

SCIENCES SUP

Cours

Licence 3^e année • Master • CAPES • Agrégation

NEUROPHYSIOLOGIE

Organisation et fonctionnement
du système nerveux

3^e édition

Daniel Richard
Didier Orsal

DUNOD

Table des matières

Avant-propos	15
Chapitre 1 – La construction du système nerveux	17
1. Les grandes étapes de la neurogenèse	17
2. Les principales structures du système nerveux central	22
2.1. La moelle épinière	23
2.2. Le myélocéphale	23
2.3. Le métencéphale	23
2.4. Le mésencéphale	24
2.5. Le diencéphale	25
2.6. Le télencéphale	26
3. Les mécanismes de la neurogenèse	28
3.1. L'induction nerveuse	29
<i>L'induction de la plaque neurale</i>	29
<i>La différenciation régionale de la plaque neurale</i>	30
3.2. Les divisions cellulaires	30
3.3. Les migrations cellulaires	31
3.4. Les adhérences cellulaires	33
3.5. Les différenciations cellulaires	34
<i>La croissance de l'axone</i>	34
<i>Le guidage de l'axone en croissance</i>	35
<i>Un exemple de maturation, le choix du neurotransmetteur</i>	37
3.6. La mort neuronale programmée	38
Encart : Apoptose	39
3.7. La synaptogenèse	41
<i>Maturation de l'arborisation terminale</i>	41
<i>Maturation de la cellule cible</i>	42
<i>Rôle de l'hyperexcitabilité dans le processus de synaptogenèse</i>	45
<i>Un schéma des processus d'innervation des fibres vasculaires</i>	45
3.8. Les régressions synaptiques	46
4. Propriétés anatomiques et fonctionnelles des neurones et des cellules gliales	47
4.1. Anatomie du neurone	47
<i>Le corps cellulaire</i>	48
<i>Les prolongements cellulaires, dendrites et axones</i>	49
4.2. Les cellules gliales participent à la physiologie des neurones	52
<i>Les astrocytes</i>	52
<i>Les oligodendrocytes</i>	54
<i>La microglie</i>	55
<i>Cellules de Schwann</i>	56
5. Le neurone, comme toute cellule vivante, génère une ddp transmembranaire	57
5.1. La membrane du neurone, comme celle de toutes les cellules,	
possède des propriétés électriques	58
<i>Les propriétés électriques de la membrane plasmique</i>	58
<i>Réponse locale et constante de temps</i>	59
<i>Réponse propagée et constante d'espace</i>	59
Encart : Mouvements ioniques et membrane semi-perméable	60

5.2. Au repos, la membrane est traversée par des flux ioniques	
<i>Des flux ioniques passifs traversent la membrane en fonction de leur gradient électrochimique</i>	64
Encart : Les protéines canal	65
<i>Les transports actifs de Na⁺ et de K⁺ permettent de maintenir constantes les compositions ioniques des milieux intra- et extra-cellulaires et génèrent la ddp transmembranaire</i>	65
Chapitre 2 – Les neurones sont spécialisés dans la communication cellulaire	70
1. Quelques aspects théoriques du fonctionnement des systèmes biologiques	75
1.1. Théorie de l'information et fonctionnement du système nerveux	75
<i>Concept général de la théorie de l'information</i>	75
1.2. Les systèmes biologiques possèdent un « gain » et une bande passante	75
<i>Les systèmes biologiques fonctionnent entre un minimum et un maximum</i>	75
Encart : La théorie de l'information	77
<i>Vers un compromis entre pente et bande passante</i>	77
1.3. Les seconds messagers intracellulaires ont pour effet d'amplifier l'action des neuromédiateurs ou des hormones	80
2. Les neurones utilisent l'énergie du potentiel de repos pour coder et véhiculer des informations	80
2.1. Mise en évidence du potentiel d'action sodique	81
2.2. Les courants ioniques du potentiel d'action sodique	82
Encart : Les canaux trans-membranaires à ouverture contrôlée	82
2.3. Le potentiel d'action est régénéré de proche en proche le long de la membrane	90
2.4. Le gradient calcique permet l'utilisation du calcium en tant que second messenger	93
Encart : Diamètres des fibres et vitesse de conduction	95
2.5. Il existe plusieurs types de canaux sensibles à la tension	96
3. La communication entre deux cellules excitables se fait par des synapses	98
3.1. La transmission synaptique est effectuée par un intermédiaire chimique	99
3.2. L'anatomie des synapses est caractéristique	99
<i>Organisation générale d'une synapse</i>	102
<i>Il existe de nombreux types anatomiques et fonctionnels de synapses</i>	102
Encart : Les synapses à ruban	103
3.3. Le neuromédiateur est libéré sous l'effet de l'activité électrique présynaptique	104
3.4. Le neuromédiateur agit soit directement sur une protéine canal, soit par l'intermédiaire de messagers intracellulaires	107
Encart : Mesure du calcium intracellulaire par fluorimétrie	111
3.5. Le neuromédiateur est rapidement inactivé	112
Encart : Seconds messagers des neuromédiateurs	114
3.6. Le système nerveux utilise de nombreux neuromédiateurs	116
<i>L'acétylcholine</i>	119
<i>Les amines</i>	120
<i>Les acides aminés</i>	125
Encart : Les récepteurs adrénergiques	127
<i>Les peptides</i>	128
3.7. Les connexions synaptiques se modifient en permanence	131
<i>Sensibilisation</i>	133
<i>Potentialisation à long terme</i>	134
<i>Dépression à long terme</i>	135
4. L'information est intégrée de façon électrique au niveau des neurones	140
4.1. Le segment initial de l'axone correspond au point d'initiation du « potentiel d'action »	142
4.2. Deux exemples d'intégration cellulaire	143
<i>Les synapses inhibitrices agissent en « court-circuitant » les lignes de courant membranaires</i>	145
<i>La morphologie des neurones joue un rôle essentiel dans l'intégration des informations</i>	146
	148

Chapitre 3 – Principes généraux de fonctionnement des systèmes sensoriels	153
1. Physiologie générale des systèmes sensoriels	153
1.1. Les principales modalités sensorielles	154
1.2. Un stimulus est caractérisé par son intensité, sa durée et sa localisation	156
<i>Seuil et intensité de la sensation</i>	156
<i>Dimension spatiale de la sensation</i>	156
Encart : La psychophysique s'attache à quantifier la sensation	157
<i>Les systèmes sensoriels sont des détecteurs de contraste</i>	159
<i>Dimension temporelle de la sensation</i>	161
2. L'information est codée au niveau des récepteurs	162
2.1. Le stimulus provoque la formation d'un potentiel de récepteur	162
2.2. Le potentiel de récepteur induit la formation de potentiels d'action	164
3. Codage de l'intensité, de la durée et de la localisation des stimulus	166
3.1. La majorité des récepteurs sensoriels présentent un phénomène d'adaptation	166
3.2. L'intensité d'une stimulation est codée, sur les fibres sensorielles, sous la forme d'une fréquence de potentiels d'action	168
3.3. Les voies afférentes véhiculent l'information sensorielle vers le système nerveux central	169
3.4. Chaque cellule sensorielle possède un champ récepteur	169
Chapitre 4 – La vision	171
1. Caractéristiques générales de la sensibilité visuelle	171
1.1. Les stimulus efficaces sont des ondes électromagnétiques	171
1.2. Seuils de sensibilité	172
<i>Seuil absolu</i>	172
<i>Seuil différentiel</i>	173
<i>Contrastes simultanés</i>	173
1.3. Le système visuel s'adapte aux intensités d'éclairement	173
1.4. Le champ visuel couvre un angle d'environ 180°	174
1.5. La résolution spatiale varie selon la région rétinienne stimulée	175
1.6. La résolution temporelle du système visuel est faible	175
1.7. Les longueurs d'onde sont interprétées en termes de couleurs	176
1.8. La vision de la profondeur est liée à la vision binoculaire	177
2. L'œil permet la formation des images sur la rétine	178
2.1. Structure de l'œil	178
2.2. L'accommodation permet de focaliser les images sur la rétine	179
2.3. La diaphragme limite l'intensité lumineuse pénétrant dans l'œil	180
2.4. La rétine est une portion du système nerveux central	180
<i>Organisation générale de la rétine</i>	180
<i>Différences fonctionnelles entre cônes et bâtonnets</i>	182
3. Codage et traitement de l'information visuelle	183
3.1. La transduction a lieu dans le segment externe des récepteurs	183
<i>La rhodopsine constitue le photopigment sur lequel agit la lumière</i>	183
<i>Au repos, il existe un courant d'obscurité qui est stoppé par la lumière</i>	185
Encart : Quelques particularités du système visuel	186
<i>Le GMPc commande l'ouverture des canaux sodiques du segment externe des récepteurs</i>	187
<i>Particularité du fonctionnement des cônes</i>	188
<i>Le calcium contrôle l'adaptation des récepteurs à la lumière</i>	188
3.2. Le traitement de l'information dans la rétine	189
<i>Les cellules bipolaires sont les premières cellules d'intégration</i>	190
<i>Les cellules ganglionnaires assurent le codage de l'information en fréquence</i>	193
3.3. Le traitement central de l'information visuelle	196
<i>Organisation fonctionnelle des voies de projection</i>	196

3^e édition

Daniel Richard
Didier Orsal

NEUROPHYSIOLOGIE

Organisation et fonctionnement du système nerveux

Les neurosciences se sont considérablement développées au cours de ces dernières décennies. Ce manuel de neurophysiologie tient compte de la pluridisciplinarité des neurosciences et tente de rapprocher les données obtenues en biologie moléculaire, anatomie, psychophysiologie et sciences de l'ingénieur.

Cette troisième édition a été profondément enrichie en fonction des données récentes de la biologie moléculaire et de la génétique. Les mécanismes moléculaires impliqués dans la transmission synaptique ou dans le codage de l'information sensorielle ont, en particulier, fait l'objet de nombreuses recherches ces dernières années dont les principaux résultats ont été intégrés. Abondamment illustré, complété par des encarts fournissant rappels, données complémentaires et indications utiles sur les techniques d'investigation, ce cours de Neurophysiologie reste donc l'outil de travail indispensable de l'étudiant.

Il s'adresse principalement aux étudiants en Licence 3 ou en Master, ainsi qu'aux candidats aux concours de recrutement de l'enseignement secondaire (Capes et Agrégation). Néanmoins, pour chaque notion abordée, les principes fondamentaux ont été résumés de façon à ce que cet ouvrage soit accessible aux étudiants en classes préparatoires BCPST ou en médecine.

DANIEL RICHARD
Ancien Professeur de
Biologie à l'IUFM
Midi-Pyrénées.

DIDIER ORSAL
Professeur de
Neurophysiologie
à l'université Paris 6
Pierre et Marie Curie.

MATHÉMATIQUES

PHYSIQUE

CHIMIE

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

INFORMATIQUE

SCIENCES DE LA VIE

SCIENCES DE LA TERRE



9 782100 513802

6494686

ISBN 978-2-10-051380-2



www.dunod.com

