

PARTIE III

Corps humain et santé.

IIIA - Le maintien de l'intégrité de l'organisme : quelques aspect de la réaction immunitaire.

Chap1 - La réaction inflammatoire, une réponse innée.

Chap2 - L'immunité adaptative, prolongement de l'immunité innée.

Chap3 - Le phénotype immunitaire au cours de la vie.

IIIB - Neurone et fibre musculaire : la communication nerveuse.

Chap1 - Le réflexe myotatique.

Chap2 - Le message nerveux.

Chap3 - Motricité et plasticité cérébrale.

Les acteurs de l'immunité : Cellules et molécules...

1. Les cellules de l'immunité.

Les **leucocytes** sont issus de cellules souches de la moelle osseuse. Ils circulent dans le sang et la lymphe et peuvent s'accumuler dans les organes lymphoïdes (rate, ganglions lymphatiques). Certaines cellules immunitaires sont capables de passer dans les tissus pour combattre une infection.

Les leucocytes intervenant dans l'immunité innée :

- Les **granulocytes** ou **polynucléaires** : Ce sont des cellules volumineuses à noyau lobé. Leur cytoplasme est abondant et riche en organites cytoplasmiques. Leur membrane est déformable permettant à la cellule de traverser les parois des petits capillaires et de se retrouver dans les tissus (diapédèse). Ce sont des cellules phagocytaires non spécifiques.
- Les **monocytes** : Ce sont des cellules de grande taille au noyau arqué. Ils sont capables de passer dans les tissus où ils se transforment en **macrophages**. Ils présentent alors une membrane très irrégulière. Ils sont doués de phagocytose non spécifique et sont capables de présenter de petits peptides associés à leur molécule du CMH (complexe majeur d'histocompatibilité).
- Les **mastocytes** : Ce sont des cellules présentes dans les tissus. Elles sont capables de sécréter de l'histamine et jouent un rôle dans le développement des allergies.
- Les **cellules dendritiques** : ce sont des cellules que l'on trouve dans les tissus et qui possèdent de nombreux prolongements cytoplasmiques. Elles réalisent la phagocytose et sont des cellules présentatrices d'antigènes.

Les leucocytes intervenant dans l'immunité adaptative :

- Les **lymphocytes T ou B** : Ce sont des cellules de petite taille au noyau volumineux et arrondi. Leur cytoplasme est très réduit et leur membrane est assez irrégulière. Ce sont des cellules qui sont spécifiques d'un antigène. Il en existe deux types :
 - Les **lymphocytes B** lorsqu'ils sont activés se transforment en **plasmocytes** et sécrètent des **anticorps**. Ils ont une maturation dans la moelle osseuse (Bone marrow).
 - Les **lymphocytes T** interviennent dans la réponse immunitaire à médiation cellulaire. Ils ont une maturation dans le thymus.

2. Les molécules de l'immunité.

On distingue :

- Les **anticorps** (immunoglobulines) : protéine possédant deux sites de reconnaissance spécifiques d'un antigène donné.
- Les **cytokines** : groupe de molécules pouvant être membranaires ou sécrétées dont font parties des chimiokines, et les interleukines.
 - Les **chimiokines** : petites cytokines produites lors de la réaction inflammatoire et permettant de recruter les cellules immunitaires et de les activer.
 - Les **interleukines** : cytokines sécrétées par les lymphocytes T4 à la suite de leur stimulation et permettant la multiplication et la différenciation des lymphocytes B et des lymphocytes T8.
- La **perforine** : molécule sécrétée par les lymphocytes T8 permettant la lyse des cellules cibles.
- L'**histamine** sécrétée par les cellules sentinelles a une action sur la vasodilatation des vaisseaux sanguins.
- Les **prostaglandines**, médiateurs lipidiques formés à la suite de l'activation des mastocytes. Impliqués dans la vasodilatation, ils augmentent la sensibilité aux stimuli douloureux et la température de référence dans l'hypothalamus.
- Le **complément** : ensemble de protéines impliquées dans la réponse innée aux infections, dans l'élimination des complexes immuns et dans la régulation de la réponse spécifique.

But : On cherche à comprendre ce qui se passe lors de la réaction inflammatoire.

Le système immunitaire garantit le maintien de l'intégrité de l'organisme face aux agressions auxquelles il peut être confronté. La réaction inflammatoire est une réponse innée, non spécifique présente dès la naissance.

Par ailleurs, cette immunité innée est **très répandue** dans le monde vivant puisque toutes les espèces pluricellulaires (et notamment tous les espèces animales soit environ 2M d'espèces) la possèdent (grande conservation des séquences des gènes des différentes protéines entrant en jeu). La conservation de cette immunité au cours de l'évolution depuis son apparition (800 Ma) témoigne de son efficacité.

Problème : Comment se réalise la réponse immunitaire non spécifique ?

1. La réaction inflammatoire : une réponse stéréotypée à une intrusion microbienne.

1.1. Les défenses de l'organisme.

Les **barrières naturelles** de l'organisme sont constituées par toutes les zones de contact avec le milieu extérieur. Ce sont des barrières physiques. De nombreuses sécrétions viennent renforcer ces barrières : la sueur, les sécrétions sébacées, les larmes, le mucus des voies respiratoires (barrières biochimiques). Les sécrétions de ces tissus agissent par leurs propriétés antiseptiques et antibiotiques.

Cependant lorsque ces barrières naturelles ne suffisent pas, le **système lymphoïde** entre en jeu. Il comprend :

- Les organes lymphoïdes centraux où naissent les cellules lymphocytaires :
 - La moelle osseuse produit les précurseurs des cellules sanguines ainsi que les **leucocytes** (granulocytes, monocytes, mastocytes et cellules dendritiques) et permet la maturation des lymphocytes B.
 - Le thymus (organe volumineux situé derrière le sternum) est le lieu de maturation des lymphocytes T.
- Les organes lymphoïdes périphériques où se déroulent les réactions immunitaires :
 - Les ganglions lymphatiques collectent la lymphe et jouent le rôle de filtre. Ils assurent la prolifération des lymphocytes après contact avec un antigène.
 - La rate assure l'élimination des globules rouges âgés, participe à la production d'anticorps.
 - Le tissu lymphoïde associé aux muqueuses joue un rôle essentiel dans la réponse immunitaire locale.

1.2. Les signes de la réaction inflammatoire aiguë.

Les **lésions** (coupure, choc, brûlure...), les **infections** (prolifération de bactéries, de virus...) ou encore le **développement d'un cancer** (prolifération anarchique de cellules), sont des situations de danger pour l'organisme. Il se met alors en place une **première ligne de défense**, appelée **réaction inflammatoire aiguë** ayant pour particularités :

- ✓ D'être très rapide : Quelques minutes à quelques heures après le début de « l'agression » ;
- ✓ D'être stéréotypée : **Rougeur, chaleur, douleur et gonflement** (œdème).
- ✓ D'être non spécifique : Réaction identique quelque soit le pathogène.

2. Le déroulement de la réaction inflammatoire.

2.1. La réaction inflammatoire : une réaction en chaîne.

Certains leucocytes patrouillent en permanence dans les tissus de l'organisme (peau, muscle, foie, poumons...) et sont qualifiés de **cellules sentinelles** (**mastocytes, macrophages, cellules dendritiques**).

Lorsque ces cellules sentinelles détectent des molécules caractéristiques des microorganismes grâce à des **récepteurs de l'immunité innée**, elles libèrent dans le tissu touché des **médiateurs chimiques de l'inflammation** (molécules messagères impliquées dans la mise en place de la réaction inflammatoire) comme l'histamine, le TNF, les prostaglandines, les cytokines...

Ces médiateurs sont alors responsables :

- ✓ D'une vasodilatation responsable de la rougeur et de la sensation de chaleur,
- ✓ D'une augmentation de la perméabilité des vaisseaux responsable du gonflement,
- ✓ D'une excitation des nocicepteurs (récepteurs sensoriels sensibles à la douleur) provoquant la sensation de douleur.

La vasodilatation et l'augmentation de la perméabilité des vaisseaux provoquent le recrutement des leucocytes impliqués dans l'élimination des microorganismes : les granulocytes et les monocytes migrent des vaisseaux sanguins vers les tissus lésés, attirés par chimiotactisme. Les monocytes se différencient alors en macrophages.

2.2. L'élimination non spécifique des intrus par la phagocytose.

Les cellules recrutées (monocytes et granulocytes), ainsi que les cellules dendritiques, sont capables d'éliminer des débris de taille variable (agents infectieux, débris cellulaires...) par un processus appelé **phagocytose**. Ces cellules sont ainsi qualifiées de **cellules phagocytaires**. La phagocytose se déroule en plusieurs étapes successives :

- L'adhésion, c'est à dire la fixation des antigènes liés ou non à des anticorps, sur les récepteurs membranaires non spécifiques.
- L'ingestion par endocytose : Formation de vésicules contenant l'antigène.
- La digestion sous l'action des enzymes contenus dans les lysosomes.
- Le rejet des déchets par exocytose de la vésicule remplie des déchets à l'extérieur de la cellule.

3. Les conséquences de la réaction inflammatoire.

3.1. Les effets positifs de cette réaction inflammatoire.

Cette réaction inflammatoire rapide peut suffire à empêcher la prolifération de l'agent étranger. Si cette réaction ne suffit pas, la réponse immunitaire adaptative est alors induite.

La dégradation de l'antigène par les cellules phagocytaires est plus ou moins totale : elle aboutit soit à la libération des produits de dégradation, soit à de petits peptides, appelés **déterminants antigéniques**. Ceux-ci se retrouvent associés à des molécules du CMH (**Complexe Majeur d'Histocompatibilité**) à la surface des macrophages ou des cellules dendritiques, qui deviennent des **Cellules Présentatrices d'Antigène (C.P.A)**. L'immunité adaptative peut alors être mise en jeu.

Les cellules dendritiques migrent ensuite vers les **ganglions lymphatiques** les plus proches amorçant ainsi la **réponse immunitaire adaptative** par l'intermédiaire des lymphocytes.

3.2. Les dysfonctionnements possibles

Suite à une grande dissémination de bactéries, une grande quantité de cytokines inflammatoires peut être sécrétée : la réponse inflammatoire devient trop importante et un choc septique peut se produire. Il est caractérisé par de la fièvre, une insuffisance circulatoire (due à une diminution du volume sanguin disponible) avec une accélération des rythmes cardiaque et ventilatoire.

La réponse inflammatoire peut aussi devenir chronique (allergies, maladies auto-immunes), ce qui peut aboutir à la destruction des tissus inflammés et la lésion des organes concernés.

3.3. Soulager la douleur par l'usage des anti-inflammatoires

Pour soulager la douleur, des antalgiques peuvent être prescrits (ils ciblent les médiateurs à l'origine de la douleur) tels que le paracétamol.

Les médecins peuvent prescrire des médicaments anti-inflammatoires de deux types :

- des corticostéroïdes qui entraînent une diminution du nombre et de l'activité des cellules immunitaires en empêchant la synthèse des cytokines.
- des anti-inflammatoires non stéroïdiens (ex : aspirine) qui réduisent la douleur et l'inflammation en inhibant la production de prostaglandines.

Cependant, l'action des anti-inflammatoires ne perturbe pas l'action des cellules phagocytaires et n'empêche donc pas le processus de guérison.

Bilan : La réponse immunitaire, dans ses aspects non spécifiques, peut avoir lieu dans tout l'organisme ; elle est caractérisée par la phagocytose de tout élément étranger et son élimination ; elle permet d'induire la réponse immunitaire adaptative.

But : on cherche à comprendre ce qui se passe lors de la réaction immunitaire spécifique.

La réaction immunitaire spécifique n'intervient qu'après reconnaissance de l'antigène par les récepteurs spécifiques des lymphocytes B ou T, généralement au niveau des organes lymphoïdes périphériques. Deux types de réponses coexistent : la réponse à médiation humorale et la réponse à médiation cellulaire.

Problème : Comment se réalisent les réponses immunitaires spécifiques à médiation humorale et à médiation cellulaire ?

1. La réponse à médiation humorale.

Prépondérante dans l'élimination des bactéries, elle est effectuée par les anticorps circulants qui se lient spécifiquement aux antigènes et les neutralisent sous forme de complexes immuns (complexe antigène / anticorps).

1.1. La sélection clonale.

Au cours de la phase d'induction, il existe une coopération cellulaire qui aboutit à la sélection de clones de lymphocytes spécifiques des antigènes au sein du répertoire immunologique.

- Les lymphocytes B sont sélectionnés directement par les antigènes qui leurs sont spécifiques. Dès que leurs récepteurs sont liés à l'antigène, ils synthétisent des récepteurs à l'interleukine 2.
- Les lymphocytes TCD4 sont sélectionnés par les antigènes présentés par les cellules présentatrices d'antigènes (CPA) (macrophage, dendrocyte). Ils deviennent des lymphocytes T auxiliaires et synthétisent aussi des récepteurs à l'interleukine 2, ainsi que de l'interleukine 2.

1.2. L'amplification et la différenciation.

Sous la double stimulation du contact cellulaire et des interleukines 2, les lymphocytes sélectionnés prolifèrent par mitoses et se différencient en cellules effectrices.

La différenciation des lymphocytes B en plasmocytes est caractérisée par l'acquisition du pouvoir de sécréter des anticorps circulant dans le plasma. Les anticorps sécrétés expriment la même spécificité que les anticorps membranaires (récepteurs) du clone de LB sélectionné.

1.3. L'élimination de l'antigène.

Au cours de la phase effectrice, les anticorps neutralisent les antigènes et contribuent ainsi à maintenir l'intégrité de l'organisme. La formation du complexe immunitaire permet l'activation du complément, ensemble de protéines enzymatiques non spécifiques qui participent à la destruction de l'antigène. Les débris provenant de la destruction de l'Ag sont ensuite éliminés par phagocytose grâce à des macrophages, cette phagocytose est facilitée par la présence d'anticorps sur l'antigène.

2. La réponse à médiation cellulaire.

Prépondérante dans l'élimination des antigènes intracellulaires (cellules infectées par un virus par exemple) est effectuée par les LT cytotoxiques qui, après contact cellulaire et double reconnaissance lysent les cellules cibles. Elle se déroule aussi selon les mêmes étapes.

2.1. La sélection clonale.

Comme pour les lymphocytes B, il y a une coopération cellulaire qui aboutit à la sélection de clones de lymphocytes spécifiques.

- Les lymphocytes TCD8 sont sélectionnés par les antigènes présentés par toutes les cellules de l'organisme ayant été infectées par le virus. Ils synthétisent des récepteurs à l'IL2.
- Les lymphocytes TCD4 sont sélectionnés par les antigènes présentés par les CPA. Ils deviennent des lymphocytes T auxiliaires et synthétisent aussi des récepteurs à l'IL2, ainsi que de l'IL2.

2.2. L'amplification et la différenciation.

Après l'activation, les Lymphocytes TCD8 sont appelés lymphocytes T cytotoxiques : Ils ont acquis une action lytique. Ils sont capables de synthétiser des molécules de perforine qui, en s'associant dans la membrane de la cellule à détruire, la perforent et entraînent la lyse de la cellule.

2.3. L'élimination des antigènes.

Au cours de la phase effectrice, les lymphocytes T cytotoxiques détruisent les cellules infectées par le virus. Les restes de ces cellules sont phagocytés.

But : on cherche à comprendre comment évolue le phénotype immunitaire au cours de la vie et la façon dont agit la vaccination.

Problème : En quoi la vaccination permet-elle de faire évoluer le phénotype immunitaire ?

1. La mémoire immunitaire.

1.1. Diversité des clones de LT et de LB.

Le système immunitaire est capable de reconnaître un nombre illimité d'antigènes grâce aux récepteurs présents sur les LT et les LB. Cette diversité résulte de l'expression des gènes situés sur des chromosomes différents et qui se recombinent de façon très variable lors de la maturation d'un lymphocyte. Lorsque la maturation est achevée, le lymphocyte n'exprime qu'une seule variété de récepteurs. C'est un lymphocyte naïf. L'organisme produit des lymphocytes naïfs tout au long de sa vie et surtout pendant l'enfance.

Les lymphocytes qui exprimeraient un récepteur capable de reconnaître les propres éléments de l'organisme (auto-réactifs) sont éliminés car ils seraient une menace pour l'organisme.

1.2. Le phénotype immunitaire.

Le phénotype immunitaire correspond à l'ensemble des lymphocytes que possède l'individu à un moment donné. Il change naturellement en fonction des expositions aux différents antigènes rencontrés ou artificiellement grâce à la vaccination. Le pool de lymphocytes mémoires augmente tout au long de la vie.

2. La stratégie vaccinale.

2.1. La vaccination.

On a constaté que lorsqu'une personne guérit d'une infection virale ou bactérienne, elle est immunisée contre cet antigène et les symptômes de la maladie n'apparaissent pas lors d'un second contact avec celle-ci. Lors du premier contact la réaction primaire est lente, peu intense et peu durable. Lors du second contact, la réaction secondaire est plus rapide et plus intense. Grâce aux « lymphocytes mémoires » immédiatement mobilisables, un second contact avec le même antigène déclenche une réponse secondaire plus rapide et donc plus efficace que la réponse primaire.

Le vaccin consiste en une injection de produits immunogènes non pathogènes (particules virales, virus atténués) La vaccination induit une réponse immunitaire secondaire qui empêche la prolifération d'un agent infectieux bactérien ou viral ayant pénétré dans l'organisme.

La vaccination conduit à l'acquisition d'une immunité cellulaire humorale ou mixte. Des LB ou T a durée de vie très longue sont produits : Ce sont des lymphocytes mémoires. Ils sont responsables de la rapidité et de l'efficacité de la réponse secondaire qui survient lors de la seconde présentation de l'antigène.

2.2. Le rôle des adjuvants.

Un adjuvant vaccinal est constitué de toutes substances qui augmentent le pouvoir immunogène des antigènes dans un vaccin. Les adjuvants sont utilisés en général pour les vaccins qui ne sont pas naturellement assez immunogènes et aussi pour les vaccins pandémiques.

2.3. Le double intérêt de la vaccination.

La vaccination permet à la fois de nous protéger individuellement contre des infections dangereuses, et elle assure une protection collective en contribuant à éliminer certaines maladies.

Bilan :

Le phénotype immunitaire est constitué du répertoire de toutes les cellules immunitaires. Il est défini à partir de réarrangements aléatoires des gènes morcelés des récepteurs T des LT et des anticorps membranaires des LB. Il est modifié naturellement à chaque fois que l'organisme rencontre un nouvel élément étranger et artificiellement à chaque vaccination par l'augmentation des lymphocytes mémoires.

But : On cherche à comprendre ce qu'est le réflexe myotatique et à déterminer les structures qui sont impliquées dans sa réalisation.

1. Le réflexe de posture

1.1. Le tonus musculaire et la posture.

Le squelette est constitué d'os longs, d'une colonne vertébrale et de nombreuses articulations. Les os sont attachés les uns aux autres par des ligaments, et sont mis en mouvement par les muscles auxquels ils sont attachés par des tendons.

La posture du corps est sa position dans l'espace. Elle est soumise à la gravité à laquelle le corps résiste. Le maintien de la posture est possible grâce à l'activité coordonnée des muscles extenseurs et fléchisseurs. Ils sont en état de tension permanente appelée tonus musculaire. Cet état de contraction ne produit aucun mouvement mais permet de stabiliser la posture. Il permet également aux muscles de répondre rapidement à une commande qu'elle soit réflexe ou volontaire.

Dans les cas de dysfonctionnement du système nerveux, le tonus peut être anormalement faible (hypotonie) ou élevé (hypertonie).

1.2. Le tonus musculaire et le réflexe myotatique

Le réflexe myotatique est la contraction du muscle en réponse à son propre étirement. Ces contractions sont involontaires, stéréotypées et innées. Le tonus musculaire est la résultante de nombreux réflexes myotatiques.

Les réflexes achilléen et rotulien sont dus à un étirement bref du tendon et donc du muscle. La réponse est une contraction brève du muscle. Le tonus musculaire, lui, est dû à un étirement permanent : la contraction se maintient tout le temps de l'étirement.

Le test du réflexe rotulien pratiqué par le médecin lui fournit des indications sur le développement du système nerveux.

2. Les structures impliquées dans la contraction réflexe

2.1. Mise en évidence des structures mises en jeu

Le réflexe myotatique est la réponse du muscle à son propre étirement. Les muscles antagonistes ont une activité coordonnée pour permettre le déplacement de l'os.

Ainsi un mouvement d'extension est permis quand les muscles extenseurs se contractent tandis que les muscles fléchisseurs sont relâchés.

La réponse musculaire est déclenchée par un stimulus. Ce stimulus est l'étirement du muscle provoqué par le choc au niveau des tendons. Il est détecté par des structures particulières : **les fuseaux neuro-musculaires** qui émettent alors un message nerveux.

Les **fibres nerveuses sensitives**, situées dans un nerf rachidien, conduisent le message nerveux sensitif vers le centre nerveux constitué par la **moelle épinière**. Après traitement de l'information nerveuse sensitive, elle élabore un message nerveux moteur.

Les **fibres nerveuses motrices** situées dans le nerf rachidien acheminent le message nerveux moteur jusqu'aux effecteurs constituées par les **fibres musculaires** qui y répondent en se contractant.

L'ensemble constitue un **arc réflexe**.

2.2. Les structures responsables de la conduction du message nerveux.

a. Les cellules

Tout neurone comporte un corps cellulaire avec noyau et deux types de prolongements cytoplasmiques (ou fibres nerveuses) : axone et dendrites. Les dendrites collectent les informations sensitives et les conduisent vers le corps cellulaire, tandis que l'axone conduit le message nerveux du corps cellulaire vers d'autres cellules.

Les neurones sensitifs relient les fuseaux neuro-musculaires à la moelle épinière et les motoneurons (ou neurone moteurs) relient la moelle épinière aux fibres musculaires effectrices.

Le corps cellulaire du neurone sensitif est situé dans un ganglion rachidien, au niveau de la racine dorsale de la moelle épinière.

Le corps cellulaire du motoneurone est situé dans la partie antérieure de la substance grise de la moelle épinière.

b. Le transport du message

Le message nerveux en provenance d'un fuseau neuromusculaire emprunte la dendrite d'un neurone sensitif dont l'axone transmet le message nerveux à un motoneurone.

L'axone du motoneurone, qui emprunte la racine ventrale du nerf rachidien, véhicule le message nerveux moteur jusqu'aux fibres musculaires.

Dans la moelle épinière, au niveau de la substance grise, la jonction entre le neurone sensitif et le motoneurone se fait par le biais d'une seule synapse neuro-neuronique. On parle d'arc réflexe mono-synaptique.

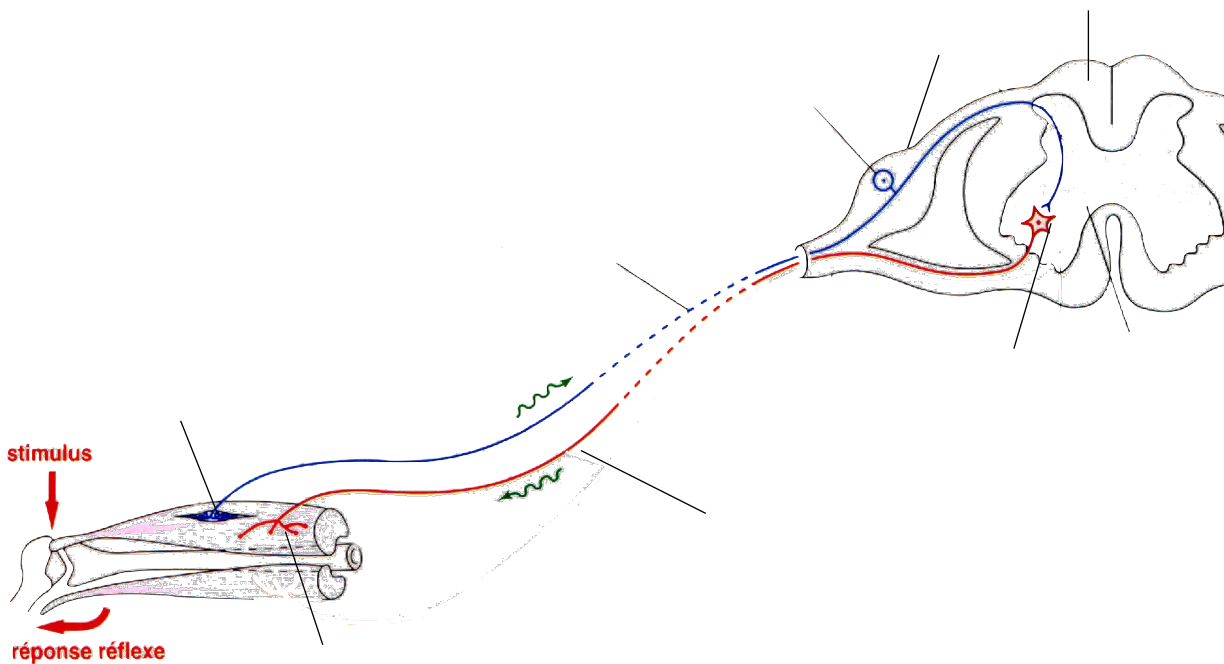
La jonction entre la terminaison axonique du motoneurone et la fibre musculaire est assurée par une synapse neuromusculaire ou plaque motrice.

(Pour aller plus loin : Un interneurone inhibiteur assure la décontraction du muscle antagoniste. le message suit alors une voie bi-synaptique)

Bilan :

Le réflexe myotatique met en jeu des récepteurs sensoriels (fuseaux neuromusculaires) des voies nerveuses sensibles et motrices, un centre nerveux central (moelle épinière) et des effecteurs (les muscles antagonistes). L'ensemble formant un arc réflexe.

La conduction du message nerveux se fait par l'intermédiaire de cellules spécialisées, polarisées et excitables : les neurones. Le message du réflexe myotatique suit une voie mono-synaptique.



But : On cherche à comprendre ce qu'est un message nerveux et comment il se propage.

1. Nature et propagation du message nerveux

1.1. Le message au niveau d'un neurone

a. Le potentiel de repos

En dehors de toute stimulation, la membrane d'un neurone est polarisée. C'est-à-dire qu'elle possède une différence de charge électrique entre l'intérieur et l'extérieur. Le côté intérieur est électronégatif par rapport à l'extérieur. Cette différence de polarisation, estimée à 70 mV, est nommée **potentiel de repos** ou **potentiel de membrane**.

b. Le potentiel d'action

Lors d'une stimulation du neurone, une modification soudaine du potentiel de repos apparaît. Après une inversion brutale de la polarisation membranaire, la membrane se repolarise très rapidement. Cet événement, appelé potentiel d'action, est très bref et il se propage le long de la fibre nerveuse.

Il existe une intensité seuil nécessaire pour provoquer une réponse. La réponse, sous forme de potentiel d'action, est d'emblée maximale. Donc soit le stimulus déclenche une réponse, soit il n'en déclenche pas. Ce phénomène est qualifié de "tout ou rien".

Quelque soit l'intensité de la stimulation du neurone, l'amplitude des potentiels d'action ne varie pas.

Le message nerveux est constitué d'une série de potentiels d'action qui se propagent de proche en proche le long de la fibre nerveuse (vitesse voisine de 100 m/s pour l'axone d'un motoneurone). La fréquence des potentiels varie en fonction de l'intensité de la stimulation.

La vitesse des potentiels d'actions est variable d'une fibre à l'autre de moins de 1 m.s⁻¹ à plus de 100 m.s⁻¹. La vitesse dépend de la taille des neurones (les fibres les plus grosses sont les plus rapides) et de la présence d'une gaine de myéline qui accélère la propagation.

1.2. Le message nerveux au niveau d'un nerf.

Un nerf est composé d'un ensemble de fibres nerveuses dont les diamètres sont variables. C'est le recrutement d'un nombre plus ou moins important de fibres nerveuses qui fait varier l'amplitude de la réponse du nerf au stimulus. On parle alors de potentiel global.

Pour qu'un message nerveux apparaisse sur un nerf, la stimulation doit être supérieure à une valeur dite intensité seuil ou seuil de stimulation. Une fois l'intensité seuil atteinte, toutes les stimulations supérieures, dites stimulations supraliminaires, sont efficaces et déclenchent un potentiel global.

L'augmentation de la stimulation augmente l'amplitude de la réponse du nerf en recrutant un plus grand nombre de neurones actifs à un moment donné.

2. Mécanisme de transmission du message nerveux au niveau des synapses.

Qu'il s'agisse d'une synapse neuro-neuronique ou d'une synapse neuromusculaire, la transmission du message s'effectue par le biais d'une substance chimique (neurotransmetteur). Au niveau d'une synapse, l'intensité du message est codée par la concentration en neuromédiateur (codage chimique en concentration)

2.1. La synapse

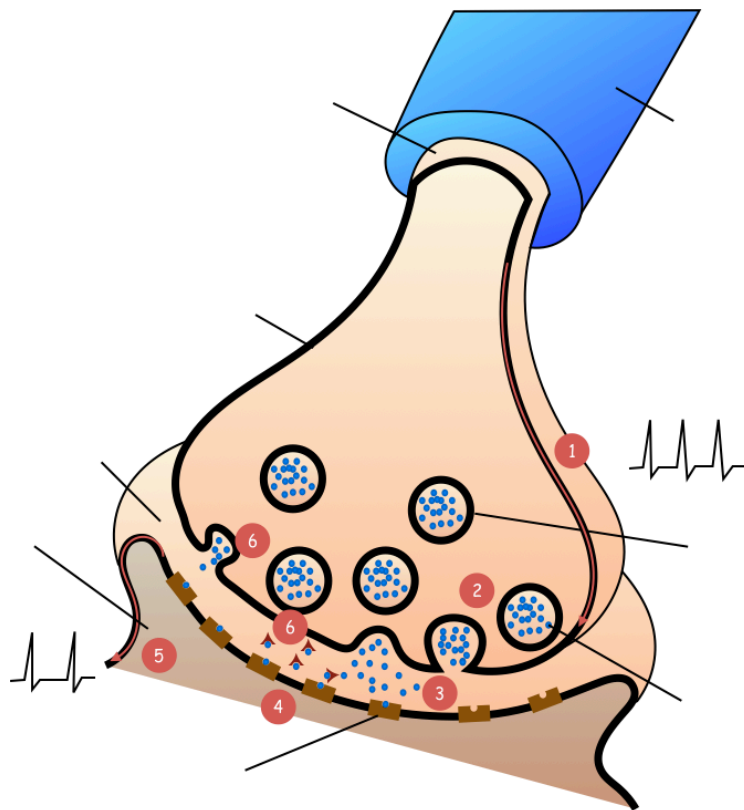
Les neurones communiquent entre eux ou avec des cellules effectrices (les cellules musculaires) grâce à des synapses. L'existence de l'espace intersynaptique, ou fente synaptique, interrompt la propagation des potentiels d'action.

En général, les cellules sont espacées de 20 à 50 nm. La communication devient alors chimique

2.2. Le fonctionnement des synapses

Le message franchit les synapses dans un seul sens, de manière relativement lente (le délai synaptique est de l'ordre de 0,5 ms, soit une vitesse de 0,1 mm.s⁻¹). Il est unidirectionnel.

Au niveau de la synapse, ce sont des molécules qui assurent la transmission du message : les **neurotransmetteurs**. Ils sont localisés dans des vésicules de la cellule pré-synaptique : la transmission ne peut donc avoir lieu que dans un seul sens, de la cellule pré-synaptique vers la cellule post-synaptique.



L'arrivée de potentiels d'action déclenche la libération des neurotransmetteurs dans la fente synaptique par exocytose (fusion d'une vésicule avec la membrane plasmique puis excrétion de son contenu dans le milieu extracellulaire). Le neurotransmetteur se lie à des récepteurs spécifiques présents sur la membrane post-synaptique. L'activation de ces récepteurs peut déclencher un nouveau message sur la cellule. La quantité de neuromédiateurs libérés dépend de la fréquence des potentiels d'action. L'inactivation rapide du neurotransmetteur dans la fente synaptique et sa recapture par la terminaison pré-synaptique interrompt la transmission synaptique.

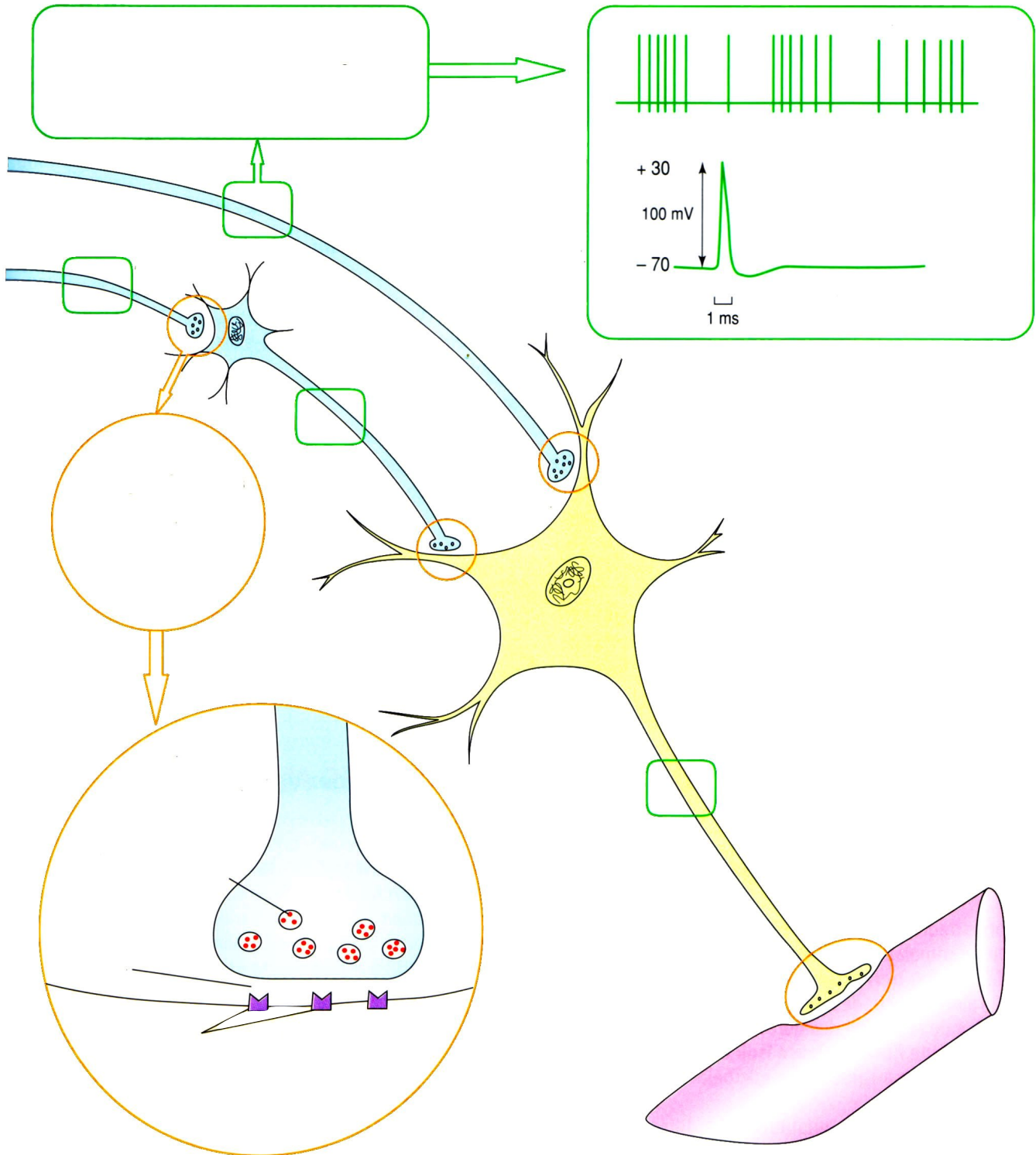
Des molécules mimant la forme des neurotransmetteur peuvent modifier le fonctionnement de ces synapses.

2.3. Intégration des messages par les neurones.

Toutes les synapses ont le même principe de fonctionnement mais vont avoir une action différente selon le type de neurotransmetteur qu'elles libèrent : certaines synapses sont excitatrices (elles ont tendance à provoquer un nouveau message sur le neurone post-synaptique), d'autres sont inhibitrices (elles ont tendance à empêcher l'émission de nouveaux potentiels d'action).

Chaque neurone est relié à de nombreux autres neurones, de nombreuses synapses excitatrices ou inhibitrices peuvent lui transmettre en même temps de nombreux messages. Le corps cellulaire de ce neurone intègre ces informations contradictoires et en fait un nouveau message. C'est la **fonction intégratrice** des neurones.

BILAN : Les neurones transportent les messages nerveux sous forme de potentiels d'action qui se propagent sans transformation le long de la fibre nerveuse. C'est la variation de leur fréquence qui code les différents messages. Ceux-ci sont transmis de neurones à neurones grâce aux synapses, dans lesquelles les messages bioélectriques sont transmis à l'aide de messagers chimiques.



But : On cherche à comprendre ce qu'est la motricité volontaire, comment fonctionne le cerveau et comment il s'adapte à l'entraînement.

Dans les premiers jours le bébé perd son réflexe de marche automatique pour acquérir progressivement une marche volontaire.

1. De la volonté au mouvement.

1.1. Des aires cérébrales spécialisées.

L'exploration du cortex cérébral d'un sujet est permise grâce à l'imagerie médicale. L'IRM, Imagerie par Résonance Magnétique permet la visualisation de l'organisation du cerveau et l'IRM fonctionnelle permet de visualiser les variations de l'activité du cerveau.

On constate que lors d'une activité précise des territoires cérébraux sont systématiquement activés. On a pu définir les rôles des différentes parties du cerveau :

- Les aires motrices primaires, situées au niveau du cortex moteur, commandent directement les mouvements. Leur cartographie montre que chaque partie du corps est associée à une zone du cortex et plus la mobilité est importante plus la surface associée de l'aire motrice sera importante. C'est l'homunculus.
- D'autres aires comme les aires pré-motrices ou des territoires situés plus en profondeur sont aussi actives. Les voies motrices sont croisées, c'est l'hémisphère cérébral droit qui contrôle la partie gauche du corps et inversement.

La planification d'une commande volontaire se fait dans le lobe frontal. Les neurones activent le cortex moteur qui, avec l'aide des autres zones du cerveau (cortex visuel par exemple) détermine la trajectoire nécessaire. Le cortex moteur active l'aire pré-motrice qui, elle, commande au cortex moteur primaire dont les neurones stimulent les neurones moteurs de la moelle épinière. Il y a donc une coordination des différentes zones du cerveau.

1.2. Le rôle intégrateur des neurones.

Les motoneurones innervant les fibres musculaires reçoivent à la fois des messages provenant du réflexe myotatique et des messages provenant de la motricité volontaire.

Le neurone fait la sommation des synapses : synapses excitatrices et inhibitrices et déclenche la création ou non d'un message nerveux moteur en fonction des conditions.

De plus, l'excitation d'un neurone cortical unique donne naissance à un mouvement caractéristique d'une partie du corps plutôt qu'à la contraction d'un muscle particulier, car les ramifications de ce neurone ont des relations non seulement avec les muscles agonistes (ceux entrant dans la réalisation du mouvement) mais également avec les muscles antagonistes.

1.3. Voies motrices et dysfonctionnements musculaires.

Rappels détermination d'un AVC (sourire, tirer la langue, lever les deux bras, répéter une phrase simple. Si anomalies → urgences rapidement).

Les messages nerveux partent du cerveau, cheminent par des faisceaux de neurones qui descendent dans la moelle épinière. Un AVC peut alors en touchant une partie de l'aire motrice entraîner une paralysie. Si cette paralysie touche un seul côté du corps, on parle alors d'hémiplégie.

Des lésions accidentelles de la moelle épinière peuvent, elles aussi, entraîner des paralysies pouvant aller jusqu'à la paraplégie si les membres inférieurs sont touchés et à la tétraplégie quand la lésion se trouve au-dessus des membres supérieurs.

2. La plasticité cérébrale.

2.1. La mise en place du cortex cérébral.

Le système nerveux central se met en place dans la seconde moitié du premier trimestre de gestation. Pendant toute la grossesse, la neuro-plasticité est importante et le développement est très sensible aux conditions du milieu (toxines, malnutrition, accidents).

La masse du cerveau quadruple de la naissance à l'âge adulte sous l'effet conjugué d'une augmentation du nombre de neurones, de leur taille et du nombre de connexions nerveuses.

2.2. Modifications du cortex moteur

a. L'apprentissage

Même si les aires motrices se trouvent au même endroit chez tous, des différences individuelles se mettent en place au cours du développement cérébral sous l'effet de l'apprentissage et de l'entraînement.

L'apprentissage permet l'extension de l'aire corticale correspondante : Des neurones qui n'étaient pas concernés par cette activité le sont devenus par création de nouvelles synapses ou adaptation des synapses existantes.

b. La récupération fonctionnelle

Même si les lésions cérébrales sont irréversibles, la plasticité du cerveau permet après une rééducation une récupération plus ou moins importante selon les individus. Ces variations individuelles sont déterminées par plusieurs facteurs : la nature de la lésion, la motivation personnelle, l'hygiène de vie, les médicaments...

L'âge est aussi un facteur déterminant : les capacités de remaniement se réduisent tout au long de la vie ainsi que le nombre de neurones mais leurs effets ne sont visibles qu'à partir de 80 ans environ.

Bilan : Le système nerveux gère à la fois les réflexes via la moelle épinière et les commandes volontaires via le cortex. La plasticité cérébrale est la capacité du cerveau à modifier les connexions synaptiques entre ses neurones, à en activer ou même à en supprimer certaines. Elle permet mémoire et apprentissage et intervient également dans les processus de récupération après une lésion. Elle dépend de l'environnement (entraînement) et permet de s'y adapter.