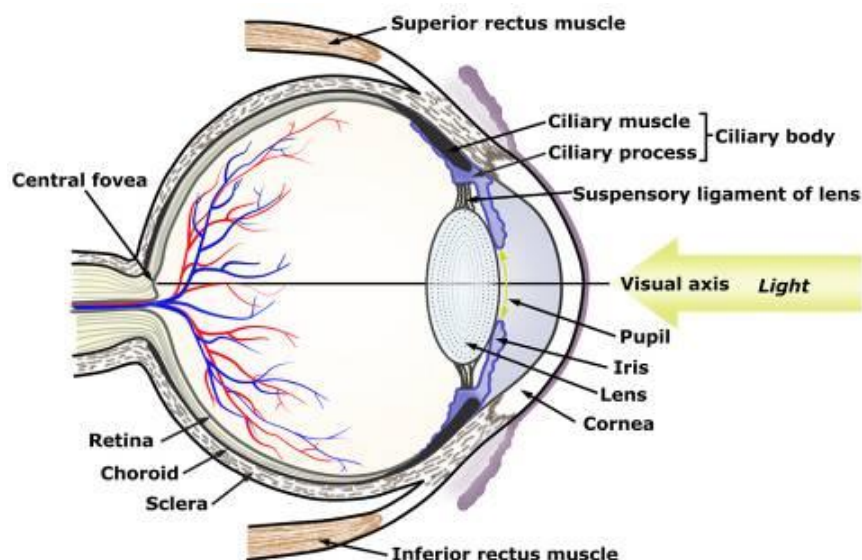


## I. IÚVOD

Příčný řez okem je znázorněn na obr. 10.1. Společně *serohovka* a *objektiv* chovají se jako objektiv fotoaparátu. Ohýbají světelné paprsky vstupující do oka a zaostřují je na sítnici.



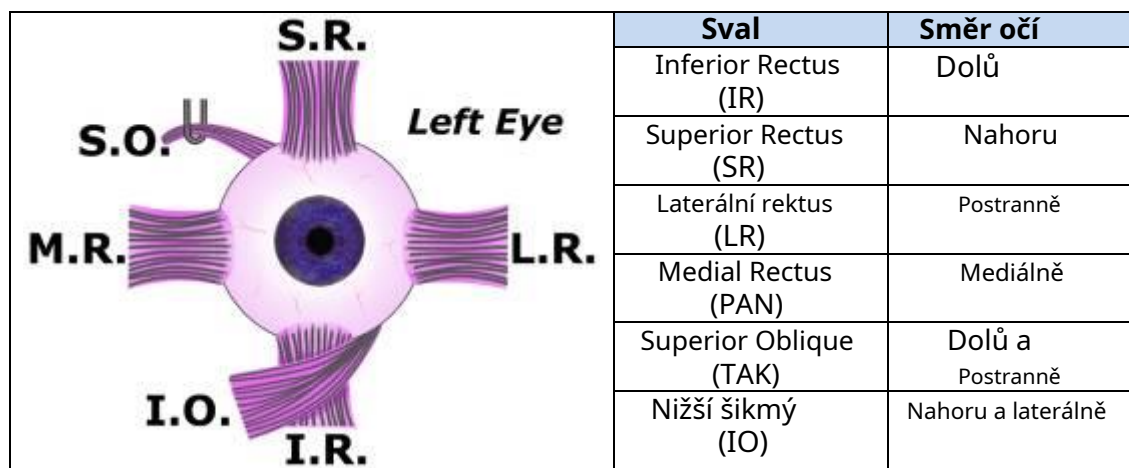
Obr. 10.1 Oko

Zaostření fotoaparátu změnilo vzdálenost mezi objektivem a filmem. Naše oči dosahují tohoto výkonu změnou tvaru čočky. The *ciliárního svalu*, kruhový sval připojený k čočce pomocí *azávěsný vaz* se stahuje, snižuje napětí závěsného vaz, čímž umožňuje ztlustění čočky při zaostřování na blízké předměty. Ciliární sval se uvolní, aby se čočka ztenčila a zaměřila se na předměty, které jsou daleko. The *sítnice* obsahuje vrstvu dvou druhů světlocitlivých *fotoceptorů*: kužely a tyčičky. *Šišky* se používají pro denní vidění a barevné vidění. Nejvíce se koncentrují v *fovea*, kde zaostřené světlo vytváří nejostřejší obraz. *Pruty* se používají pro vidění v šeru a pro detekci pohybu v zorném poli. Tyčinky jsou soustředěny na periferii sítnice, a proto je ve tmě tendence zaostřovat od fovey („dívat se na stranu oka“).

Svalové ovládání oka funguje tak, aby udrželo obraz na fovee, bez ohledu na to, zda je objekt nehybný nebo se pohybuje. Tento proces se nazývá *vizuální fixace*. K fixaci předmětů v zorném poli, definovaném jako zorné pole bez pohybu hlavy, se používají dva primární mechanismy: 1. dobrovolná fixace, 2. nedobrovolná fixace.

Dobrovolná fixace zahrnuje vědomé úsilí nasměrovat svůj pohled na vybraný objekt ve vašem zorném poli a „zamknout se“ na něj. Tento mechanismus se používá k počátečnímu výběru objektů ve vašem zorném poli. Nedobrovolná fixace zahrnuje podvědomé mechanismy, které fungují tak, aby udržely vybraný objekt ve vašem zorném poli, jakmile se na něj zamknete. Poté, co se vizuálně zaměříte na nějaký předmět, vaše oči se nadále pohybují v opakujících se, mimovolných, nepostřehnutelných, minutových, trhavých pohybech tzv. *mikrosakád* (*mikro-malý, sakáda-trhavý pohyb*). Tyto pohyby působí proti percepčnímu vyblednutí, což je důsledek rychlé adaptace retinálních receptorových systémů na konstantní vstup, mírným posunem polohy retinálního obrazu ve fovee. Mikrosakády také zůstávají zrakovou ostrost. Záznam a měření mikrosakád je obtížné a přesahuje rámec této lekce.

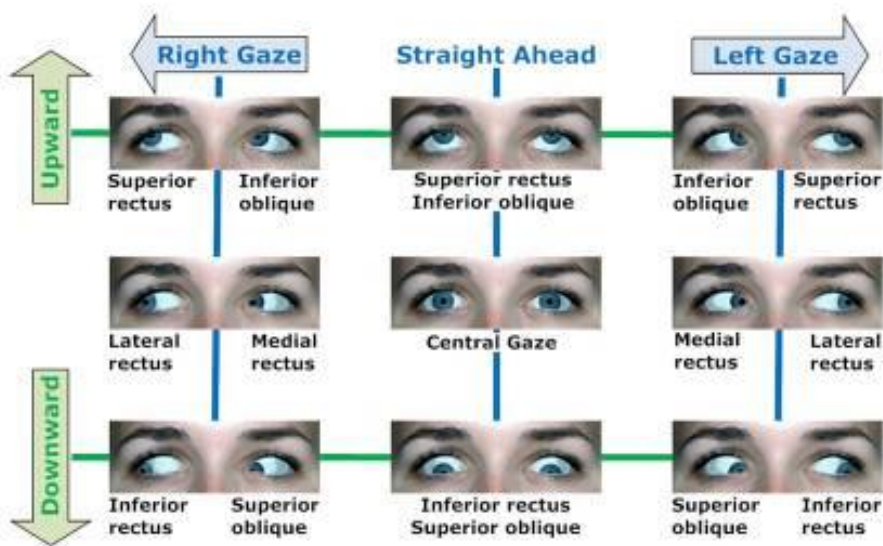
Pohyb každé oční bulvy na její oběžné dráze je způsoben jednotlivými kontrakcemi šesti malých dobrovolných svalů připojených k povrchu oční bulvy. Čtyři ze šesti svalů probíhají přímo od počátku k úponu, a proto se nazývají přímé svaly (*přímý*, rovný): *the superior rectus, inferior rectus, mediální přímý a laterální přímý*. Zbývající dva svaly jsou šikmo připojeny k povrchu oční bulvy a nazývají se *nadřazený šikmý a nižší šikmý* (obr. 10.2). Souhrnně se nazývají čtyři přímé svaly a dva šikmé svaly *vnější oční svaly*.



Obr. 10.2 Vnější oční svaly

Kontrakce vnějších svalů jsou řízeny prostřednictvím motorických drah v mozku a tří párů (jeden pravý, jeden levý) hlavových nervů. Kraniální nerv III *okulomotorický nerv*, zásobuje všechny vnější oční svaly kromě horního šikmého a laterálního přímého svalu. Kraniální nerv IV *trochleární nerv*, dodává horní šikmý. Kraniální nerv VI *abdukuje nerv*, inervuje laterální rektus.

Když se normální člověk dívá na dostatečně osvětlený předmět, fixační bod pohledu se promítá do odpovídajících senzorických oblastí ve foveách sítnice. Kůra okcipitálního laloku integruje senzorické informace z každé sítnice a vytváří normální, jediný, ostrý obraz předmětu. Pokud dojde k poruše souososti očí, k čemuž může dojít například při slabosti jednoho nebo více extraokulárních svalů, dojde ke ztrátě sítnicové korespondence a výsledkem může být *diplopie* nebo dvojité vidění. Devět hlavních směrů pohledu při soustředěném pohybu očí a extraokulární svaly pohybující oči do pozice pohledu jsou znázorněny na obr. 10.3.



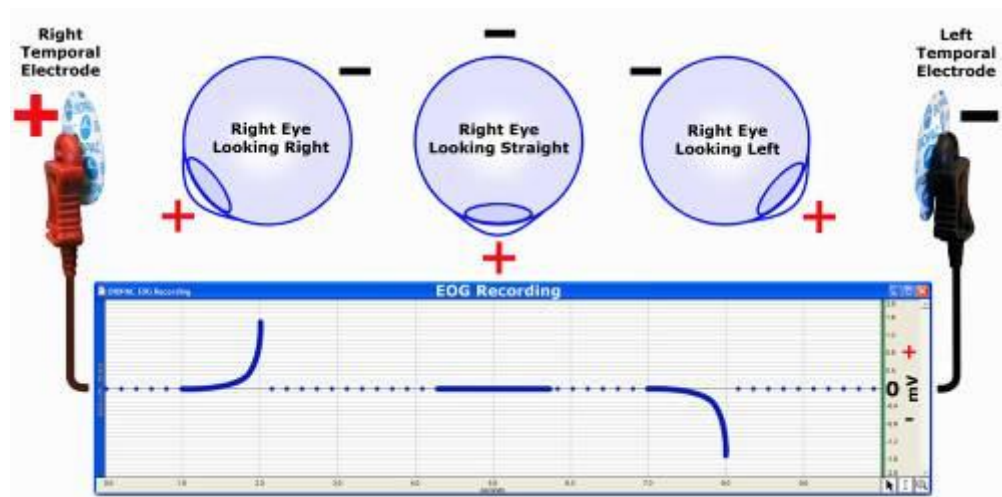
Obr. 10.3 Devět hlavních směrů pohledu

Když se člověk dobrovolně zafixuje na pohybující se předmět a poté nedobrovolně zafixuje zrak, aniž by pohnul hlavou, jako například při sledování houpajícího se kyvadla hodin, musí se každé oko pohybovat přesně a ve shodě s druhým, aby mozek mohl přijímat smyslové signály. Informace potřebné k vytvoření jasného, jediného obrazu pohybujícího se objektu. Pohyb oční bulvy zahrnuje extraokulární svaly, související hlavové nervy a motorická řídicí centra v mozku. Například, když se kyvadlo hodin houpe zleva doprava, levé oko se pohybuje mediálně (mediální přímý / hlavový nerv III) a pravé oko se pohybuje laterálně (laterální přímý / kraniální nerv VI). Když se kyvadlo vrátí zpět, pohyby očí se obrátí.

Mozek podvědomě graduje stahy extraokulárních svalů tak, aby udržel zrakový fixační bod, když se kyvadlo zpomaluje a zrychluje při svém švihů, pomocí vizuálních sensorických informací o změně polohy pohybujícího se kyvadla. Oscilační, nebo tam a zpět mimovolní pohyby očí jsou formou *sledování pohybu* kterým oči udržují zrakovou fixaci na předmět pohybující se v zorném poli.

Koordinované dobrovolné a mimovolní pohyby očí jsou řízeny motorickými centry v kůře čelního laloku a motorickými centry hlavových nervů III, IV a VI v mozkovém kmeni. Kortikální aktivita spojená s motorickou kontrolou extraokulárních svalů může být detekována a zaznamenána pomocí konvenčních technik EEG.

Lidské oko je elektrický dipól s kladným pólem vpředu na rohovce a záporným pólem za sítnicí oční bulvy (obr. 10.4). Potenciál mezi přední a zadní částí oční bulvy, tzv. *rohovkový – retinální potenciál* (CRP) je asi 0,4 – 1,0 mV a je primárně způsoben hyperpolarizací a depolarizací nervových buněk v sítnici. *Elektrookulografie* je technika pro zaznamenávání změn napětí, když se oční bulvy pohybují na svých drahách. The *elektrookulogram* (EOG), je elektroencefalografický záznam změn napětí získaný během toho, kdy subjekt bez pohybu hlavy pohybuje očima z jednoho fixačního bodu do druhého v zorném poli.



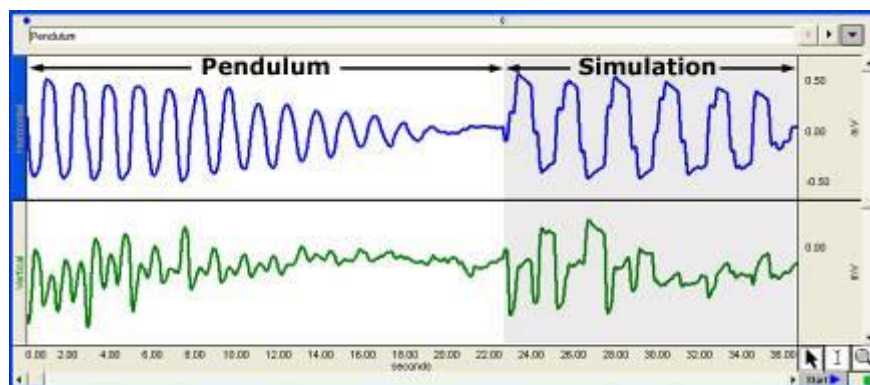
Obr. 10.4 Dipólový model oka a EOG

Umístěním elektrody na temporální stranu každé orbity pro detekci vodorovného pohybu očí a další pár nad a pod pravým okem pro detekci vertikálního pohybu, pohyb očí až  $\pm 70^\circ$  lze měřit, kde  $0^\circ$  je vpředu a  $\pm 90^\circ$  je přímo laterálně nebo svisle k oku. Elektrody detekují změny potenciálu, když se rohovka přibližuje nebo vzdaluje od záznamových elektrod (obr. 10.4). Když se oko dívá přímo před sebe, je přibližně stejně daleko od obou elektrod, takže signál je v podstatě nulový. Když je přední část oční bulvy, rohovka, blíže kladné elektrodě, je zaznamenán kladný rozdíl v napětí. Signál EOG je lineárně úměrný pohybu očí a mění přibližně 20 mikrovoltů pro každý stupeň pohybu oka. Signál EOG se u lidí pohybuje v rozmezí 0,05 – 3,5 mV a je výsledkem řady faktorů, včetně rotace a pohybu oční bulvy, pohybu očních víček, EEG, pohybu hlavy a měnící se luminiscence.

Měření EOG je náchylné k posunu základní linie v důsledku drobných změn potenciálu elektrody/posunu kůže, k nimž dochází během několika minut, a také k posunům základní linie potenciálu v důsledku posunutí elektrod na povrchu kůže (typicky z tahu elektrod za elektrody). Pro minimalizaci změn základní linie je v této lekci použit 0,05 Hz High Pass filtr. Tento filtr má minimální vliv na zaznamenaná data, protože časová konstanta filtru 3,18 sekundy je velká ve srovnání s odchylkami signálu zaznamenanými v této lekci. Toto omezení filtru je třeba mít na paměti při navrhování dalších experimentů (volitelná sekce aktivního učení); pokud oči na několik sekund fixují polohu, zaznamenaný signál se pomalu vrátí na základní linii (0 mV).

Jakýkoli pohyb obličejových svalů nebo čelisti může způsobit EMG (svalový) artefakt nebo způsobit mírné posuny základní linie v důsledku pohybu elektrod EOG. Z tohoto důvodu je důležité minimalizovat pohyb obličeje a čelisti při záznamu dat EOG.

EOG zaznamenaný z temporálních elektrod umístěných na bočním okraji oběžných drah subjektu vizuálně sledujících pohyb kyvadla je znázorněn na obr. 10.5. Sinusový charakter trasování zmizí, když se kyvadlo, a tedy i vizuální sledování, zastaví.



Obr. 10.5 Záznam EOG

Pokud subjekt s otevřenýma očima *představuje* kyvadlo a pokusí se jej vizuálně sledovat, EOG se opět stává sinusovým, ale trhavým, což naznačuje snížení neuromuskulární kontroly očí v důsledku ztráty zrakového sensorického vstupu do mozku.

Jiné změny v EOG mohou být zaznamenány, když je subjekt požádán, aby v tichosti přečetl krátký odstavec, pozastavil se a pak znovu nahlas přečetl stejný odstavec. Při čtení slov v každé větě se oči rychle a trhaně pohybují z jednoho fixačního bodu (slova) do druhého. Rychlé, trhavé, dobrovolné pohyby očí se nazývají **sakády** (*sakáda* - sušené maso). Časový interval mezi sakádami je čas strávený pohledem na slovo. Když je čtení tiché, oči se při čtení řádku rychle pohybují od slova ke slovu a interval mezi sakádami je krátký. Když jsou řádky čteny nahlas, sluchový vstup zpomaluje pohyb očí, aby bylo možné vyslovit každé viděné slovo, a interval mezi sakádami je delší. Obecně platí, že interval mezi sakádami je delší při čtení obtížné pasáže než při čtení snadné pasáže, protože mozek vyžaduje více času na zpracování informací.

Elektrookulografie se běžně používá k posouzení zrakových defektů zahrnujících nervosvalovou kontrolu očí, jako je úspěšnost diagnostiky a léčby obrny šestého nervu (ochrnutí laterálního rekta). Podobné testy očních pohybů/kraniálních nervů s použitím jiných hlavních pohledů (obr. 10.3) mohou být použity při diagnostice a hodnocení očních poruch. Kromě toho nedávne aplikace zahrnují použití elektrookulografie při navrhování robotiky, jako jsou motorizované invalidní vozíky a další zařízení, která lze řídit nebo jinak ovládat pohybem očí subjektu.