

Physiologie des reflexes

NB : ce document ne représente que les notes que j'ai prises lors de la présentation de Mme.Riri

- ✓ Le reflexe est un acte involontaire, stéréotypé (même réponses pour les mêmes stimulations) et prévisible (on peut prétendre le type de réaction)
- ✓ Les reflexes du SN somatique => Vie de relation=> stimulation des muscles squelettiques
- ✓ Les reflexes du système nerveux végétatif=> régulation du milieu interne
- ✓ La classification des reflexes dépend de différents paramètres :
 - Selon la nature du récepteur : extéroceptif, proprioceptif...
 - Organisation des connexions synaptiques : mono ou poly synaptique
 - Réponse de l'effecteur : flexion, extension...
- ✓ Organisation générale des arcs reflexes : Récepteur (unité sensitive) => afférences => Centre nerveux (moelle épinière ou tronc cérébral, lieu d'intégration et de connexions +/- complexes) => efférences (Motoneurone α) => effecteur (le muscle strié)
- ✓ L'intégrité de l'arc reflexe est nécessaire
- ✓ Anomalie de reflexes \Leftrightarrow trouble au niveau du système nerveux

1) Etude d'un reflexe monosynaptique : Myotatique.

C'est la contraction reflexe d'un muscle suite à son propre étirement=> maintien de la longueur musculaire. Il est proprioceptif, joue un rôle dans les muscles anti-gravitaires

1.1) mise en évidence : expérience de Sherrington

Dissection entre la moelle épinière (ME) et névraxe=>individu décérébré

Sherrington a mis en évidence l'existence du reflexe myotatique (voir schéma), des étirements ont été effectués sur le membre d'un chien., et la tension (contraction) développée a été enregistrée. Quand le nerf reliant le muscle à la moelle épinière n'est pas sectionné => développement d'une force importante (courbe F). Si le nerf est sectionné, la force de contraction du muscle ne représente que la tension élastique du muscle lui-même (courbe E). la différence entre les 2 courbe (air entre les deux) représente la force due à la contraction commandée par la ME

1.2) Expérience de Lloyd : a mis en évidence que le reflexe myotatique est monosynaptique grâce aux étirements musculaires. On enregistre au niveau de la corne dorsale une volée, mais au niveau de la corne ventrale on note la présence d'une latence. (voir schéma)

Le temps central = latence globale - temps de conduction = 0.5msec=> franchissement d'une seule synapse

Un seul PPSE ne peut déclencher un PA mais Σ PPSE=PA

- ✓ Le fuseau neuro-musculaire est un récepteur encapsulé situé dans la partie charnue du muscle, ses fibres sont à disposition parallèle aux fibres musculaires, leur densité dépend du muscle considéré
- ✓ Il existe des fuseaux neuromusculaires à sac nucléaire : 2à3, ils sont bombés
- ✓ Et des FNM à chambre nucléaire : 5à 8
- ✓ Innervation des FNM : assurée par les motoneurones γ (efférences). Les terminaisons primaires se trouvent au centre du FNM et les terminaisons secondaires se trouvent à la périphérie (ce sont des afférences sensibles)
- ✓ Le FNM suit les déformations de longueur du muscle
- ✓ En cas de contraction musculaire : les décharges du FNM diminuent
- ✓ En cas d'étirement musculaire : la fréquence des décharges du FNM augmente

- ✓ Lors de l'étirement, des canaux ioniques sont stimulés (effet des mécanorécepteurs) => ouverture des canaux => mouvement ioniques => potentiel récepteur => PA
- ✓ Lors de l'étirement => augmentation de décharges (PA) des afférences => transmission des influx aux motoneurones α => contraction du muscle

La partie suivante a été dictée par Mme Riri !!

Propriétés des terminaisons primaires et secondaires : pour cela on doit procéder à des enregistrements.

Primaires :

- ❖ présentent une haute sensibilité dynamique, sensibilité statique relative
- ❖ Les décharges sont nettement plus accélérées en phase dynamique
- ❖ Détecteurs de volume et de longueur (essentiellement le volume)

Secondaires :

- ❖ Sensibilité statique
- ❖ La fréquence de décharge est proportionnelle aux différences de longueur
- ❖ Détecteurs de longueur

Les fibres γ statiques : pendant toute la période d'excitation

Les fibres γ dynamiques : pendant toute la période dynamique

- ✓ Caractéristiques du reflexe myotatique : proprioceptif, à point de départ musculaire, persiste pendant toute la durée de stimulation, résiste à de faibles différences de longueur, localisé, faible, latence, présent au niveau de tous les muscles, surtout les extenseurs proximaux à action antigravitaire

2) Reflexe myotatique inverse : myotatique inverse autogénique

- ✓ Origine : organe tendineux de Golgi, sensibilité à la tension, comporte les fibres Ib afférentes
- ✓ C'est le relâchement d'un muscle suite à son propre étirement
- ✓ Organisation de l'arc reflexe : récepteur OTG => fibre Ib => ME avec des neurones d'inhibition => fibres efferentes

3) reflexes polysynaptiques : réaction de défense ou de retrait des muscles fléchisseurs a réponse à une stimulation nociceptive (douloureuse)

Par stimulation des nocicepteurs au niveau cutané en rapport avec des fibres sensibles de type $A\Delta$ => message sensitif => série de synapses => retraitement du membre.

En cas de stimulation plus intense => mise en jeu des extenseurs controlatéraux grâce à des interneurones au niveau de la moelle épinière => extension croisée => maintien de l'équilibre de l'organisme.

La deuxième séance

Cette partie représente mes propres notes !!

3) La régulation segmentaire spinale :

- 1) Le reflexe myotatique inverse
- 2) Inhibition réciproque : quand un groupe de muscles est stimulé, les muscles à action inverse sont inhibés. Les fibres Ia envoient des projections inhibitrices via les interneurones inhibiteurs.
- 3) Inhibition récurrente de Renshaw : les cellules de Renshaw exercent une inhibition puissante sur le motoneurone agoniste et désinhibent les motoneurones antagonistes. Une diminution de fréquence de décharge du motoneurone => une limitation de la diffusion aux autres motoneurones α . Ce mécanisme est incriminé dans la contraction tétanique. La toxine agit sur le motoneurone de Renshaw qui va perdre sa propre régulation .

Contrôle de l'activité fusoriale par les motoneurones γ : Boucle γ

- ✓ Les γ sont destinés aux fibres intra-fusoriales (aux extrémités contractiles du FNM), ils permettent l'ajustement de la longueur du FNM à la longueur du muscle de façon à ce qu'il puisse toujours renseigner les centres nerveux sur la longueur du muscle
- ✓ En cas d'activation des motoneurones γ (α également) : contraction du muscle et donc des extrémités contractiles et donc étirement des FNM
- ✓ Absence de γ : contraction du muscle, les extrémités contractiles du FNM restent relâchées \Rightarrow pas d'étirements au niveau du FNM \Rightarrow pas de décharge au niveau des Ia \Rightarrow Silence myotatique
- ✓ Ces γ subissent une régulation supra-spinal : il existe des γ dynamiques et des γ statiques :
 - Les γ dynamiques sont destinés aux fibres à sac dynamiques
 - Les γ statiques sont destinés aux fibres à sac statiques et à chaîne
- ✓ Le système γ permet le renforcement des décharges fusoriales à l'étirement et la disparition du silence (pause myotatique) lors d'une contraction $\Rightarrow \gamma$ permet le remplissage de la pause du circuit myotatique
- ✓ Ces motoneurones γ sont sous la dépendance des structures supérieures (formation réticulée, cortex sensori-moteur, noyaux gris de la base...)
- ✓ L'inhibition pré-synaptique : exerce une inhibition des fibres afférentes primaires en agissant sur le versant pré-synaptique par des synapses axo-axonales
- ✓ Le contrôle supra-spinal des reflexes médullaires est illustré par deux observations : rigidité de décérébration (Phénomène neurologique se caractérisant par l'apparition de contractures musculaires permanentes de type extrapyramidales « c'est une recherche perso ») et le choc spinal.

Troisième séance

Le cortex cérébral

Ce cours a été dicté par Mme Riri !!

1) Le cortex moteur :

- ✓ A l'origine des mouvements et des voies motrices (voies pyramidales et extrapyramidales) qui relient l'encéphale aux différents étages du SN
- ✓ Le mouvement volontaire peut être défini ainsi : acte moteur conscient non stéréotypé et perfectible par l'apprentissage
- ✓ La réalisation de l'acte moteur passe par un processus :
 - Identification du but
 - Programmation des mouvements
 - Exécution du mouvement
- ✓ Pour connaître la structure histologique du cortex cérébral en détail veuillez revenir au cours d'histologie correspondant.
- ✓ Le cortex cérébral est divisé en 3 territoires : archicortex, paléocortex (ces deux représentent le système limbique) et le néocortex
- ✓ Le néocortex : 96% de la surface corticale, se caractérise en sa lamination en 6 couches, cette lamination donne une variation inter-régionale => cartographie (la plus abordée est celle de Brodman)
- ✓ Ce cortex est caractérisé par la présence d'une couche moléculaire amincie pauvre en cellules, couche granulaire externe réduite voir absente. Couche pyramidale externe importante avec des cellules de taille moyenne et grande. Couche granulaire interne absente. Couche pyramidale interne comporte des cellules pyramidales géantes de BETZ. Couche multiforme avec des cellules fusiformes (qui sont pyramidales)
- ✓ Le cortex moteur correspond aux aires 4 et 6 de Brodman, dans la région précentrale (front) caractérisé par une réduction importante des couches granulaires et développement des pyramidales

1.1) Aire motrice primaire (Aire 4) :

- ✓ Correspond à la circonvolution frontale ascendante en avant de la scissure de Rolando, se caractérise par l'absence de la couche IV, et la présence dans V des cellules pyramidales géantes de BETZ
- ✓ **Expérience de stimulation** : stimulation de l'aire 4 :
 - Mouvement simple localisé à l'hémicorps controlatéral
 - Ces expériences ont permis d'établir une représentation somatotopique motrice qui est caractérisée par l'absence de proportionnalité entre les territoires du corps et leurs représentations corticales, ce qui dépend de l'importance biologique de la région. Les régions responsables du contrôle des mouvements fins et précis sont les mieux représentés => ce qui a permis

d'établir le GNOME DIFFORME (voir schéma) . cette représentation corticale dépend également du nombre des unités motrices (plus le nombre de fibres musculaires est faible plus la finesse est mieux décrite)

- Cette somatotopie accepte les modifications
- Joue un rôle dans l'exécution du mouvement

✓ **Expérience de lésion :**

- Paralysie flasque (molle) : hypotonie musculaire avec abolition des reflexes
- Une diminution ou abolition des reflexes
- Apparition du signe de Babinski : reflexe cutané plantaire en extension (extension des orteils) => suppression des influences inhibitrices corticales

✓ **Etude micro-électro-physiologique :**

- En étudiant les cellules du cortex primaire, EMEP concerne les cellules pyramidales :
 - 1) Cellules toniques : activité spontanée importante, 15PA/sec, la vitesse de conduction est lente 13à20m/sec, contact indirect avec les motoneurones, activées lors des mouvements distaux et de faibles amplitudes, leur décharge précède de 100 à200ms l'activité EMG(enregistrement myographique) et dure 300ms
 - 2) Cellules phasiques : moins nombreux, faible activité spontanée 4PA/sec, vitesse de conduction élevée supérieure à 20m/sec peut atteindre 100m/sec, contact monosynaptique avec les motoneurones α , actives lors des mouvements distaux, rapides et amples, leur décharge
 - 3) Cellules mixtes : activées lors des 2 types des mouvements

1.2)Air motrice secondaire

- ✓ Comprend deux régions : air pré-motrice (APM) et air motrice secondaire (supplémentaire)(AMS)
- ✓ **APM :** située en avant de l'air 4 et occupe une partie de l'air 6, agranulaire sans cellules de BETZ
 - **Expérience de stimulation :**
 - 1) Nécessite une intensité de stimulation plus importante que celle de l'air 4
 - 2) Réponse plus tardive et plus durable, mouvements plus complexes
 - 3) Permet une contraction coordonnée de plusieurs muscles
 - 4) Somatotopie moins précise que celle de l'air 4
 - **Expérience de lésion :**
 - 1) Paralysie passagère ou faible=Parésie
 - 2) Persistance de mouvements simples et perte de mouvements complexes résultants d'un apprentissage antérieur : Appraxis motrice
 - 3) Augmentation du tonus musculaire et hyper-reflexie
 - 4) Pas de signe de Babinski

Sur le plan fonctionnel : cette partie joue un rôle dans le contrôle de la musculature axiale et proximale dans les phases initiales consistant à l'orientation du corps et des membres, et joue un rôle dans le processus préparatoire

- ✓ **AMS :** air6 à la face interne de l'hémisphère en prolongeant APM

➤ **Expérience de stimulation :**

- 1) Mouvements complexes
- 2) Réaction d'orientation du corps et de coordination entre les 2 hémicorps
- 3) Somatotopie

➤ **Expérience de lésion :**

- 1) Pas de paralysie ni parésie
- 2) Augmentation des reflexes ostéo-tendineux
- 3) Troubles profonds entre la coordination entre posture et mouvement

Sur le plan fonctionnel : joue un rôle dans la programmation des séquences complexes de mouvements, apprentissage et mémorisation de nouvelles séquences, coordination et préparation posturale aux mouvements

➤ **Etude micro-électro-physiologique :** pour les 2 : APM et AMS

- 1) Un 1/3 jusqu'à la moitié des neurones
- 2) La plus part codent la localisation de la cible et direction du mouvement
- 3) Sont actives lors des mouvements complexes et organisés (beaucoup plus APM)

1.3) Autres aires motrices corticales :

- ✓ Complexe singulaire
- ✓ Cortex oculo-moteur front
- ✓ Girus post-central
- ✓ Air visuelle occipitale
- ✓ Cortex pariétal postérieur

3) Les voies motrices :

3.1) Voies pyramidales (cortico-spinales)

Représentée par les fibres issues du cortex et qui passent par les pyramides bulbaires vers la ME

- ✓ Origine : au niveau cortical, air 4 et 6, air somatosensorielle 1.2.3, pariétal associatif (fibres myélinisées de petit diamètre et de grand diamètre avec une conduction lente)

Les fibres cortico-spinales abordent la capsule interne par son bras postérieur et descendent vers la ME, touchent le niveau bulbaire et se regroupent en bandes. 90% des fibres croisent la ligne médiane pour constituer le faisceau cortico-spinal latéral. 10% ne croisent pas cette ligne médiane et constituent le faisceau cortico-spinal médian qui va croiser la ligne médiane par la suite

- ✓ Terminaison : les grosses fibres vont connecter monosynaptiquement les motoneurones distaux, cependant, les fibres fines vont connecter multisynaptiquement => rôle d'ajustement de posture

cette voie joue un rôle dans la réalisation des mouvements volontaires dans la musculature distale

3.2) Voies extra-pyramidales :

3.2.1) Voie rubro-spinale :

Même origine corticale, les axones pyramidaux se terminent sur le noyau rouge épsi-latéral, en y passant (zone magno-cellulaire) croisent la ligne médiane et rejoignent la voie cortico-spinale latérale

NB : cette voie est importante chez les vertébrés inférieurs et carnivores, et est vestigiale chez l'homme

Cette voie est incriminée dans les motoneurones proximaux et distaux et surtout muscles fléchisseurs

3.2.2) autres voies extra-pyramidales :

- ✓ Voie réticulo-spinale passe du cortex vers la formation réticulée
- ✓ Voie vestibulo-spinale met en jeu les noyaux vestibulaires
- ✓ Voie tecto-spinale passe des tubercules quadrijumeaux
- ✓ Voie olivo-spinale de l'olive bulbaire

Organisation fonctionnelle : on distingue 2 grands systèmes descendants :

- ✓ 1^{er} système descendant : descend latéralement, chemine dans le cadran antéro-latérale de ME , formé par des faisceaux cortico-spinaux faisceaux rubro-spinaux.
Rôle : facilitation des activités des muscles distaux de flexion et mouvements fins et précis
- ✓ 2^{ème} système descendant : descend médianement dans e cadran ventral, comprend le faisceau cortico-spinal médian et les faisceaux extrapyramidaux. Exerce sous contrôle cortical la facilitation des mouvements des muscles extenseurs de fixation (muscles impliqués dans la posture proximale).

Quatrième séance

somesthésie: Douleur

NB : cette partie du cours ne représente que les notes que j'ai prises lors de la présentation du Monsieur X

- ✓ La somesthésie : sensibilité somatique consciente, comprend des modalités : mécaniques, chimiques, thermique, douleur=> sensibilité viscérale également
- ✓ Rôle : Avertie sur le monde extérieur et ses modifications, permet l'exploration des formes et l'adaptation des gestes de position
- ✓ Particularités : -> Diversité des récepteurs qui pour chacun code un type particulier de sensation. ->diversité de sensations transmises

A/ récepteurs cutanés :

A.1) Mécanorécepteurs cutanés de bas seuil : une faible stimulation induit une réponse

- ✓ **Récepteurs à adaptation rapide :** le récepteur donne une décharge au début de la stimulation et s'arrête par la suite même en continuité de stimulation. (Pacini : grand récepteur, profond, sensible aux vibrations, se stimule entre 200et300Hz) (Meissner : se stimule à 50Hz, sensible à la texture et frictions fines entre la peau et l'objet) (récepteurs annexés aux poiles : stimulés par les mouvements de poiles). Corpuscule de pacini : fibre nerveuse entourée par des lamelles fibro-élastiques contenant un liquide, le fait d'y appuyer => réponse phasique. Si on enlève les lamelles la réponse devient continue car on appuie directement sur la fibre nerveuse
- ✓ **Récepteur à adaptation lente :** elle est tonique, pendant toute la période de stimulation on enregistre des réponses. (Merkel : contact avec un objet) (corpuscule de Ruffini : étirement de la peau et déformations prolongées) ces récepteurs sont innervés par des fibres myélinisés A β ainsi que des fibres rapides. Au niveau de la pointe de doigts : Meissner et Merkel, le reste de la main : Ruffini et Pacini

A.2)Thermorécepteurs de bas seuil : une faible différence de température entraine une décharge

- ✓ **Au froid :** stimulés par des températures entre 1 et 20⁰C au dessous de la température de la peau 34⁰C. la fréquence de décharge est proportionnelle à l'intensité et la vitesse d'installation du froid (comportement statique et dynamique). Situation de froid paradoxal : T>45⁰C
- ✓ **Au chaud :** 32 à45⁰C, au-delà ce sont des thermonocicepteurs qui sont mis en jeu Ces thermorécepteurs son innervés par A γ et C qui sont de fines fibres

NB :

- La sensibilité thermique est ponctué
- Comportement statique=changement progressif de la température
- Comportement dynamique= changement brutal de température

A.3) Nocicepteurs : capable de lésion de tissus

- ✓ Mécanonocicepteurs : stimulation mécanique intense
 - ✓ Nocipolymodaux : stimulation mécanique, thermique ou chimique intense
- Ces nocicepteurs sont innervés par des fibres A γ et C qui sont amyélinisés

B) propriocepteurs : permettent la reconnaissance consciente de l'orientation spatiale des différentes parties du corps ainsi que la vitesse et le sens du mouvement donc en y distingue 2 types de sensibilité : sensibilité angulaire et une sensibilité directionnelle

- ✓ **De bas seuil :** FNM (Ia) et organe tendineux de Golgi (Ib) ainsi que les récepteurs articulaires : sensibles à la tension articulaire, au degré de rotation, à la vitesse et au sens de mouvement. Innervation A β
- ✓ **De haut seuil :** nocicepteurs articulaires et musculaires (diminution de Ph, accumulation d'acides...)

C) Récepteurs viscéraux : mécanorécepteurs de bas seuil, chémorécepteurs (renseignent sur les sécrétions viscérales), nocicepteurs polymodaux.

D) classification des fibres afférentes : la classification des fibres afférentes selon le diamètre, myélinisation et vitesse de conduction

Classification selon l'ordre décroissant de diamètre :

- ✓ A α , A β , A γ , C (cette nomenclature utilisant les lettres est adoptée pour les récepteurs cutanés)
- ✓ I, II, III, IV (cette nomenclature utilisant les chiffres romains est adoptée pour les récepteurs musculaires)

La myélinisation favorise l'augmentation de la vitesse de conduction.

Les fibres de gros diamètre : ce gros diamètre fait diminuer les résistances longitudinales => augmentation de la vitesse de conduction

Les fibres A α et A β sont myélinisées. Les fibres C et A γ sont amyélinisées

***Notion de dermatome :** toutes les fibres afférentes primaires pénètrent dans la ME par les racines dorsales sauf pour la sensibilité de l face. Un dermatome : est la surface de la peau innervée par des fibres issues d'une même racine, il existe un certain degré de chevauchement des différents segments médullaires (dermatome) adjacents. Pour identifier la sensibilité résiduelle de Sherrington on coupe les racines au dessus et au dessous pour trouver le vrai dermatome de la racine considérée

-A la jonction radiculo-médullaire postérieure, les fibres afférentes primaires vont se séparer en 2 groupes : les fibres de gros diamètre (A β) empruntent un faisceau médio-dorsal et se terminent principalement au niveau des couches III, IV et V épsilatérales (du même côté). Les fibres fines constituent le faisceau latéro-ventral se terminent au niveau des couches I et II épsilatérales (fibres A γ et C)

- La substance grise de la ME est divisée sur la base des données cytoarchitectoniques par REXED en 10 lames (couches), c'est la corne postérieure qui comporte les neurones somesthésiques

-Réponse des neurones aux messages somesthésiques :

- ✓ Spécifique : répondent à un seul type de stimulation (mécaniques légères III, IV, V. mécaniques nocives :I)
- ✓ Non spécifiques ou convergents : répondent aux différents types de stimulations, un ensemble de fibres convergent vers un seul neurone. Cette convergence explique la sensation de douleurs prolongés car le neurone ne peut pas distinguer l'origine de la stimulation (exp : lésion des artères coronaires+douleurs au niveau du poignet gauche)

Cinquième séance

Suite

-Multiplicité de système :

- ✓ Système lémniscal (des colonnes dorsales) « sensibilité profonde proprioceptive et tact »: constituée de deux faisceaux :faisceau gracil de Goll c'est le médial (membre inférieur) et faisceau cunéiforme de Burdach (membre supérieur et tronc). Des fibres afférentes primaires arrivent au niveau de la corne postérieure (sans relai dont le corps cellulaire est situé dans le ganglion rachidien) et montent de façon épsilatérale au

bulbe rachidien pour s'articuler avec un deuxième neurone (dans les noyaux cunéiformes et grèles situés dans la partie inférieure et dorsale du bulbe) afin qu'elle soit traitée, pour ensuite croiser la ligne médiane et les axones de deuxième ordre forment un faisceau volumineux myélinisé c'est le lemnisque médian jusqu'à arriver au Thalamus d'où part des fibres des neurones de troisième ordre vers la zone somesthésique corticale homolatérale.

Sensibilité des membres et du tronc : VPL : ventro-postéro-latéral

Sensibilité de la face : VPM : ventro-postéro-médian

- ✓ Système extra-lémniscal « sensibilité thermo-algique » : les axones des fibres afférentes gagnent la racine dorsale de la moelle épinière puis la corde dorsale, effectue une synapse avec un neurone dans la corde dorsale pour que l'axone de ce dernier passe dans la corde dorsale de l'autre côté, l'axone de ce dernier neurone passe épsilatéralement jusqu'au bulbe où il s'articule avec un neurone dont l'axone passe dans le thalamus épsilatéralement et où il s'articule à nouveau avec un nouveau neurone dont l'axone passe à l'air somesthésique épsilatérale

La partie médiane de la ME reçoit des fibres provenant des membres inférieurs, zone lombaire et thoracique inférieure

- ✓ Le système lémniscal emprunte 2 principales voies :
 1. Colonne dorsale ou cordonale postérieure
 2. Faisceau néospinothalamique
- ✓ Le système extra-lémniscal emprunte 3 voies :
 1. Faisceau paléo-spino-thalamique
 2. Faisceau spino-réticulo-thalamique (responsable de la vigilance)
 3. Faisceau spino-mésencéphalique
- ✓ Les noyaux du système lémniscal : système de localisation :
 1. Champs récepteurs de petites tailles : un champ récepteur est un étendu de l'espace sensoriel dont la stimulation entraîne une réponse du récepteur dont le rôle est la discrimination spatiale (un degré de stimulation très bas). Plus la taille du champ est petite plus la discrimination est importante
 2. Spécificité de réponse neuronale
 3. Somatotopie précise : responsabilité d'une surface précise
 4. Phénomène d'inhibition latérale : Si on stimule à l'intérieur du champ récepteur : le récepteur décharge, si on stimule en dehors du champ récepteur : le récepteur est inhibé (c'est ce dernier phénomène qui illustre cette inhibition latérale). Quand la fibre afférente vient stimuler son neurone récepteur elle envoie parallèlement des collatérales aux neurones environnants pour les inhiber à travers des interneurons.
- ✓ Noyaux du système extra-lémniscal : système d'alerte
 1. Somatotopie non précise
 2. Champs de grandes tailles
 3. Pas d'inhibition latérale
 4. Phénomène de convergence hétérotypique voir hétéromodalitaire

*Définition de la douleur : c'est une sensation désagréable et expérience émotionnelle due à une lésion tissulaire réelle ou potentielle ou décrite par des termes d'une telle lésion nait au niveau des nocicepteurs, elle comprend :

1. Une composante sensori-discriminative
2. Une composante émotionnelle et affective
3. Une composante comportementale

*Les mécanonocicepteurs et thermonocicepteurs correspondent aux fibres A γ myélinisés et de faible diamètre et faible vitesse de conduction : 5à30m/sec

*les nocicepteurs polymodaux correspondent aux C non myélinisés et de très faible vitesse de conduction <1m/sec

*sur le plan morphologique : les nocicepteurs sont des terminaisons nerveuses libres non différenciées

*A la suite d'une lésion : libération de certaines substances=> activation de la terminaison nerveuse => axone secrète GRP et substance P qui stimule la sécrétion d'histamine (activateur de nocicepteurs)et active la transsudation plasmatique

* Voies ascendantes responsables de la transmission :

1. La voie spinothalamique (néospinothalamique)
2. Voie spino-réticulothalamique
3. Voie spino-mésencéphalique
4. Voie spino-hypothalamique
5. Voie spino-cervico-thalamique

- ❖ La voie néospinothalamique : est responsable du caractère sensori-discriminatif de la douleur
- ❖ La voie réticulothalamique est responsable de la vigilance, se termine dans la formation réticulée
- ❖ La voie spino-hypothalamique : régule la fonction végétative, responsable des fonctions végétatives qui accompagnent le phénomène douloureux.

La sixième séance

Le cervelet

NB : ce cour a été dicté par Mme. Riri

I) Introduction : structure nerveuse connectée au tronc cérébral (TC) par 3 paires de pédoncules cérébelleux où on trouve des fibres afférentes et efférentes. Joue un rôle dans la motricité, l'équilibration, tonus musculaire et coordonne les mouvements volontaires

II) Organisation du cervelet : c'est une écorce cérébelleuse en supérieur qui est plissée en profondeur : les noyaux cérébelleux au nombre de 3 (pour chaque coté=> la somme 6)

- ✓ Noyau du toit (féstigial)
- ✓ Noyau interposé comporte le noyau ambolifum et le noyau globuleux
- ✓ Noyau dentelé c'est le plus latéral

Le cervelet est subdivisé en lobes et lobules du fait de l'existence des fissures et scissures. Les plus importantes :

- ✓ La fissure primaire : qui subdivise le cervelet en lobe antérieur et postérieur
- ✓ La fissure postéro-latérale : qui subdivise le cervelet en lobe folliculo-nodulaire et lobe postérieur

Une subdivision phylogénétique : 3 régions :

- ✓ Archéocervelet : c'est le plus ancien, lobe folliculo-nodulaire
- ✓ Paléocervelet : chez les carnivore, c'est le lobe antérieur
- ✓ Néocervelet : chez l'homme, c'est le lobe postérieur

Une subdivision longitudinale :

- ✓ Région vermiènnne (centrale :vermis) : se projette sur le noyau festigial
- ✓ Région para-vermiènnne : correspond au noyau interposé
- ✓ Région latérale : correspond au noyau dentelé
- ✓ Régions folliculo-nodulaire : vestibulaires (ne font pas partie du cervelet) Deiters

Microscopiquement : veuillez revoir le cour d'histologie : il comprend 3 couches : moléculaire, couche de Purkinje et la couche granulaire (de l'extérieur vers l'intérieur)
A noté que seule la couche granulaire comporte des fibres excitatrices les autres couches comportent des fibres Gabaérgiques

Le cervelet reçoit les informations par deux voies :

- ✓ La voie des fibres grimpantes : de l'olive bulbaire
- ✓ La voie des fibres moussues : origines autres que l'olive bulbaire

Les informations sont traitées par des interneurons : de Golgi, étoilés, granulaires, palliés

La voie de sortie est représentée par les axones des cellules de Purkinje

Avant que les afférences ne poursuivent leurs chemins pour le traitement de l'information, elles donnent des collatérales pour le noyau profond

*Les fibres grimpantes : traversent la substance blanche et se terminent au niveau de la couche moléculaire pour connecter les dendrites des cellules de Purkinje, 200 à 300 points

synaptiques. Une cellule de Purkinje reçoit une fibre grimpante, et une fibre grimpante se termine sur 10 cellules de Purkinje (connexion très puissante)

*Fibres moussues : se termine au niveau de la granulaire, une fibre moussue se termine sur 3000 cellules granulaires

*Cellule granulaire : excitatrice utilise le glutamate se trouve dans la couche granulaire, son axone remonte vers la moléculaire, => fibres parallèles suivant le folium (petit plissement de l'écorce cérébelleuse) et se terminent au niveau des cellules de Purkinje

Une Purkinje s'articule avec 200000 fibres parallèles

*Cellules de Golgi : se trouvent dans la couche granulaire, s'articule avec les fibres parallèles, axone avec les granulaires, participe à la formation de l'unité fonctionnelle qui est le glomérule = fibres Moussues + dendrites des fibres granulaires + axones des cellules de Golgi

*Cellules à corbeille axones des cellules étoilées s'articulent avec les dendrites de Purkinje (synaps axodendritique), les axones des cellules à corbeille se terminent sur le corps cellulaire de Purkinje (synaps axo-somatiques)

Les connexions du cervelet :

Afférences :

- ✓ Périphériques : proprioceptives, cutanés, articulaires, vestibulaires, visuelles et auditives. Toutes ces afférences sont véhiculées par la voie spinale : représentée par la proprioceptive, cutané et articulaire, forment 2 grands contingents : voie spino-cérébelleuse ventrale et dorsale.

Autres voies : le faisceau spino-réticulo-cérébelleux, le faisceau spino-vestibulo-cérébelleux et le faisceau spino-olivo-cérébelleux (conduisent les informations vestibulaires, visuelles et auditives)

- ✓ Cérébrales (centrales) : proviennent du cortex cérébral en passant par le cortex cérébral après relais : noyaux du pont, noyaux réticulaires, olive bulbaire et noyau rouge (c'est le plus dominant)

Interconnexions : connexion entre l'écorce cérébelleuse et le noyau cérébelleux profond

Efférences : axones de cellules de Purkinje, exemples :

- ✓ Noyau fétigial vers le noyau vestibulaire et noyau réticulaire => c'est le système ventro-médio-controlatéral (pour les muscles proximaux)
- ✓ Noyau interposé : c'est le système dorso-latéral controlatéral (muscles distaux)
 - 1) Faisceau descendant vers le noyau réticulé
 - 2) Faisceau ascendant vers le noyau rouge
- ✓ Noyau dentelé : partent vers le noyau thalamique (ventrolatéral) => cortex moteur et pré-moteur

Finalement, le cervelet travaille en boucle :

- ✓ Vestibulaire : archicervelet, le plus simple, lobe folliculo-nodulaire du cervelet => cervelet vestibulaire, les afférences vestibulaires et noyau vestibulaire. Efférence vers le noyau vestibulaire. Rôle statique et équilibration
- ✓ Spinale : paléocervelet, définit 2 zones :
 - 1) Zone vermienne : les afférences proviennent cou, tronc et vestibule. Efférences passent par le fétigial puis le système descendant médian. Rôle : tonus musculaire, posture et équilibration de la marche

2) Zone para-vermienne : afférences : des membres. Efférences : passent par le noyau interposé vers la ME par par le système descendant latéral. Rôle : tonus musculaire

- ✓ Cérébrale : correspond au néocervelet . afférences : cortex cérébral. Efférences : passent par le noyau dentelé vers le cortex cérébral moteur et pré-moteur via le ventre latéral du thalamus. Rôle : programmation et initiation du mouvement.

Données électrophysiologiques :

Connexions des cellules de Purkinje sont soit directes (fibres grimpantes) ou indirectes (fibres moussu)

Les afférences se terminent dans la couche moléculaire pour les grimpantes, et dans la couche granulaire pour moussu

Dans la couche glomérulaire on distingue 2 mécanismes d'inhibition :

- 1) Fibres moussu : connectent les cellules granulaires qui effectuent de connexions avec Golgi par les fibres parallèles ensuite les cellules de golgi agissent avec les granulaires. En retour inhibent les cellules interneuronales (inhibition dans le glomérule) => cycle long. Cycle court : cellules de golgi inhibent les cellules granulaires. Ce mécanisme permet de freiner les afférences provenant des fibres moussu donnent des spicules simples
- 2) Fibres grimpantes : action excitatrice, donnent une réponse très puissante au niveau de la cellule de Purkinje, réponse très complexe à caractère tout ou rien (PA). spike complexe potentiel calcique initial suivi d'un potentiel sodique. 4PA/sec. La stimulation de l'olive au moment de l'inhibition engendrée par les fibres parallèles est maximale, réussit à provoquer une décharge des cellules de Purkinje et surmonter

Activité de Purkinje : elles ont une activité de base. 2 types de réponse :

- ✓ Simple : 50 à 100 PA. Cellules inhibitrices => inhibition sur les noyaux cérébelleux profonds ou vestibulaires, sont sensibles aux stimulations sensorielles et mouvements volontaires
- ✓ Complexe : 1 à 2 cycles /sec, peu sensibles aux stimulations sensorielles et mouvements volontaires

En finalité, le cervelet possède une organisation fonctionnelle en 3 cervelets :

- ✓ Spinal : vermis et zone hémisphère. Afférences : faisceau spino-cérébelleux dorsale d'origine. La colonne de Clark au niveau de la corne ventrale, couche 7 dans les segments lombaires hauts et thoraciques. Montent ipsilatéralement vers le cervelet, transmet des informations d'origine cutanée, articulaire, musculaire, visuelle, auditive (labyrinthique à moindre degré). Transforme des informations sur la longueur et force musculaire et position articulaire
- ✓ Faisceau spino-cérébelleux dorsal : origine ME corne ventrale vers le cervelet controlatéral, même informations que reçoivent les motoneurones α de la ME cervicale . le cunéo et spino-cérébelleux ventral. Efférences : du vermis vers le noyau fastigial, la formation réticulée pontique et noyau vestibulaire latéral. Zone hémisphérique => noyau interposé => rouge controlatéral => cortex moteur (contrôle de la fonction motrice distale impliquée dans les mouvements volontaires)
- ✓ Cérébral : zone latéral, afférence : air motrice et pré-motrice, somesthésique et pariétale postérieur par le noyau du pont. Les efférences : pour la même région en

passant par le noyau dentelé puis le thalamus. Rôle : programmation des mouvements.
Efférences : noyau vestibulaires, réaction posturale d'équilibration, contrôle les mouvements conjugués des yeux

Notions : données anatomo-cliniques : atteinte du cervelet spinal :

- ✓ Lésion du vermis ou cervelet spinal : tremblement du tronc
- ✓ Région intermédiaire : tremblement des membres et dissymétrie
- ✓ Cervelet cérébral : augmentation du délai du déclenchement du mouvement ou fin de mouvement, défaut de synergie et de coordination musculaire et défaut de concordance articulaire
- ✓ Cervelet vestibulaire : oscillation de la tête et du tronc, trouble de l'équilibre

Les noyaux gris de la base

NB : cette partie ne représente que les notes que g pu prendre lors de la présentation de Monsieur X

- ✓ Ce sont les noyaux diencephaliques et mésencéphaliques situés à la base du cerveau, interviennent dans la programmation de l'activité volontaire (mouvements)
 - 1) Le néostriatum : base de
 - 2) la vésicule télencéphalique comporte le noyau codé (associatif) et le putamen (moteur). Le striatum ventral est responsable du territoire limbique
 - 3) Paléostriatum (palédum) : comprend le Globus pallidus médian (interne) et le Globus pallidus externe (latéral) qui sont séparés du Thalamus par la capsule interne

Ces 1 et 2 sont reliés anatomiquement et physiologiquement au :

- 4) Noyau sub-thalamique : corps de Luys
- 5) Substance noire (SNr : pars réticulaire, ventrale et SNc : pars compacta, dorsale)

La neuro mélanine est de couleur sombre c'est elle qui offre la couleur noire à la compacta => substance noire

Le GPM et SNr présentent des similitudes fonctionnelles, cytologique, mêmes connexions=> on parle de complexe GPM-SNr

Le noyau codé : tête, corps, queue, se termine par une amygdale qui se trouve sur la face interne du temporal => système limbique

NGB reçoivent des informations sur le cortex cérébral qu'ils influencent par une voie de retour via le thalamus => voie parallèle cortico-spinale

Trajet : afférences => connexion internucléaire => efférences

Afférences striales :

- ✓ Etage d'entrée : néostriatum
- ✓ Reçoit des afférences excitatrices du cortex (glutamate)
- ✓ Afférences thalamo-striales (centre médian et para fasciculaire) glutamatergique
- ✓ Afférences

Efférences : étage de sortie GPM/SNr, se projette sur le cortex moteur par l'intermédiaire des noyaux thalamiques (VA, VL)

Connexion internucléaire : le transfert entrée-sortie utilise 2 voies : directe et indirecte.

On décrit 5 boucles parallèles cortico-sous cortico-corticales (par Alexandre)

- ✓ La boucle motrice musculo-squelettique
- ✓ La boucle oculo-motrice
- ✓ La boucle préfrontale dorso-latérale

- ✓ La boucle orbito-frontale
- ✓ La boucle limbique

Ces 5 boucles sont à l'origine de 3 circuits majeurs :

- ✓ Circuit moteur
- ✓ Circuit associatif
- ✓ circuit limbique

On ne s'intéressera qu'au moteur

- La voie directe : induit une réduction de l'activité des neurones de l'étage de sortie et donc une désinhibition de l'activité thalamo-corticale => facilitation du mouvement. Le rôle originaire du GPM/SNr est d'inhiber les noyaux thalamiques. Etage d'entrée => inhibition (GABA) du GPM/SNr => levée d'inhibition sur les noyaux thalamiques
- La voie indirecte : elle aboutit à une hyperactivité des neurones de l'étage de sortie par désinhibition des noyaux sous thalamiques lesquels exercent une action excitatrice (glutamate) sur le complexe GPM/SNr => dysfacilitation du mouvement. Le rôle originaire du GPe est d'inhiber les NST, l'inhibition du GPe entraîne une levée d'inhibition sur NST et donc excitation du GPM/SNr par glutamate => dysfacilitation du mouvement

La voie dopaminérgique des noyaux striaux a 2 rôles différents : excitatrice via les récepteurs D1 de la voie directe et inhibitrice via les récepteurs D2 de la voie indirecte. La dopamine est sécrétée par SNc dont le produit de dégradation est l'acide homovanilique qu'on peut doser

Données neurochimiques :

NB : les seuls noyaux excitateurs sont au niveau des noyaux subthalamiques qui agit par 2 voies :

- Ionotropique : NMDA, AMPA, Kinate
- Métabotropique

L'ACh est synthétisé par les interneurons locaux du néostriatum (95% des interneurons du néo sont représentés par les neurones de projection épineux GABAérgiques, la faible portion qui reste est représentée par des neurones cholinérgiques)

GABA est sécrété par GPe et GPM/SNr

Données anatomo-cliniques :

-Les dysfonctionnements des NGB :

1. Excessivité du mouvement : hyperkinésie
2. Pauvreté du mouvement : hypokinésie

-Le syndrome de Parkinson : akinésie (pauvreté) et bradykinésie (lenteur) associés aux tremblements. Résulte de la dégénérescence de la voie dopaminérgique => levée d'inhibition de la dopamine sur la voie indirecte

-L'hypoactivité de la voie indirecte :

- Soit directement par lésion du noyau sub-thalamique : embalisme
- Soit indirectement par dégénérescence des neurones du noyau striatum : Choréa

Huitième séance

Électrogénèse corticale

NB : cette partie a été dictée par Mme Riri !!

I/ Introduction : c'est l'ensemble des activités électriques au niveau du cortex. Les premiers enregistrement chez le chat en 1874, ensuite BERGER en 1930 a enregistré l'activité corticale chez l'homme et a mis en évidence le rythme α (de BERGER)

II/ origine des ondes : cette activité représentée par l'activité dendritique des cellules pyramidales (PPSE). Les PA des cellules pyramidales ne sont pas concernés par cette activité. Cet enregistrement est possible pour 2 raisons :

- disposition parallèle des cellules pyramidales les unes par rapport aux autres, et la disposition perpendiculaire par rapport à la surface
- l'existence d'arborisation dendritique très asymétrique

Les phénomènes d'excitation des cellules pyramidales prédominent au niveau dendritique apical => excitation positive

Le soma (corps cellulaire) reste positif par rapport à la dendrite apicale : apparition de dipôle => courant ionique

La disposition en parallèle des cellules pyramidales permet l'enregistrement des courants et l'addition des dipôles unitaires => enregistrement des dipôles de surface

La zone d'entrée du courant à la cellule est dite : puits et la zone de sortie est dites : source

La condition de l'enregistrement est la synchronisation d'une centaine de milliers de neurones cette synchronisation est pilotée par des noyaux

- Les noyaux non spécifiques du thalamus : connexion thalamo-corticale, présence de neurones autorythmiques, cette action rythmique du thalamus conditionne l'action du cortex et est modifiée par 3 types d'afférences :
 1. Formation reticulée du TC (système activateur ascendant)
 2. Relais thalamiques sensoriels spécifiques (VP, CGL, CGM)

NB : on enregistre un courant de champs à la surface car l'électrode est lointain de la source. On enregistre des déflexions vers le haut ou vers le bas selon le siège de la source et du puits , quand l'électrode est près de la source => potentiel vers le bas, si il est proche du puits => potentiel vers le haut.

Il existe 3 théories de générateurs :

1. Générateur A : 600 micron
2. Générateur B : 900micron, 2 dipôles, DdP
3. Générateur C : 2 dipôles

III/ Electro-encéphalogramme (EEG) :

Les conditions universels :

- Respecter le langage universel
- Système 10-20 (10 à 20 électrodes)
- Préparation du malade qui doit être calme

- L'enregistrement 20 à 30 min (en dehors de problèmes si non l'enregistrement doit être prolongé), comprend des stimulations comme ouverture des yeux
- Activation

❖ **Rythmes de veille chez l'adulte :**

- 1) Rythme α : chez un sujet au repos, yeux fermés, prédomine aux régions postérieures, rythme sinusoïdale, 8 à 12/sec, caractérisé par la réaction d'arrêt à l'ouverture des yeux lors d'accomplissement de calcul mental
- 2) Rythme β : prédomine dans les régions antérieure, fréquence 14 à 25/sec peut même atteindre 30, amplitude 5 à 20, disparaît pendant le sommeil ou à l'exécution du mouvement volontaire contro-latéral
- 3) Rythme μ : équivalent du rythme α dans les régions centrales et centropariétales, volondique, fréquence 7 à 11 cycles/sec, amplitude 30 à 100, aspect en dents de scie, rythme arciforme
- 4) Rythme θ : 4 à 7/sec, peut être physiologique ou pathologique (si le sujet est bien éveillé avec les rythmes α et θ , ce θ est pathologique)
- 5) Rythme Δ : 0.5 à 3/sec toujours pathologique à l'état de veille

❖ **Rythmes chez l'enfant :**

Le rythme θ domine, β absent jusqu'à l'âge de 13 à 15ans, α développé

❖ **Rythmes de sommeil chez l'adulte :**

Le sommeil passe par deux phases :

- ✓ Sommeil à onde lente :
 - 1) Sommeil lent léger : stade 1 et 2
 - 2) Sommeil lent profond : stade 3 et 4
- ✓ Sommeil paradoxal

Phase 1 :

Stade 1 : α rare, apparition des ondes θ , apparition du point de vertex sur les régions rolandiques, le sujet peut se réveiller

Stade 2 : onde θ , α de plus en plus rare, présence de fuseau du sommeil (spindels) : succession d'ondes rapides occasionnelles, complexe K : ondes moins simples suivies ?????

Stade 3 : $\theta + \Delta$ mais Δ dominant, complexe K, on peut observer des spindels

Stade 4 : dominé par Δ amples (larges) et lentes

- ✓ Sur le plan comportemental :
 - 1) Présence d'activité musculaire
 - 2) Mouvements lents des globes oculaires
 - 3) Respiration régulière
 - 4) Motilité intestinale élevée cardiaque
 - 5) Diminution de P artérielle et fréquence
 - 6) Ajustement de posture toutes les 20 min
 - 7) On note une répétition des cycles pendant la nuit
 - 8) Les premiers cycles sont complets, plus on avance dans la nuit plus le sommeil est léger et plus le nombre de cycles diminue (atteint rarement 3 et 4)

Phase 2 : représente 10% du sommeil total, activité EEG similaire à l'état de veille, apparaît au bout de 30 à 80min du sommeil, dure entre 5 et 10 min en moyenne 15min activité onirique (rêves) et une désynchronisation corticale

La désynchronisation corticale s'accompagne d'onde lente sporadiques ponto-genouillées-occipitales (PGO), enregistrement effectué à partir d'électrode placée au niveau du pont des corps genouillés latéraux

L'activité PGO est associée à un mouvement des yeux rapides (REM)

Sur le plan comportemental : REM, atonie musculaire à l'exception des muscles respiratoires et muscles des globes oculaires, diminution de la pression artérielle et la fréquence cardiaque et respiratoire qui deviennent irréguliers c'est le stade où le dormeur est le plus vulnérable (seuil d'éveil est très élevé, pas de thermorégulation)

On a 4 à 6 cycles et le rapport sommeil paradoxal/ sommeil total dépend de l'âge : 65% prématuré, 50% nouveau né à terme, 25% adulte

IV/Régulation du sommeil et de la vigilance :

Aux années 1930, Bremer avait procédé aux différentes sections du névraxe à différents niveaux :

- 1) Section préparation cerveau isolé : s'effectue au niveau du TC entre les colliculus supérieur et inférieur. Résultats : activité EEG du sommeil à ondes lentes permanentes. Sommeil continu
- 2) Section préparation encéphale isolé : s'effectue à la limite inférieure du bulbe rachidien. Résultats : alternance normale de sommeil et de veille

Dans les années 50, Magoun et Maruzzi ont effectué des sections partielles du TC. Lorsque les lésions sont latérales => pas d'altérations significatives sur le cycle veille-sommeil. Quand les lésions sont médiales => sommeil permanent

La formation réticulée mésencéphalique est un système activateur ascendant (déclenche l'état de veille)

Expérience de stimulation et de destruction de la formation réticulée :

=> stimulation : installation de l'état de veille

=> destruction : état de somnolence

) section médio-pontique prétrijiménale : section mipontique et bulbaire. Etat de veille permanent=> il existe un centre d'endormissement actif. Le sommeil est provoqué par une structure dans la région bulbo-pontique avec coexistence de système de veille et de sommeil dans le TC

Structures de veille :

- 1) Formation réticulée mésencéphalique, point de départ des fibres cholinergiques vers l'ensemble du système nerveux et cortex. L'ACh responsable de désynchronisation en état de veille
- 2) Locus coeruleus : point de départ des voies noradrénergiques vers le système nerveux mais surtout vers ME, cervelet, télencéphale. Elles excitent la formation réticulée. Ce locus est excité par les neurones sérotoninergiques du raphé dorsalis. L'hypothalamus postérieur qui sécrète l'histamine et le système nigrostrié qui sécrète la dopamine vont agir indirectement en libérant des substances hypnotiques (VIP, CLIP, polysaccharides...)

Système d'endormissement et sommeil à ondes lentes :

Diminution de l'action du raphé avec mise au repos du locus et formation réticulée => mise au repos du système d'éveil. Cette mise au repos est pilotée par la formation réticulée inhibitrice

Pour le sommeil paradoxal : silence du raphé et locus avec désinhibition du générateur PGO => action sur le noyau oculo-moteur (REM)

Action sur le CGL : rêve

Quand le raphé est en silence il lève son inhibition sur les centres PGO

Levée d'inhibition par activation de la voie réticulo-spinale inhibitrice => atonie musculaire

Neuvième séance

Physiologie auditive

NB : cette partie du cours a été dictée par Mme Riri !!!

I/Introduction : l'appareil auditif joue un rôle important, permet la perception et la transmission

Définition de l'onde acoustique : le son est le produit de l'ébranlement des éléments ou particules du milieu où se trouve le corps qui vibre la propagation se fait de proche en proche on assiste aux phases de compression et de détente

Intensité de l'onde : c'est l'amplitude entre la phase de compression et de détente, elle est large on comprime cette échelle en utilisant une échelle $\log \Rightarrow$ dB. $N_{dB} = 10 \log I/I_0$ (I_0 valeur de référence c'est la plus petite)

Le seuil audible : la plus petite valeur dont l'oreille est sensible

La fréquence du son : nombre de compression de phases et de détente par unité de temps

Un cycle sonore : correspond à la distance entre 2 plages successives exprimé en Hz

La vitesse de propagation : dépend du milieu : air à 16°C = 360m/s, eau : 1435m/s

II/ Structure de système auditif :

Oreille externe : pavillon + conduit auditif externe

Oreille moyenne : caisse du tympan, chaîne des osselets, tympan, trompe d'Eustache

Les osselets sont reliés par deux muscles à la caisse du tympan : muscle de l'étrier et tenseur du tympan

La communication avec la bouche via la trompe d'Eustache permet le maintien d'une pression au niveau de la caisse = P_{atm} qui est une condition à la vibration optimale du tympan

Oreille interne : Labyrinthe + cochlée (rampe vestibulaire, canal cochléaire, rampe tympanique)

- ⇒ Rampe vestibulaire : et le canal cochléaire sont séparés par la membrane de Reissner
- ⇒ Rampe tympanique et canal cochléaire sont séparés par la membrane basilaire qui supporte l'organe de Corti qui est recouvert par la membrana Tectoria
- ⇒ Le canal cochléaire se referme au niveau de l'apex et les deux rampes vont entrer en contact au niveau de l'hélicotreme
- ⇒ Les rampes contiennent le périlymphe riche en sodium et pauvre en potassium
- ⇒ Le canal cochléaire comporte l'endolymphe riche en potassium et pauvre en sodium. Cette différence de concentration entre périlymphe et endolymphe \Rightarrow DdP de -80mV
- ⇒ La richesse du canal cochléaire en potassium est due à la présence de la strie vasculaire qui libère le K^+ sanguin

Organe de Corti : formé de cellules ciliées (revoir histo) externe et interne, présentent un cil principal (Kencil) accompagné de cils de moindre volume (stéréocils). Les CCI sont moins nombreuses que les externes mais les CCI sont à l'origine du PA

- ⇒ CCI : au nombre de 3500, une seule rangée, accompagnées de cellules de soutien
- ⇒ CCE : 15000 à 20000, 3 à 5 rangées, entourées de cellules de soutien externe de Deiters

Innervation :

- ⇒ CCI : 95% des fibres afférentes, chaque fibre ne s'articule qu'avec une cellule ciliée, et chaque CCI rentre en rapport avec une dizaine de fibres afférentes (récepteur + fibres),

le neuromédiateur : glutamate, les cellules des fibres afférentes du type I, larges, myélinisées, dipolaires

- ⇒ CCE : 5% des fibres afférentes, une afférente par dizaine de CCE, fibre de type II, petit diamètre, non myélinisées
- ⇒ Les éfferences proviennent du TC neurotransmetteur ACh. Rôle : réduction du gain d'amplification engendré par les CCE

Physiologie de l'organe récepteur : fonctions

Oreille externe :

- 1) Gain de pression qui est en rapport avec les réflexions qui se déroulent dans le conduit
- 2) Localisation de l'onde sonore en rapport avec le pavillon (musculature)

Oreille moyenne : permet l'amplification

- 1) Osselets+tympan
 - ⇒ Rapport des surfaces vibrantes : surface du tympan 15 fois plus importante que celle de l'étrier
 - ⇒ Rapport de bras de levier : la force est plus élevée au niveau de l'étrier (fenêtre ovale) car les osselets agissent comme des leviers. la P au niveau de la fenêtre ovale est 25 fois plus élevée que celle du tympan => gain 27dB
- 2) Musculature : reflex d'atténuation : intervient en cas des vibrations importantes, la contraction entraîne la limitation des mouvements => rigidité de l'articulation => diminution de la transmission vers l'intérieur.
Inconvénients : délai lent 50 à 100ms, n'offre pas une grande protection, en cas de son violents, aussi ces muscles se relâchent suite à une fatigue musculaire

Oreille interne :

- 1) Vibration de la fenêtre ovale => transmission des ondes à travers les différentes rampes. Le mouvement du liquide de RV provoque la déformation des membranes limitant le canal cochléaire et surtout la membrane basilaire => fléchissement rythmique des cellules réceptrices

Propriétés mécaniques de la membrane basilaire :

- 1) Elle est plus large à l'apex qu'à la base
- 2) Rigidité diminue de la base vers l'apex (100fois)
- 3) Membrane basilaire : sensibilité aux sons => haute fréquence : c'est la rigide qui vibre. => basse fréquence : apex qui vibre

Mécanismes de transduction au niveau des cellules ciliées :

Au repos les cellules sont le siège d'un potentiel -70mV

Le déplacement du cil dans un sens : dépolarisation, sens inverse : hyperpolarisation

Aux extrémités des stéréocils se trouvent des canaux potassiques, chaque canal est relié au stéréocil adjacent par un filament élastique (entre canaux)

La tension sur le filament est faible => ouverture partielle => influx continu de potassium

Inclinaison des stéréocils => augmentation de la tension sur le filament => augmentation du courant potassique => dépolarisation et potentiel récepteur

Inclinaison dans le sens inverse => diminution de la tension => diminution du courant potassique => à la normale ou bien hyperpolarisation.

La dépolarisation :

- ⇒ Ouverture des canaux calciques voltage dépendant => entrée du Ca^{2+}
- ⇒ Signal Ca^{2+} => libération du neuromédiateur (Glu) => activation du ganglion spiral

Le signal calcique => passage de -70mV à 0mV

Retour à la normale : rejet du K^+ et Ca^{2+} (par la pompe calcium)

Rôle des CCE dans l'amplification : elles sont dotées de protéines motrices qui vont modifier la longueur des stéréocils (allongement) => augmentation concomitante du processus de transduction au niveau des CCI

Mécanismes centraux de l'audition :

Les fibres issues du ganglion spiral forment le nerf auditif qui se projette au niveau du TC

1) Sur le noyau cochléaire :

- ⇒ Région dorsale
- ⇒ Région ventrale

Les fibres issues du noyau ventral forment le tractus ventral qui va se projeter sur le complexe olivaire épsi et contralatéral, les axones des neurones olivaires vont donner le lémnisque latéral qui va se projeter sur le colliculus inférieur

Les fibres issues du noyau dorsal : tractus dorsal croise la ligne médiane et rejoint le lémnisque latéral et se projette sur le colliculus inférieur

Les neurones du colliculus inférieur se projettent sur le corps genouillé médian (thalamique) => vers le cortex auditif du lobe temporal

Données physiologiques :

- ⇒ La fréquence caractéristique : les cellules ciliées sont sensibles à une fréquence donnée => enregistrement d'un PA => c'est la fréquence caractéristique. Cette notion se retrouve sur tous les relais jusqu'au cortex
- ⇒ Codage de l'intensité : intensité importante => vibration de la membrane basilaire avec une amplitude élevée => décharge au niveau nerveux important
- ⇒ Codage de la fréquence : stimulation codée par l'intensité et la fréquence.
Fréquence tonotopie : il y a une cartographie qui se constitue grâce au codage de fréquence, chaque fibre du nerf auditif est connectée aux cellules ciliées sensibles une fréquence donnée => cartographie de la membrane basilaire au niveau des noyaux de relai. L'organisation systématique d'une structure du système auditif fondée sur la fréquence caractéristique : tonotopie
- ⇒ Il n'existe pas de carte pour les très basses fréquences. Autres moyens de codage : corrélation de phases : il y a une relation de la durée du son et la décharge neuronale ($f_r < 200$)
- ⇒ Pour les fréquences intermédiaires c'est toute une population neuronale qui décharge
- ⇒ L'augmentation de la fréquence : tonotopie au-delà de 4KHz
- ✓ Le noyau cochléaire : il existe une tonotopie, 3 types de cellules => trois types de réponses cellulaires :
 - ⇒ Une réponse cellulaire de type transitoire : codent le début, implique les cellules buissonnantes (région ventrale du noyau)
 - ⇒ Une réponse en dents de scie : cellules étoilées : fréquence de stimulation
 - ⇒ Une réponse croissante : décharge augmente progressivement grâce aux cellules bipolaires
- ✓ Complexe olivaire : responsable de la localisation du son par différence de phase ou différence d'intensité entre 20 et 2000 Hz la localisation se fait par délai inter-oral, entre 2000 et 20000 Hz par différence d'intensité inter-orale
Les neurones olivaires reçoivent les informations de droite et gauche. Les neurones sont nommés neurones de coïncidence qui utilisent le délai inter-oral.
Les neurones utilisant la ΔI deux types
 - ⇒ Excitatrice-excitatrice (EE) sensibles aux stimulations bilatérales
 - ⇒ Excitatrice-inhibitrice (EI) très sensibles aux différences d'intensité
- ✓ Le lémnisque latéral : organisation tonotopique présence des neurones EE, EI avec dominance des EI

- ✓ Colliculus inférieur : carrefour du traitement des informations ascendantes et descendantes, représentation tonotopique, organisation en lamelle fonctionnelle => carte de représentation isofréquentielle
- ✓ CGM : configuration en lamelle (une sur l'autre) fonctionnelle, mode de codage de fréquence avec synchronisation de phases (EE, EI)
- ✓ Le cortex : se trouve au niveau du lobe temporal, organisation en colonnes associées, à la fréquence la représentation tonotopique des basses fréquences est latérales et rostrales, haute fréquence tonotopie médiane et caudale, présence d'une colonne de caractéristiques proches ou semblables, on distingue (EE) répondent mieux à la stimulation bilatérale, (EI) vont présenter une faible activité si les deux oreilles sont stimulées. Il existe une alternance EE-EI perpendiculaire à la surface corticale dans une bande de même fréquence