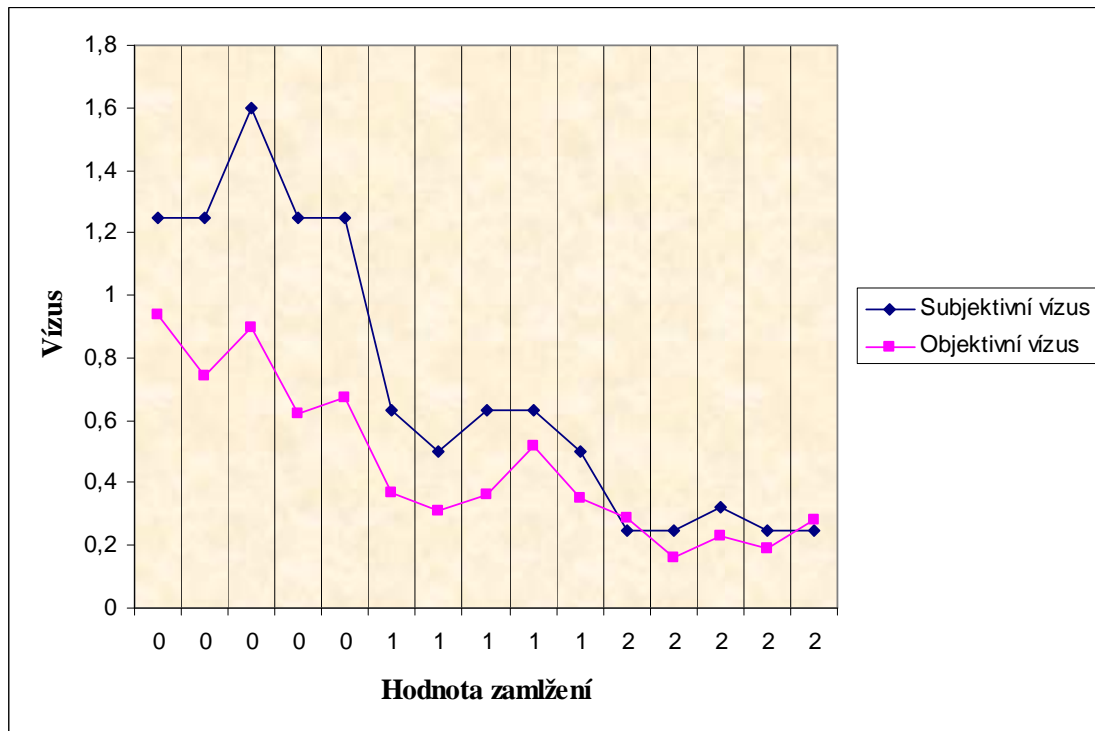
zamlžení / D	\varnothing_A	σ_A
0	0,55	0,13
+ 1	0,2	0,06
+ 2	0,03	0,06

Tab. č. 9

Rozdíl \varnothing_A průměrného subjektivního vízu V_s a průměrného objektivního vízu V_k , \varnothing_A a její směrodatná odchylka σ_A u všech vyšetřených dle hodnoty zamlžení

Z tabulky č. 9 lze vyčíst, že největší odlišnost mezi subjektivním a objektivním vízem nastává v případě, jestliže pracujeme s vysokými vízy, tedy bez zamlžení. Při zamlžení + 1 D se jejich rozdíl snižuje. Největší podobnost nacházíme u nízkých vízů, při zamlžení + 2 D.

Směrodatná odchylka je nejvyšší při testování zrakové ostrosti ve výchozím stavu, tedy bez zamlžení. Při zamlžení + 1 D a + 2 D je směrodatná odchylka stejná.



Obr. č. 27

Grafické znázornění hodnoty dosaženého subjektivního vízu, V_s a kalkulovaného vízu, V_k dle hodnoty zamlžení u každého vyšetřeného

Dle obrázku č. 27 lze soudit, že hodnota subjektivně stanoveného vízu byla u všech probandů vyšší než hodnota objektivně stanoveného vízu, a to v případě vysokých vízu bez zamlžení a při zamlžení + 1 D. U dvou probandů z pěti byla hodnota objektivního vízu při zamlžení + 2 D vyšší než hodnota vízu stanovená subjektivní metodou.

6.4. Diskuze

Výsledky dosažené vlastním experimentem ukazují, že hodnoty objektivního vízu dle VEP jsou oproti subjektivnímu podhodnoceny. Rozdíl mezi průměrným subjektivním a objektivním vízem, dle hodnoty zamlžení, klesá. Největší průměrný rozdíl, $\bar{\Delta}$ nacházíme u vízu s výchozí korekcí, který činí 0,55. Při zamlžení sférickou čočkou o hodnotě + 1 D se jejich průměrný rozdíl posouvá na hodnotu 0,2. Největší podobnost mezi zrakovou ostrostí subjektivní a objektivní je při zamlžení zraku + 2 D. Zde se rozdíl vízů rovná hodnotě 0,03. Směrodatná odchylka, σ_{Δ} rozdílu průměrů, $\bar{\Delta}$ je nejvyšší u vízu bez zamlžení a její hodnota činí 0,13. U vízu při zamlžení + 1 D a

+ 2 D je stejná a odpovídá číslu 0,06, tyto prvky souboru jsou si tak navzájem stejně podobné.

Dle mých výsledků by tato metoda byla vhodná pouze v případech, kdy předpokládáme, že pacient dosahuje vízu, který je nižší než 0,6 ($V < 0,6$). Výzkum provedeným HEJSKEM a spol. [30] říká, že subjektivní zraková ostrost statisticky významně nekoreluje s ostrostití kalkulovanou. Metodika měření objektivní a subjektivní zrakové ostrosti a zpracování výsledků však byla v tomto experimentu lehce odlišná nežli má. Tím se mohou vysvětlit dané rozdíly ve výsledcích. V Hejskovém experimentu byla pro snímání evokovaných potenciálů užitá sweep metoda a bylo prezentováno pět testových prvků, jejichž úhlová velikost byla lehce odlišná. Vyšetřovací vzdálenost byla kratší s větším stimulačním polem a nebyla použita stenopeická clona. Zpracování výsledků též proběhlo bez rozdělení probandů dle dosaženého vízu.

Otázkou zůstává, zda je zvolená parabolická aproximace dat vhodným řešením, zda by více (z principiálního hlediska) nevyhovoval jiný typ křivky. Diskutabilní je také vhodnost samotné extrapolace. Nejvhodnější by samozřejmě bylo, pokud bychom mohli použít stimulační prvek o úhlové velikosti menší než 6,56'. Tím bychom se přiblížili k MÚR lidského oka s možností získat objektivní zrakovou ostrost bez nutnosti extrapolace i u vyšších vizů. Možná v budoucnu budou přístroje pro snímání VEP více citlivé a budou umět lépe oddělit vzruchovou aktivitu mozku způsobenou evokovanými potenciály od její spontánní aktivity.

Výhodou této metody je však objektivnost měření. Je vyloučena simulace pacienta a nedochází k odhadu písmen optotypu, podle kterých se hodnotí subjektivní stav zrakové ostrosti. Amplituda snímaného napětí je však variabilní veličina, jejíž výsledky jsou lehce ovlivnitelné. Jako příklad mohu uvést nesprávnou lokalizaci umístění snímacích elektrod nebo vysoký či nekonstantní odpor mezi elektrodou a kůží hlavy. Velikost snímané amplitudy lze též ovlivnit nepozorností a únavou pacienta. Na její velikost může mít vliv i sám vyšetřující. Ten určuje maxima a minima měřené amplitudy NPN vlny. Lehce nepřesným stanovením maxima a minima může zásadně pozměnit výsledek kalkulovaného vízu.

Vyšetření i kalkulace objektivního vízu byly časově a technicky náročné. Pro běžnou praxi optometristy se tato metoda nehodí. Pro praxi oftalmologa by mohla být přínosem spolupráce s kvalifikovaným neurologem, který zrakovou ostrost umí měřit.

Pak by jistě našla uplatnění v případech, kdy je nutné potvrdit či vyvrátit pochybnosti o pacientově slepotě či těžké slabozrakosti nebo také zjistit zrakovou ostrost u pacientů, kteří nemohou komunikovat. Myslím si, že metoda stanovení objektivní zrakové ostrosti dle VEP zatím najde své uplatnění pouze v laboratorních podmínkách.

7. ZÁVĚR

Předložená diplomová práce s názvem Vizuální evokované potenciály byla rozdělena do šesti částí, z nichž poslední byla část experimentální. V prvním úseku práce jsem se věnovala základům neurofyzologie. Popsána byla základní jednotka nervové soustavy, neuron, dále jsem se v potřebné míře věnovala vzniku a vedení nervového vzruchu, aferentnímu systému a bioelektrickým projevům mozkové činnosti. Tato kapitola byla vypracována tak, aby obsahovala základní informace pro pochopení problematiky evokovaných potenciálů. Látka je to však o mnoho více obsáhlejší.

Další kapitola pojednávala o samotném zrakovém systému. Vcelku podrobně jsem zde popsala transformaci světelného signálu v elektrický, jeho vedení zrakovou dráhou s návazností na funkční popis jednotlivých neuronů zrakové dráhy a jejich recepčních polí. Kapitola je uzavřena souhrnem informací o zrakové ostrosti.

Po teoretickém shrnutí zrakového systému, byla sepsána třetí část na téma evokovaných potenciálů. Zde jsem obecně charakterizovala pojem evokovaný potenciál a popsala princip jeho vzniku. Důležitou součástí této kapitoly bylo sepsání technického zajištění snímání EP.

Teoretickou část uzavírá kapitola o samotných vizuálních evokovaných potenciálech. Začíná její obecnou charakteristikou, následována popisem metody snímání VEP zábleskovou metodou. Ta je popsána stručně a výstižně. Vzhledem k metodice v experimentální části, byla snaha se dostačujícím způsobem věnovat snímání VEP na strukturální podnět.

Poslední kapitolou mé diplomové práce byla část experimentální, kde jsem sledovala rozdíl mezi vízem stanoveným objektivní metodou dle VEP a subjektivní metodou dle optotypů. Výsledky ukázaly, že objektivní metoda oproti subjektivní vízus podhodnocuje, a to zejména pro její vysoké hodnoty. Čím nižší byl dosažený vízus, tím více mezi sebou obě metody korelovaly. To může být způsobeno velikostí použitých stimulačních prvků, zvolenou metodou zpracování výsledných dat a kalkulací objektivního vízu.

Cílem práce bylo zhodnotit použitelnost dané metody v běžné praxi optometrů. V současné době tuto metodu nedoporučuji. V porovnání s objektivní metodou získávání vízu pomocí autorefraktometru je časově a technicky náročná a ne

vždy přesná (zejména při vysokých vízech). Dále pořizovací cena přístroje není zanedbatelná. Podle mých úvah by v budoucnu mohla najít uplatnění při stanovení zrakové ostrosti a refrakce u pacientů, kteří nejsou schopni komunikace nebo u těch, u kterých selhávají jiné metody. Snímání zrakových evokovaných potenciálů najde zatím využití pouze v praxi oftalmologa, jako součást diagnostiky poruch zrakové dráhy. Jako cennou součástí vyšetření stále zůstává objektivnost metody, díky níž lze potvrdit či vyvrátit předstíranou slepotu.

8. POUŽITÉ ZKRATKY

CNS	Centrální nervová soustava
PNS	Periferní nervová soustava
EEG	Elektroencefalograf
b.b.	Bipolární buňka sítnice
g.b.	Gangliová buňka sítnice
CGL	Corpus geniculatum laterale
RP	Receptivní pole
V	Vízus
MÚR	Minimální úhlové rozlišení
EP	Evokované potenciály
SEP	Somatosenzorické EP
BAEP	Sluchové kmenové EP
MEP	Motorické EP
ERP	Endogenní kognitivní EP
VEP	Vizuální evokované potenciály
Oz, Fz	Zkratky podle mezinárodního systému 10/20 o umístění elektrod na skalpu
F-VEP	VEP na zábleskový podnět
PR VEP	VEP na reverzní strukturovaný podnět
PF	Prostorová frekvence

9. POUŽITÁ LITERATURA

Knihy:

- [1] TROJAN, S. a kol. *Fyziologie*. Praha: Avicenum, 1987, ISBN 08-027-87.
- [2] ČIHÁK, R. *Anatomie III*. Praha: Grada Publishing a.s., 2001, ISBN 80-7169-140-2.
- [3] KLIKA, E. *Histologie*. Praha: Avicenum 1986, ISBN 08-110-86.
- [4] BARTKO, D. *Neurologia*. Martin: Osveta, 1985, ISBN 70-106-85.
- [5] MARŠALA, J. *Nervové dráhy*. Martin: Osveta, 1969, ISBN 70-049-69.
- [6] HRAZDIRA, I. *Biofyzika*. Praha: Avicenum, 1990, ISBN 08-440-90.
- [7] PETROVICKÝ, P., DRUGA, R. *Dráhy centrálního nervového systému*. Praha, Státní pedagogické nakladatelství, 1989, ISBN 17-082-89.
- [8] KUCHYNKA, P. a kol. *Oční lékařství*. Praha: Grada Publishing, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [9] STEJSKAL, L. a spol. *Evokované odpovědi a jejich užití*. Praha: Praha Publishing, 1993
- [10] KIMURA, J. *Electrodiagnosis in diseases of nerve and muscle: Principles and Practice, Edition 2*. Philadelphia: F.A. Davis Company, 1989, ISBN 0-8036-5342-5
- [11] CIGÁNEK, L. *Evokované potenciály a ich využitie v klinickej praxi*. Martin: Osveta. 1991, ISBN 80-217-0354-7
- [12] KAŇOVSKÝ P., DUFEK J. *Evokované potenciály v klinické praxi*. Brno: IDV PZ, 2000, ISBN 80-7013-306-6
- [13] STÖHR M., DICHGANS J., DIENER H.C., BUETTNER U.W. *Evozierte Potentiale*. Germany: Springer – Verlag Berlin Heildeberg New York, 1989, ISBN 3-540-50428-1
- [14] BENJAMIN, W. J. *Borish's Clinical Refraction, Seconde edition*. USA, Missouri: Butterworth – Heinemann, 1998, ISBN – 13: 978-0-7506-7524-6, ISBN – 10: 7506-7524-1

Internetové zdroje:

[15] Periferní nervová soustava: Periferní nervová soustava. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-06-28]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Perifern%C3%AD_nervov%C3%A1_soustava

[16] Macháček, T. *et al.* Biomach, výpisky z biologie [online]. 2005– [cit. 2013-06-20]. Dostupné z: <http://www.biomach.cz/biologie-cloveka/nervova-soustava>.

[17] CUMMINGS, Benjamin. Membrane Potential: Membrane Potential. In: [online]. [cit. 2013-06-28]. Dostupné z: <http://apbrwww5.apsu.edu/thompsonj/Anatomy%20&%20Physiology/2010/2010%20Exam%20Reviews/Exam%203%20Review/CH%2011%20Membrane%20Potential.htm>

[18] Sir Charles Scott Sherrington (1857–1952) and the synapse. In: [online]. [cit. 2013-06-28]. DOI: 10.1136/jnnp.2003.017921. Dostupné z: <http://jnnp.bmj.com/content/75/4/544.full>

[19] KUKLETA, Miloslav a Alexandra ŠULCOVÁ. *Texty k přednáškám z neurovědy: Mozek a chování*. Brno: Lékařská fakulta MU, 2003. [cit. 2013-06-28]. Dostupné z: http://www.med.muni.cz/dokumenty/doc/neurovedy_texty.doc

[20] HUBEL, David. *Eye, Brain and Vision*. [cit. 2013-06-28] Dostupné z: <http://hubel.med.harvard.edu/book/b12.htm>

[21] Biochemie procesu vidění. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-06-28]. Dostupné z: http://www.wikiskripta.eu/index.php/Biochemie_procesu_vid%C4%9Bn%C3%99

[22] KIKALOVÁ, Kateřina, Libor MACHÁLEK, Vladimír HOLIBKA, Miroslav KUTAL a Milada BEZDĚKOVÁ. PODPOŘENO FRVŠ 1868/2008. *NEUROANATOMIE I: Struktury centrálního nervového systému* [online]. [cit. 2013-06-28]. Dostupné z: <http://www.nan.upol.cz/neuro/index.html>

[23] HUBEL, David. *Eye, Brain and Vision*. [cit. 2013-06-28] Dostupné z: <http://hubel.med.harvard.edu/book/b9.htm>

[24] Lékařská fakulta, Ústav lékařské biofyziky Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, cit. 2013-06-28] Dostupné z: <http://ulb.upol.cz/praktikum/optika.pdf>

[25] AKAY AHMED (2012). *Evoked Potentials, Electrophysiology - From Plants to Heart*, Dr. Saeed Oraii (Ed.), ISBN: 978-953-51-0006-5 InTech, [cit. 2013-06-28] Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/electrophysiology-from-plantsto-heart/evoked-potentials>

[26] Monitor (Obrazovka). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-06-28]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Monitor_\(obrazovka\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Monitor_(obrazovka))

[27] CREEL, D.J. *Webvision: Visually evocated potentials* [online]. 2011 [cit. 2013-06-30]. Dostupné z: <http://webvision.med.utah.edu/book/electrophysiology/visually-evoked-potentials/>

Odborné články:

[28] REGAN, D. *Rapid objective refraction using evoked brain potentials*. Investigative Ophthalmology. Vol. 12, 1973, No. 9, page 669-679

[29] VERNON J., BACH M., BARBER C., BRIGELL M., MARMOR F.M., TORMENE P.A., HOLDER E.G., VEAGAN *Visual evocated potentials standart (2004)*, Documenta Ophtalmologica, roč. 105, 2004, str. 115-123, [cit. 2013-06-28]. Dostupné z: http://www.metrovision.fr/pdf/2004_odom.pdf

[30] HEJSEK L., LANGROVÁ H., PAŠTA J., ROZSÍVAL P., *Objektivní určení zrakové ostrosti pomocí zrakových evokovaných potenciálů*. Česká a slovenská oftalmologie, roč. 65, 2009, č. 6, str. 227-233, ISSN 1211-9059

Studijní materiály:

[31] VRBACKÁ V. *Nervová tkáň – výukové materiály k předmětu Histologie*, Katedra Histologie a Embryologie Lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Hradci Králové, Hradec Králové, 2006

[32] KARBANOVÁ J. *Smysly – výukové materiály k předmětu Histologie*, Katedra Histologie a Embryologie Lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Hradci Králové, Hradec Králové, 2006

Obrázky

[1] VRBACKÁ V. *Nervová tkáň – výukové materiály k předmětu Histologie*, Katedra Histologie a Embryologie Lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Hradci Králové, Hradec Králové, 2006

- [2] <http://www.dreamstime.com/stock-photography-types-neurons-image18808422>
- [3] <http://www.zerobio.com/central/actionpotential.htm>
- [4] <http://www.smallerquestions.org/>
- [5] vlastni zdroj
- [6] http://www.arn.org/docs/glicksman/eyw_041101.htm
- [7] <http://www.sandralicher.de/index.php?id=61>
- [8] <http://edoc.hu-berlin.de/habilitationen/brandt-stephan-a-2001-12-04/HTML/brandt-ch2.html>
- [9] <http://www.misionmilagro.sld.cu/vol2no1/rev6.php>
- [10] <http://www.webexhibits.org/colorart/ganglion.html>
- [11] <http://read.uconn.edu/PSYC3501/Lecture04/>
- [12] http://www.elin.ttu.ee/mesel/Study/Courses/3240BME/Content/1_Bioelectricity/BME_2_bioelectric_signals.htm
- [13] <http://www.iscev-wiki.org/twiki/bin/view/Main/VepProtocol>
- [14] <http://webvision.med.utah.edu/book/electrophysiology/visually-evoked-potentials/>
- [15] <http://www.oculist.net/downaton502/prof/ebook/duanes/pages/v8/v8c105.html>

Tabulky:

- [1] CIGÁNEK, L. *Evokované potenciály a ich využitie v klinickej praxi*. Martin: Osveta. 1991, str. 73-74, ISBN 80-217-0354-7

10. PŘÍLOHA

10.1. Vysvětlivky

- A) Výchozí stav
- B) Zamlžení + 1 D
- C) Zamlžení + 2 D

10.2. Vyšetřovaný č. 1

A)

log/st	Amplituda [mV]
-0,24	8,07
0,058	7,01
0,359	8,51
0,66	6,08

$$y = 0, x = 1,46$$

$$V_k = 0,94$$

$$MÚR_k = 1,04'$$

$$PF_k = 28,84 \text{ c/st}$$

b)

log/st	Amplituda [mV]
-0,24	3,58
0,058	5,88
0,359	7,6
0,66	5,32

$$y = 0, x = 1,05$$

$$V_k = 0,37$$

$$MÚR_k = 2,67'$$

$$PF_k = 11,22 \text{ c/st}$$

c)

log/st	Amplituda [mV]
-0,24	4,18
0,058	3,06
0,359	6,25
0,66	2,28

$$y = 0, x = 0,94$$

$$V_k = 0,29$$

$$MÚR_k = 3,49'$$

$$PF_k = 8,71 \text{ c/st}$$

10.3. Vyšetřovaný č. 2

a)

log c/st	Amplituda [mV]
-0,24	11
0,058	11
0,359	9
0,66	7,5

$$y = 0, x = 1,35$$

$$V_k = 0,74$$

$$MÚR_k = 1,34'$$

$$PF_k = 22,38 \text{ c/st}$$

b)

log c/st	Amplituda [mV]
-0,24	8
0,058	6,5
0,359	6
0,66	3

$$y = 0, x = 0,97$$

$$V_k = 0,31$$

$$MÚR_k = 3,18'$$

$$PF_k = 9,44 \text{ c/ st}$$

c)

log c/st	Amplituda [mV]
-0,24	9
0,058	6
0,359	5,5
0,66	0

$$y = 0, x = 0,68$$

$$V_k = 0,16$$

$$MÚR_k = 6,26'$$

$$PF_k = 4,79 \text{ c/st}$$

10.4. Vyšetřovaný č. 3

a)

log c/st	Amplituda [mV]
-0,24	9,99
0,058	10,25
0,359	11,18
0,66	9

$$y = 0, x = 1,43$$

$$V_k = 0,9$$

$$MÚR_k = 1,14'$$

$$PF_k = 26,92 \text{ c/st}$$

b)

log c/st	Amplituda [mV]
-0,24	8,32
0,058	8,15
0,359	12,62
0,66	6,73

$$y = 0, x = 1,03$$

$$V_k = 0,36$$

$$MÚR_k = 2,8'$$

$$PF_k = 10,72 \text{ c/st}$$

c)

log/st	Amplituda [mV]
-0,24	8,61
0,058	9,77
0,359	9,38
0,66	4,09

$$y = 0, x = 0,84$$

$$V_k = 0,23$$

$$MÚR_k = 4,34$$

$$PF_k = 6,92 \text{ c/st}$$

10.5. Vyšetřovaný č. 4

a)

log c/st	Amplituda [mV]
-0,24	7,28
0,058	8,01
0,359	9,05
0,66	7

$$y = 0, x = 1,27$$

$$V_k = 0,62$$

$$MÚR_k = 1,61'$$

$$PF_k = 18,62 \text{ c/st}$$

b)

log/st	Amplituda [mV]
-0,24	9,32
0,058	7,48
0,359	9,5
0,66	5,19

$$y = 0, x = 1,19$$

$$V_k = 0,52$$

$$MÚR_k = 1,94'$$

$$PF_k = 15,49 \text{ c/st}$$

c)

log/st	Amplituda [mV]
-0,24	6,54
0,058	6,01
0,359	7,19
0,66	1,3

$$y = 0, x = 0,75$$

$$V_k = 0,19$$

$$MÚR_k = 5,34'$$

$$PF_k = 5,62 \text{ c/st}$$

10.6. Vyšetřovaný č. 5

a)

log/st	Amplituda [mV]
-0,24	10,64
0,058	12,92
0,359	10,26
0,66	9,62

$$y = 0, x = 1,305$$

$$V_{k0} = 0,67$$

$$MÚR_{k0} = 1,49$$

$$PF_{k0} = 20,2 \text{ c/st}$$

b)

log/st	Amplituda [mV]
-0,24	10,26
0,058	9,5
0,359	7,98
0,66	4,94

$$y = 0, x = 1,02$$

$$V_{k1} = 0,35$$

$$MÚR_{k1} = 2,87'$$

$$PF_{k1} = 10,47 \text{ c/st}$$

c)

log/st	Amplituda [mV]
-0,24	9,5
0,058	7,22
0,359	6,08
0,66	2,66

$$y = 0, x = 0,92$$

$$V_{k2} = 0,28$$

$$MÚR_{k2} = 3,61'$$

$$PF_{k2} = 8,32 \text{ c/st}$$