

I. INTRODUCTION

Un section transversale de l'oeil est illustrée Fig. 10.1. Ensemble, la cornée et le cristallin agissent comme la lentille d'un appareil photo. Ils orientent les rayons lumineux qui pénètrent dans l'œil et les concentrent sur la rétine.

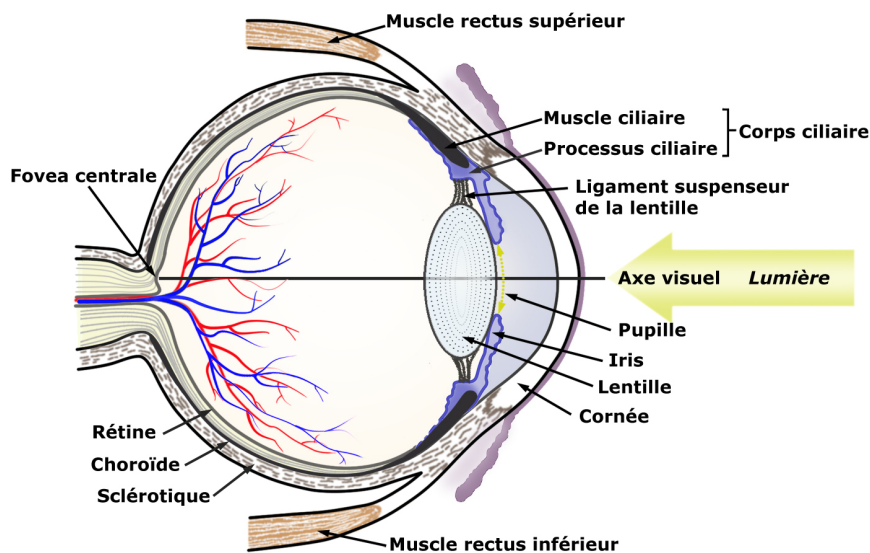


Fig. 10.1 L'œil

Focaliser un appareil photo modifie la distance entre la lentille et le film. Nos yeux accomplissent cet exploit en changeant la forme de la lentille. Le muscle ciliaire, un muscle circulaire fixé à la lentille par un ligament suspenseur, se contracte, réduisant la tension sur le ligament suspenseur permettant ainsi à la lentille de s'épaissir, quand la vue se concentre sur des objets proches. Le muscle ciliaire se relâche pour amincir la lentille qui peut se concentrer sur des objets plus lointains. La rétine contient une couche de deux types de photorécepteurs sensibles à la lumière: les cônes et les bâtonnets. Les cônes sont utilisés pour la vision de jour et des couleurs. Ils sont plus concentrés dans la fovéa, où la lumière focalisée produit une image nette. Les bâtonnets sont utilisés pour la vision en faible lumière et pour la détection de mouvements dans le champ visuel. Les bâtonnets sont concentrés dans la périphérie de la rétine et, par conséquent, ont tendance à se concentrer loin de la fovéa ("regarder vers le côté de l'œil") dans l'obscurité.

Le contrôle musculaire de l'oeil travaille pour garder l'image sur la fovéa, indépendamment du fait que l'objet soit immobile ou en mouvement. Ce processus est appelé fixation visuelle. Deux principaux mécanismes sont utilisés pour focaliser sur des objets dans le champ visuel (champ défini quand la tête est immobile): 1. La fixation volontaire, 2. La fixation involontaire.

La fixation volontaire implique un effort conscient pour diriger le regard vers un objet sélectionné dans le champ visuel et "le garder" sur lui. Ce mécanisme est d'abord utilisé pour sélectionner les objets dans le champ visuel. La fixation involontaire implique des mécanismes inconscients qui permettent de garder l'objet sélectionné dans le champ de vision une fois que l'on a focalisé sur lui. Après avoir visuellement focalisé sur un objet, les yeux continuent à bouger avec des mouvements répétitifs, involontaires, imperceptibles, rapides, saccadés appelés microsaccades (micro-petit, saccade-mouvement saccadé). Ces mouvements contrecarrent la décoloration perceptive, une conséquence de l'adaptation rapide des récepteurs rétiniens à un influx constant, en décalant légèrement la position de l'image rétinienne dans la fovéa. Les microsaccades aiguisent également l'acuité visuelle. L'enregistrement et la mesure de microsaccades sont difficiles et au-delà de la portée de cette leçon.

Le mouvement de chaque oeil dans son orbite est cause par les contractions individuelles de 6 petits muscles volontaires attachés à la surface de l'oeil. Quatre des six muscles partent directement de l'origine de leur insertion, et sont donc appelés muscles recti (*rectus*, droit): le *rectus supérieur*, le *rectus inférieur*, le *rectus médian*, et le *rectus latéral*. Les deux autres muscles sont attachés obliquement à la surface de l'oeil et sont appelés *l'oblique supérieur* et *l'oblique inférieur* (Fig. 10.2). Collectivement, les quatre muscles recti et les deux muscles obliques sont appelés *muscles oculaires extrinsèques*.

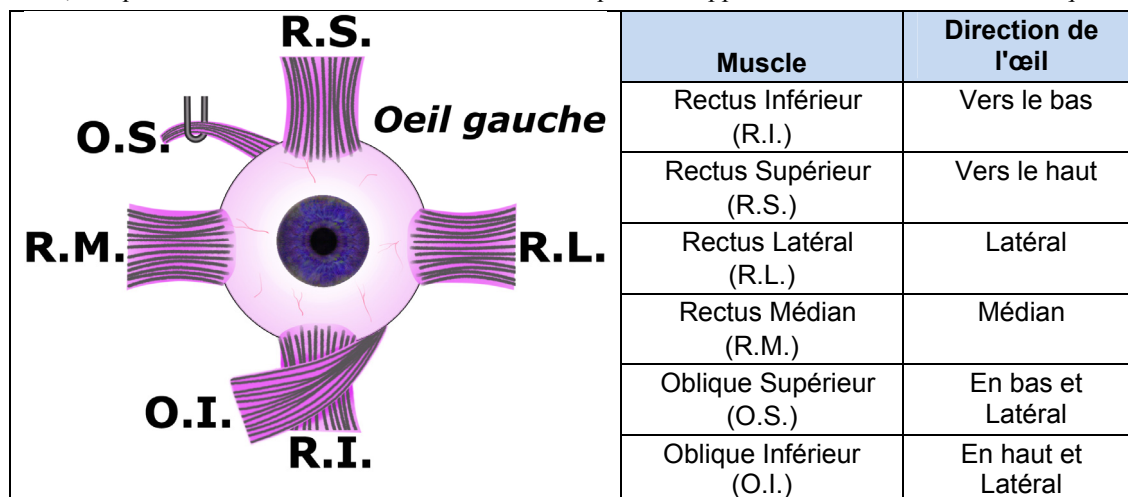


Fig. 10.2 Muscles extrinsèques de l'oeil

Les contractions *muscles extrinsèques* sont contrôlés par des voies motrices et 3 paires de nerfs crâniens (1 droit, 1 gauche). Le nerf cranial III, le *nerf oculomoteur*, innervent tous les *muscles oculaires extrinsèques* sauf *l'oblique supérieur* et le *rectus latéral*. Le nerf cranial IV, le *nerf trochléaire*, innervent *l'oblique supérieur*. Le nerf cranial VI, le *nerf abducens* innervent le *rectus latéral*.

Quand une personne normale regarde un objet correctement illuminé, le point de fixation du regard est projeté dans les zones sensorielles correspondantes des fovéas des rétines. Le lobe occipital intègre les informations sensorielles de chaque rétine, produisant une image normale et nette de l'objet. Si il y a une interruption de l'alignement des yeux, ce qui peut arriver par exemple en cas de faiblesse d'un ou de plusieurs muscles extra-oculaires, il y a une perte de la correspondance rétinienne et le résultat peut être une *diplopie* ou double vision. Les neuf directions cardinales du regard alliant les mouvements de l'oeil et les muscles extraoculaires bougeant les yeux sont décrites Fig. 10.3.

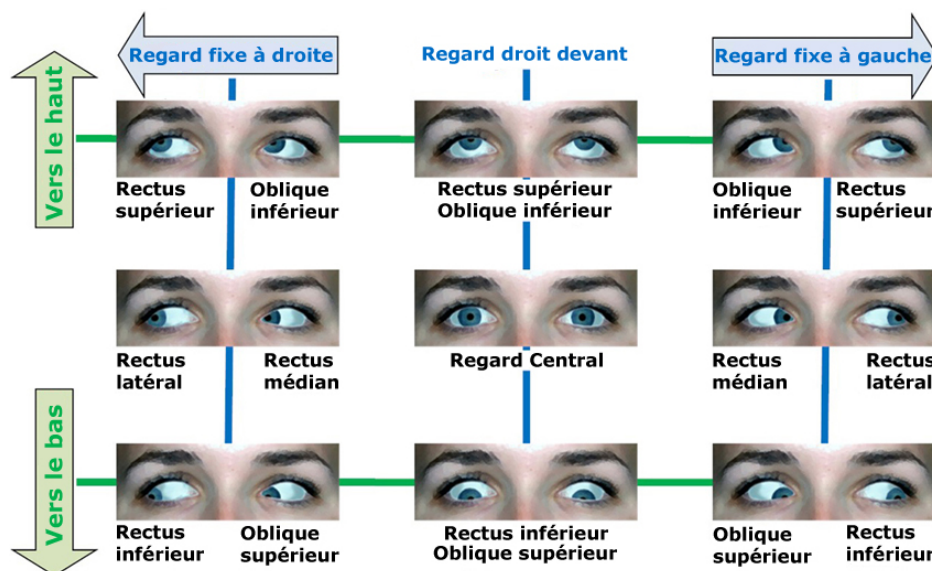


Fig. 10.3 Les neuf directions cardinales du regard

Quand une personne fixe volontairement son regard sur un objet mobile puis maintient involontairement le correctif visuel sans bouger la tête, comme regarder le pendule d'une horloge, chaque oeil doit bouger précisément et de concert avec l'autre afin que le cerveau reçoive les informations sensorielles nécessaires pour produire une image claire et unique de l'objet mouvant. Le mouvement de l'oeil implique les muscles extra-oculaires, leurs nerfs crâniens et les centres de contrôle moteur du cerveau. Par exemple, quand le pendule d'une horloge oscille de gauche à droite, l'oeil gauche bouge sur la médiane (*rectus median* / nerf crânial III), et l'oeil droit bouge latéralement (*Rectus Latéral* / nerf crânial VI). Quand le pendule revient, les mouvements de l'oeil sont inversés.

Le cerveau inconsciemment guide les contractions des muscles extra-oculaires de manière à maintenir le point de fixation visuelle quand le pendule ralentit ou accélère au cours de son mouvement de balancier en utilisant l'information sensorielle visuelle concernant le changement de position du pendule en mouvement. Les mouvements involontaires d'oscillation, ou d'aller-retour, de l'oeil sont une forme de *mouvement de suivi* dans lequel les yeux maintiennent une fixation sur un objet bougeant dans le champ visuel.

Les mouvements oculaires coordonnés volontaires et involontaires sont contrôlés par les centres moteurs du lobe frontal et des nerfs crâniens III, IV et VI. L'activité corticale associée au contrôle moteur des muscles extra-oculaires peut être détectée et enregistrée en utilisant les techniques conventionnelles d'électroencéphalographie.

L'oeil humain est un dipôle électrique avec la borne positive à l'avant à la cornée et la borne négative derrière la rétine de l'oeil (Fig. 10.4). La tension entre l'avant et l'arrière du globe oculaire, appelée - potentiel rétinien de la cornée (PRC) est d'environ 0.4 à 1 mV, et est principalement due à l'hyperpolarisation et la dépolarisation des cellules nerveuses dans la rétine. L'*électrooculographie* est une technique pour enregistrer les variations de tension quand les globes oculaires se déplacent dans leurs orbites. L'*électrooculographie* (EOG) est l'enregistrement électroencéphalographique des changements de tension obtenus pendant que le sujet, sans bouger la tête, bouge les yeux d'un point de fixation à un autre dans le champ visuel.

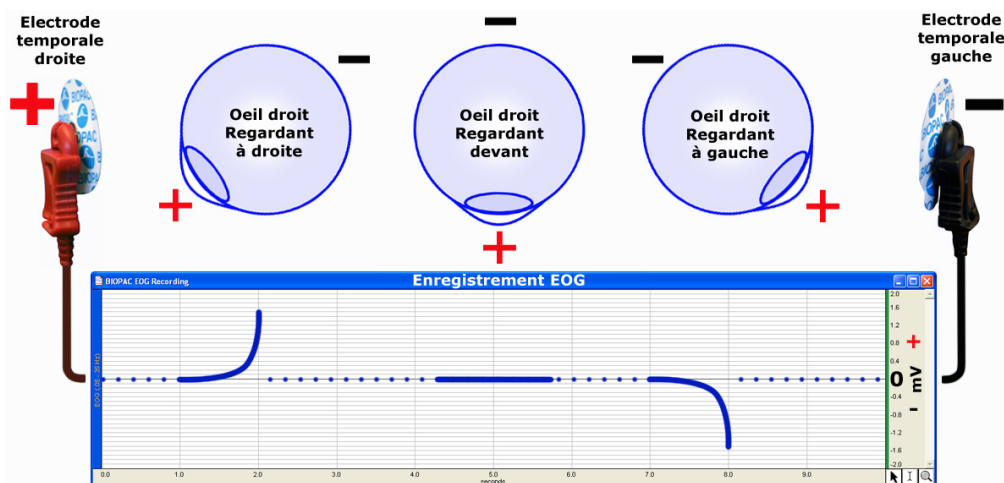


Fig. 10.4 Modèle de dipôle de l'oeil et EOG

En plaçant une électrode sur le côté temporal de chaque orbite pour détecter le mouvement horizontal des yeux, et une autre paire au-dessus et au-dessous de l'oeil droit pour détecter un mouvement vertical, le mouvement des yeux jusqu'à $\pm 70^\circ$ peut être mesuré; 0° est en avant et $\pm 90^\circ$ est directement latéral ou vertical à l'oeil. Les électrodes détectent des changements de tension quand la cornée se rapproche ou s'éloigne des électrodes d'enregistrement (Fig. 10.4). Lorsque l'oeil regarde droit devant, il est à la même distance de chaque électrode, de sorte que le signal est quasi nul. Lorsque l'avant du globe oculaire, ou cornée, est plus proche de l'électrode positive, une différence positive de la tension est enregistrée. Le signal EOG est linéairement proportionnel au mouvement des yeux, changeant d'environ 20 microvolts pour chaque degré de mouvement des yeux. Le signal EOG est de 0.05 à 3.5 mV chez l'homme et résulte d'un certain nombre de facteurs, y compris la rotation et le mouvement du globe oculaire, le mouvement des paupières, l'EEG, le mouvement de la tête et le changement de luminosité.

La mesure de l'EOG est sensible à une dérive de la ligne de base en raison des faibles variations du potentiel de la peau survenant pendant quelques minutes comme la modification du potentiel de base due au déplacement d'électrodes à la surface de peau (se produit généralement en tirant sur les câbles d'électrodes). Pour aider à minimiser les changements de la ligne de base, pour cette leçon, un filtre passe-haut de 0.05 Hz est utilisé. Ce filtre a un effet minime sur les données enregistrées car la constante de temps de 3.18 secondes est grande par rapport aux variations du signal enregistré dans cette leçon. La limite du filtre doit être gardée à l'esprit lors de la conception d'expériences supplémentaires (section facultative d'apprentissage actif); si les yeux se fixent une position pendant quelques secondes, le signal enregistré retournera lentement à la normale (0 mV).

Tout mouvement des muscles du visage ou de la mâchoire peut introduire des artéfacts EMG (muscle) ou provoquer de petites variations de la ligne de base en raison du mouvement des électrodes EOG. Pour cette raison, il est important de minimiser les mouvements du visage et de la mâchoire lors de l'enregistrement des données EOG.

L'EOG montré Fig. 10.5 est enregistré à partir d'électrodes temporales placées sur les côtés des orbites d'un sujet qui suit visuellement le mouvement d'un pendule. La nature sinusoïde du tracé disparaît quand le pendule s'arrête, arrêtant ainsi le suivi visuel.

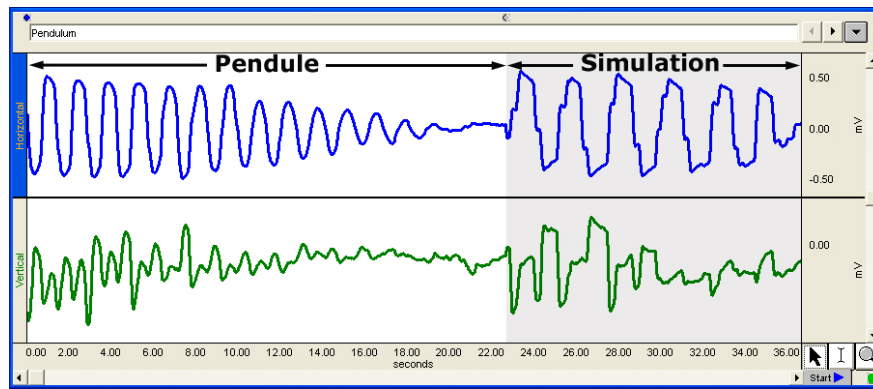


Fig. 10.5 Enregistrement EOG

Si le sujet, les yeux ouverts, imagine un pendule oscillant et tente de le suivre visuellement, l'EOG devient de nouveau sinusoidal mais erratique, suggérant une diminution du contrôle neuromusculaire de l'oeil due au manque de l'influx sensoriel du cerveau.

Les autres changements de l'EOG peuvent être enregistrés quand on demande à un sujet de lire à voix basse un court paragraphe, de s'arrêter, puis de relire à voix haute le même paragraphe. Au fur et à mesure que les mots de chaque phrase sont lus, les yeux bougent rapidement et de manière erratique d'un point de fixation (un mot) à un autre. Rapides, erratiques, les mouvements volontaires des yeux sont appelés **saccades** (saccade – erratique). L'intervalle de temps entre les saccades est le temps passé à regarder le mot. Quand la lecture est silencieuse les yeux bougent plus rapidement d'un mot à l'autre au fur et à mesure de la lecture des lignes, et l'intervalle entre les saccades est faible. Quand les lignes sont lues à voix haute, l'influx audio ralentit le mouvement des yeux pour laisser le temps de prononcer les mots et l'intervalle entre les saccades est allongé. En règle générale, l'intervalle entre les saccades est plus long lors de la lecture d'un passage difficile que lors de la lecture d'un passage facile, car il faut plus de temps au cerveau pour traiter l'information.

L'EOG est fréquemment utilisé pour tester les défauts de vision impliquant le contrôle neuromusculaire des yeux, comme le diagnostic et le traitement de la paralysie du 6ème nerf (paralysie du rectus latéral). Des tests de mouvements oculaires similaires/nerfs crâniens utilisant les regards cardinaux (Fig. 10.3) peuvent être utilisés dans le diagnostic et l'évaluation de désordres visuels. Des applications récentes utilisent l'EOG dans la conception des robots, par exemple les chaises roulantes motorisées et autres appareils qui peuvent être guidés ou contrôlés par les mouvements oculaires du sujet.