

# C40

C 40/1

C 40/2

C 40/3

C 40/4

C 40/5

# Introduction

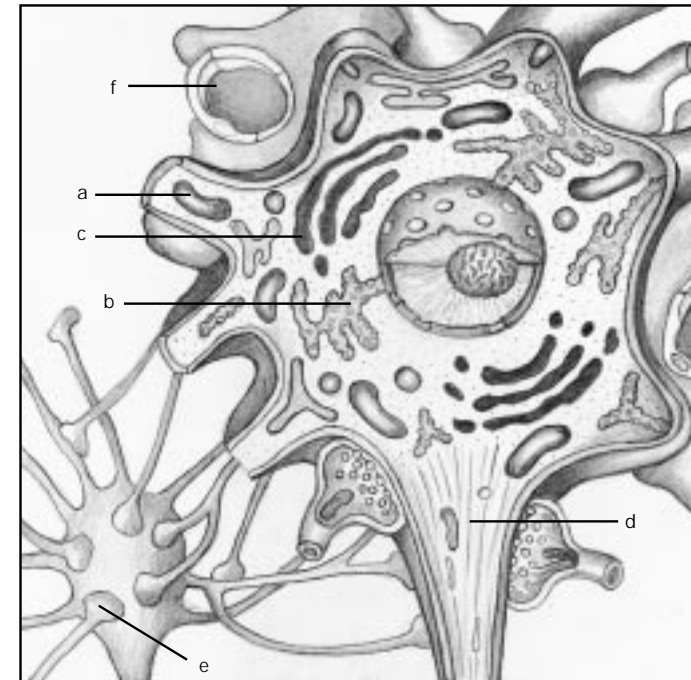
## Functional anatomy of the nerve cells

Nerve cells are the smallest independent units of the organs of the nervous system. A distinction is generally made between the central and the peripheral nervous system: the brain (cerebrum and cerebellum) and the spinal cord belong to the central nervous system. The peripheral nervous system consists of all nerve fibres of the periphery (e.g. in the skin, muscles and all visceral organs). A differentiation is made between the consciously (will or senses) accessible or somatic nervous system and the vegetative (autonomic) nervous system which automatically without voluntary access takes over control of the inner organs. The spinal cord uses reflex cycles to mediate between the periphery and the brain as well as to mediate for the vegetative and somatic nervous system.

The nervous system has many tasks ranging from impulse uptake (seeing, hearing, smelling, feeling, etc.) through transmission of impulse or information, information processing and storing to the answering of incoming information with corresponding patterns which result in voluntary movements. This variety also mirrors the shape and function of the individual nerve cells. The individual cell is an extremely varied, multifunctional structure with numerous special shapes. It is so highly specialized that it is not viable alone. It has even given up the ability to regenerate (which is still maintained in the skin cells, for example). This means that a nerve cell cannot be replaced adequately if it dies after the nerve tissue has developed fully. Only the peripheral nerve processes can regenerate at a growth rate of max. 1 mm/day.

The auxiliary cells (glial cells) must help the nerve cells to fulfil their metabolic and transport functions. The nerve cells themselves concentrate entirely on maintaining their extremely complicated structure, the most important factor being the surfaces, i.e. the membranes. This is because the membranes take on the main task of the nerve cell: the change from excitation and non-excitation of the membrane takes place here. This change can be determined by measuring tension (in mV). A differentiation is made between resting and action potential. The entire structure of the nerve cell and the glial cell is based on this function. Thus certain glial cells (astroglia) are specialized in the task of transporting substances from the capillaries (f in Fig. C40/1) in the direction of the nerve cell. Thus nothing uncontrolled comes from the very dense capillaries in the brain and spinal cord to the nerve cell. Other glial cells are specialized in surrounding the nerve cells with insulating shells (oligodendroglia in the central nervous system, C40/2, or Schwann glial cells in the peripheral nervous system, C40/3). Other glial cells surround the terminal cells of the nerve endings in the periphery (teloglia, b in Fig. C40/4).

## C40/1 Nerve cell

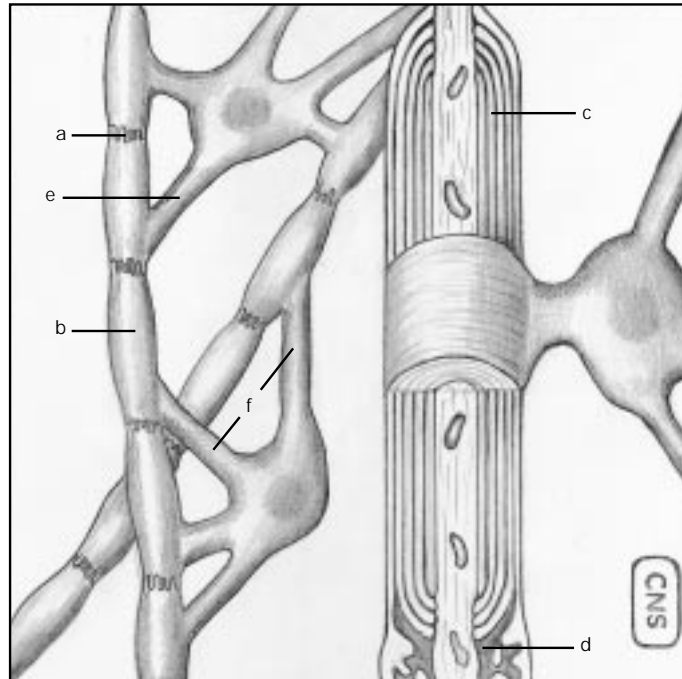


A nerve cell is divided into the central cell mass grouped around the nucleus (perikaryon) and the numerous nerve processes. The nerve processes are divided into dendrites, which transmit information to the perikaryon, and the neurite (only one present). This transmits the information to the next nerve cell.

If the perikaryon is observed (cut open in the figure), numerous characteristics may be recognized which are present in every mammalian cell: mitochondria (a), endoplasmic reticulum (b), Golgi's apparatus (c) and numerous fibrils of the cytoskeleton (d). Golgi's apparatus and the endoplasmic reticulum are particularly marked in the nerve cell as they are both involved in the production and renewal of the enormous membrane surface of the nerve cells. A well-structured fibre network, a subunit of the cell skeleton, may be found in the numerous branches. In addition, special formations of branches, i.e. numerous synapses (e), may be seen on the left-hand side of the figure.

## C40/2

### Myelin sheath of the central nervous system

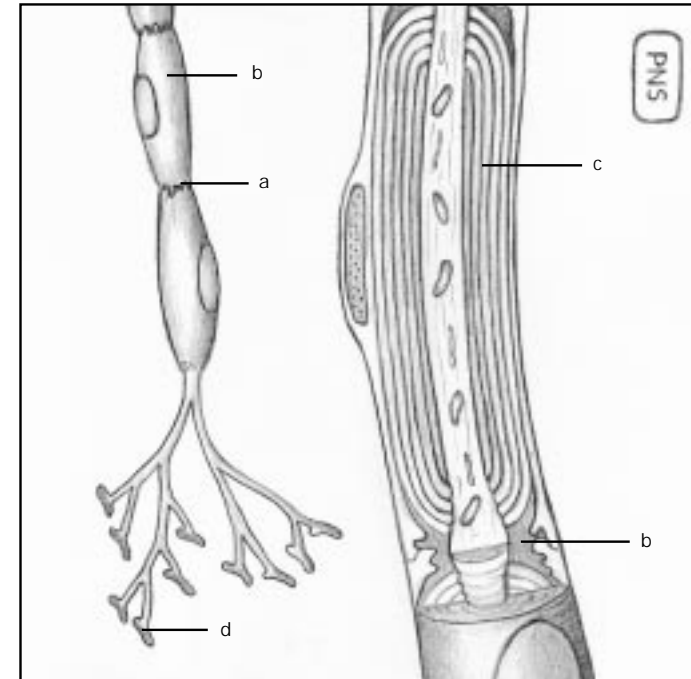


The membrane of the nerve cell is principally responsible for the spreading process of the nerve impulse. In addition, there is a connection between the thickness of the nerve process and the transmission speed. The thicker the nerve process, the greater the transmission speed. Without appropriate auxiliary cells (specialized glial cells), impulse transmission is continuous (only occurs in invertebrates or in thin fibres of the vegetative nervous system of vertebrates). In order to increase the transmission speed, nerve fibres with myelin sheaths form which are interrupted by what are known as constriction rings (a) (nodes of Ranvier) at intervals of 1 mm to 3 mm. This causes transmission of impulses to be accelerated considerably, without the diameter of the nerve process having to be increased greatly. The impulse jumps from constriction ring to constriction ring and transmission becomes faster. Insulation between the individual constriction rings (b) occurs using fat-containing substances (lipids, myelin, cephalin, phosphatides, lecithin, cerebrosides, etc.). A uniform layer of extremely thin lipid protein lamellae and the membrane of the glial cells (c) occurs. This spiral insulation is interrupted at the constriction rings (d).

In the central nervous system, the oligodendroglia take on the task of insulating the nerve processes. They are also important for the metabolism of the nerve cells. Characteristic for the oligodendroglia is that they can insulate several segments between the constrictions (interannular segments) at the same time (e) due to several star-shaped branches and they can also serve various nerve fibres (f).

## C40/3

### Glia of the peripheral nerve cells

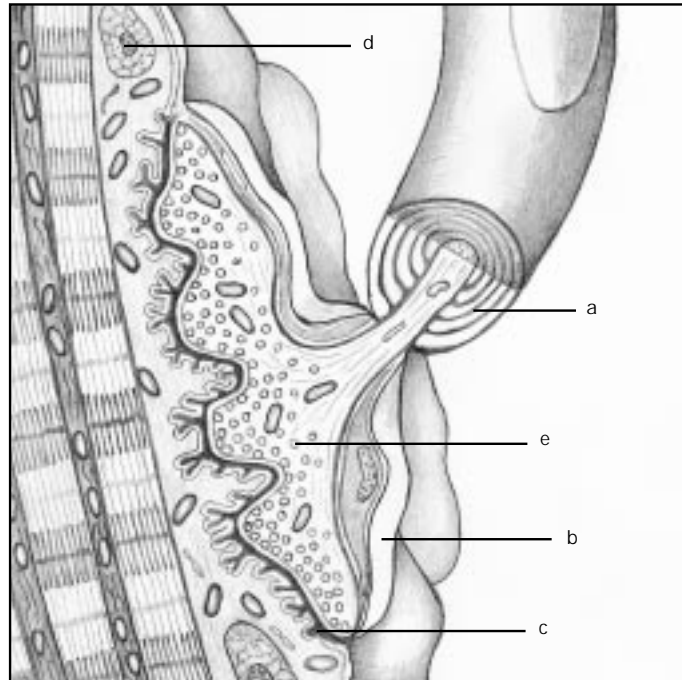


In the same manner as the oligodendroglia in the central nervous system, the Schwann cells in the peripheral nervous system form the myelin sheath to insulate the nerve process. In this case too, constrictions (a) and interannular segments (b) form. Characteristic for the glial cells of the peripheral nervous system is that each cell supplies only one interannular segment. Thus a change to another glial cell takes place during constriction. The structure made of myelin sheaths and membranes of the glial cells (c) is the same as that of the oligodendroglial cell. The change from an insulated proportion to a more or less free membrane means that the impulse jumps from constriction to constriction (saltatory impulse transmission). This causes a considerable increase in impulse transmission.

The subdivision of the nerve processes at the end of the peripheral nerves may be extremely varied. They can end freely in another tissue (free nerve endings) (d). They are often integrated into complicated endings of the end glia (teloglia), such as tactile corpuscles or other complicated sensory organs.

# C40/4

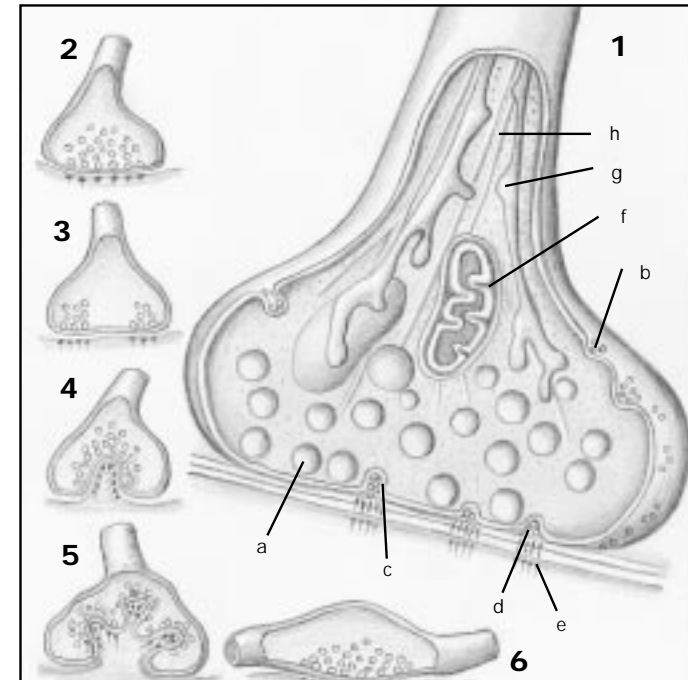
## Motor end plate



In the motor end plate, a special type of synapsis, impulses are transmitted from a nerve cell to a striated skeletal muscle fibre. Shortly before the motor end plate, the nerve process loses its myelin sheath (a) and is only sheathed by the glial cell itself (teloglia, b). The terminal section of the nerve cell widens at the contact point to the muscle fibre and reforms numerous synaptic vesicles, mitochondria and granula of various types. The terminal branches of the nerve process accumulate in the cell membrane, the muscle fibre (postsynaptic membrane) close to it. The membrane of the muscle cell forms an intensive folding apparatus towards the surface enlargement (c). A striking amount of nuclei of the muscle cell (d) are found in the cytoplasm of the muscle fibres, causing the end plate to bulge slightly. This leads to a huge contact point at which a single nerve impulse can trigger excitation of the muscle fibres. The synaptic vesicles (e) in the nerve endings contain the transmitter acetylcholine which docks at receptors of the postsynaptic membrane according to the mechanism in the synapses and from there causes renewed excitation of the muscle fibres.

# C40/5

## Synapse



A synapse is a contact structure specifically serving to transmit impulses and used for one nerve cell to "innervate" another (1). There are electrical and chemical synapses. Electrical synapses directly transmit the impulse to a neighbouring cell membrane (very rare in the human nervous system, between the hair cells of the inner ear or between the sensory cells of the retina) (Figures). In the case of chemical synapses, the nerve cell forms button-like swellings at its terminal branches (boutons, Fig. C40/1, e) which are specialized in information transfer. In the case of chemical synapses, the impulse is transmitted indirectly via certain chemical substances. The impulse, which is transmitted from the nerve cell along the cell membrane to the button-like swelling, is converted to a time-correlated release of transmitting substances which are encapsulated in vesicular structures (synaptic vesicles) (a). The nerve impulse, depolarization, temporarily opens tension-controlled calcium channels in the membrane which are in front of the actual transmission site. As calcium concentrations are always 1000 times greater outside than inside the cell, calcium flows into the nerve cell and the increasing calcium concentration triggers the release of vesicles with transmitting substances. The vesicles first fuse with the presynaptic membrane (c), the transmitters being released in the synaptic cleft (d) and finally taken up by the postsynaptic membrane. The transmitting substances bind to specific receptors (e) and open coupled channels which depolarize the membrane of the neighbouring cells in a limited area by the inflow of sodium ions. A chain reaction opens further neighbouring channels and a self-spreading depolarization occurs which spreads to the entire plasma membrane of the following cell.

# C40/5

## Synapse

After depolarization the transmitter substances either undergo degradation or they will be taken up again by the presynaptic button-like swelling (b).

As a synapse must often conduct this process in a very short time (several times per second), it is a site of high metabolic activity. Thus mitochondria (f) are found here, which display a high energy metabolism, as well as branches of the endoplasmic reticulum (g), a sign of high substance metabolism. The filaments of the cytoskeleton in the synapse (neurofilaments) (h) are guide structures for axonal transport which is used as a route for transmitters and membrane components from the perikaryon to the synapse.

A distinction is made between two types of synapses (Gray I and II), depending on the type of synaptic vesicles and the thickening of the presynaptic and postsynaptic membrane. Gray I synapses have light, round vesicles, a cleft measuring 30 nm in width and the postsynaptic membrane is thicker than the presynaptic one (2). Gray II synapses have a cleft measuring 20 nm in width and have narrow postsynaptic membrane thickening, several active fields often being located beside each other (3). Gray I type synapses are regarded as excitatory synapses, Gray II type as inhibitory synapses. Inhibitory synapses suppress the excitation readiness of a subsequent cell.

In addition to these basic types, there are special forms based on shape and fine differentiation of function: e.g. synapses with synaptic cords (4), complex synapses with cords (5). Nerve processes can form synapses when passing by ("en passant") (6). They either have the typical presynaptic and postsynaptic membranes or they have free endings (in the vegetative nervous system). They are no longer surrounded by glial cells on their outer end and give the transmitters to neighbouring cells over greater distances ("à distance"). The motor end plate is also a special form of synapse.

# Questions

**1. How many synapses may end on one nerve cell in the central nervous system?**

Up to 20,000

**2. How many nerve cells are there in the cerebrum and cerebellum?**

Approx.  $10^{12}$  -  $10^{14}$

**3. Which nerve cells are involved in the proprioceptive reflex?**

1) Cells whose process is in the muscular spindles (sensor) = pseudounipolar spinal ganglia

2) Cells which innervate the muscle = multipolar cells in the anterior horn of the spinal cord

**4. Which 2 cell types are found in nerve tissue?**

Nerves (neurons) and glial cells

**5. Where does a) impulse uptake (afference) and b) impulse transmission (efference) take place?**

a) Dendrite

b) Neurite

**6. What is the mechanism called via which substances are transported from the perikaryon to the periphery along the cytoskeletal fibres?**

Axonal transport

**7. What is the name of the impulse transmission site from one nerve cell to the next?**

Synapse

**8. Which "trick" does nature use to increase the speed of nerve transmission?**

Constriction rings and insulated (myelinated) sections

**9. What is the term used to describe the spread of the impulse in myelinated nerves?**

Saltatory impulse transmission

**10. How many cerebral nerves form the peripheral nervous system of the head?**

12

**11. Which spinal cord segments supply the brachial plexus?**

C<sub>5</sub> - Th<sub>1</sub>

**12. Which spinal cord segments supply the upper thigh, lower thigh and foot?**

L<sub>5</sub> - S<sub>3</sub>

**13. Which basal ganglia belong to the telencephalon?**

Caudate nucleus, putamen and pallidum

**14. How is information coded in the nervous system?**

As an impulse sequence

**15. What is excitation of the nerve cell membrane called?**

Action potential

**16. Which transmitter present in the pathways from the substantia nigra to the corpus striatum is absent in Parkinson's disease?**

Dopamine

**17. What is the name of the receptor organ in the cochlear duct of the inner ear?**

Organ of Corti

**18. How is the eye-visual cortex connection produced?**

Optic nerve, optic chiasma, optic tract, lateral geniculate body, optic radiation

**19. Which functions does the hippocampus have?**

Learning and memory

# Einleitung

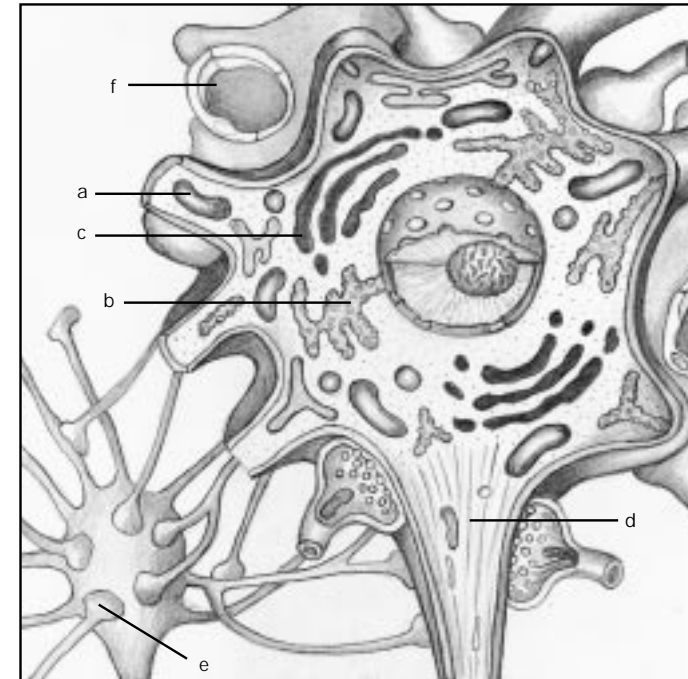
## Funktionelle Anatomie der Nervenzellen

## C40/1 Nervenzelle

Nervenzellen sind die kleinsten selbständigen Einheiten, aus denen die Organe des Nervensystems zusammengesetzt sind. Man unterscheidet generell zwischen zentralem und peripherem Nervensystem: zum zentralen Nervensystem gehören das Gehirn (Groß- und Kleinhirn) und das Rückenmark. Das periphere Nervensystem umfaßt alle Nervenfasern der Peripherie (z.B. in der Haut, den Muskeln und allen Eingeweideorganen). Dabei wird differenziert zwischen bewußt (dem Willen bzw. der Empfindung) zugänglichem oder auch somatischem Nervensystem und dem vegetativen (autonomen) Nervensystem, das automatisch und ohne willentlichen Zugriff die Steuerung der inneren Organe übernimmt. Über Reflexkreise steht das Rückenmark als Vermittler zwischen Peripherie und dem Gehirn sowohl für das vegetative als auch für das somatische Nervensystem.

Die Aufgaben des Nervensystems sind vielfältig: von der Reizaufnahme (Sehen, Hören, Riechen, Fühlen usw.) über die Reiz- bzw. Informationsweiterleitung, die Informationsverarbeitung und -speicherung bis zur Beantwortung der eingehenden Informationen mit entsprechenden Mustern, die schließlich in willentliche Bewegungen münden. Diese Vielfalt spiegelt auch die Form und Funktion der einzelnen Nervenzelle wider. Dabei ist die einzelne Zelle ein extrem vielgestaltiges, multifunktionales Gebilde mit zahlreichen Spezialausformungen. Die Nervenzelle ist so hochspezialisiert, daß sie allein gar nicht mehr lebensfähig ist. Sie hat sogar die Fähigkeit zur Regeneration (die ja noch z.B. in Hautzellen erhalten ist) aufgegeben, d.h. wenn eine Nervenzelle nach abgeschlossener Entwicklung des Nervengewebes abstirbt, kann sie nicht mehr adäquat ersetzt werden. Lediglich die peripheren Nervenfortsätze können sich regenerieren - mit einer Wachstumsgeschwindigkeit von maximal 1 mm/Tag.

Die Hilfszellen (Gliazellen) müssen den Nervenzellen helfen, ihre Stoffwechsel- und Transportaufgaben zu erfüllen. Denn die Nervenzelle konzentriert sich ganz darauf, ihre extrem komplizierte Gestalt zu erhalten, wobei es vor allem auf die Oberflächen, d.h. die Membranen, ankommt. Die Membranen übernehmen nämlich die Hauptaufgabe der Nervenzelle: hier spielt sich der Wechsel zwischen "Erregung" und "Nicht Erregung" der Membran ab. Dieser Wechsel läßt sich anhand von Spannung (gemessen in mV) feststellen. Dabei unterscheidet man ein sogenanntes Ruhe- und Aktionspotential. Die gesamte Gestalt von Nervenzelle und Gliazelle ist auf diese Funktion ausgerichtet. So haben sich bestimmte Gliazellen (Astroglia) darauf spezialisiert, den Stofftransport von den Kapillaren (f in Abb. C40/1) in Richtung Nervenzelle zu übernehmen. Es kommt also nichts unkontrolliert von den ohnehin sehr dichten Kapillaren im Gehirn und Rückenmark zur Nervenzelle. Andere Gliazellen haben sich darauf spezialisiert, die Nervenzellen mit isolierenden Hüllen zu umgeben (Oliodendrogliazellen im Zentralnervensystem, C40/2, bzw. Schwannsche Gliazellen im peripheren Nervensystem, C40/3). Andere Gliazellen umhüllen die Endformationen der Nervenaufläufe in der Peripherie (Teloglia, b in Abb. C40/4).

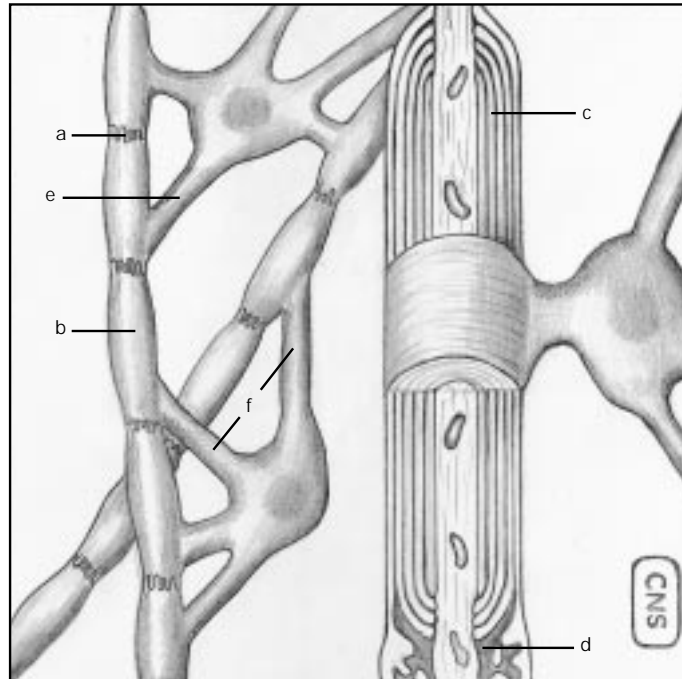


An einer Nervenzelle unterscheidet man die zentrale, um den Zellkern gruppierte Zellmasse (Perikaryon) und die zahlreichen Nervenzellfortsätze. Unter den Nervenzellfortsätzen unterscheidet man die sogenannten Dendriten, die Informationen zum Perikaryon leiten vom Neuriten (nur in Einzahl vorhanden), der die Information zu der nächsten Nervenzelle leitet.

Betrachtet man das Perikaryon (in der Abbildung aufgeschnitten), dann erkennt man die zahlreichen Charakteristika, die jeder Säugerzelle gemeinsam sind: Mitochondrien (a), endoplasmatisches Retikulum (b), Golgi-Apparat (c) und zahlreiche Fibrillen des Zytoskeletts (d). In der Nervenzelle sind der Golgi-Apparat und das endoplasmatische Retikulum besonders stark ausgeprägt, denn beide haben mit der Produktion und Erneuerung der enormen Membranoberfläche der Nervenzellen zu tun. In den zahlreichen Zellausläufern findet man ein gut ausgeprägtes Faserwerk als Untereinheiten des Zellskeletts. Auf der Abbildung links sind außerdem Spezialformationen der Zellausläufer, nämlich die zahlreich vorkommenden Synapsen (e), zu erkennen.

# C40/2

## Markscheiden des zentralen Nervensystems

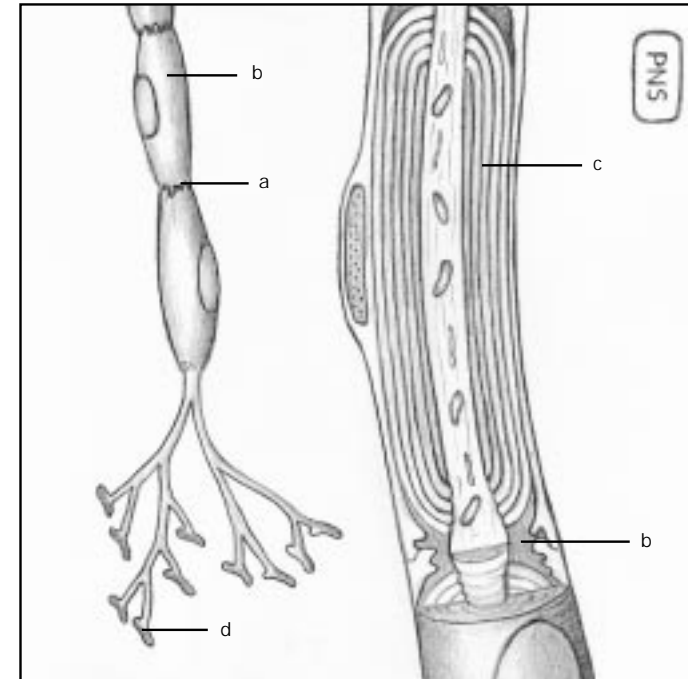


Prinzipiell ist für die Ausbreitungsprozesse des Nervenimpulses die Membran der Nervenzelle verantwortlich. Darüber hinaus besteht ein Zusammenhang zwischen der Dicke des Nervenfortsatzes und der Leitungsgeschwindigkeit. Je dicker ein Fortsatz ist, um so höher ist die Leitungsgeschwindigkeit. Ohne entsprechende Hilfszellen (spezialisierte Gliazellen) ist die Erregungsleitung kontinuierlich (kommt nur bei Nicht-Wirbeltieren oder bei dünnen Fasern des vegetativen Nervensystems von Wirbeltieren vor). Um die Leitungsgeschwindigkeit zu erhöhen, bilden sich Nervenfasern mit Markscheiden heraus, die in Abständen von 1 mm bis 3 mm durch sogenannte Schnürringe (a) (Ranvier) unterbrochen sind. Dadurch wird die Erregungsleitung, ohne daß der Fortsatzdurchmesser in stärkerem Maße zunehmen muß, erheblich beschleunigt. Die Erregung springt jetzt von Schnürring zu Schnürring und die Leitung wird schneller. Die Isolierung zwischen den einzelnen Schnürringen (b) geschieht durch Umhüllung mit fetthaltigen Substanzen (Lipide, Myeline, Kephale, Phosphatide, Lecitine, Cerebroside usw.). Dabei entsteht eine regelmäßige Schichtung aus äußerst dünnen Lipidproteinlamellen und der Membran der Gliazelle (c). An den Schnürringen sind diese spiraligen Isolierungen unterbrochen (d).

Nervenzellfortsätze, die sogenannten Oligodendrogliazellen, übernehmen die Aufgabe der Isolierung im zentralen Nervensystem. Darüber hinaus sind sie für den Stoffwechsel der Nervenzellen von Bedeutung. Charakteristisch für die Oligodendrogliazellen ist, daß sie mit mehreren sternförmigen Ausläufern gleichzeitig mehrere Segmente zwischen den Einschnürungen (interannuläre Segmente) isolieren können (e) und zusätzlich noch verschiedene Nervenfasern bedienen können (f).

# C40/3

## Glia der peripheren Nervenzellen

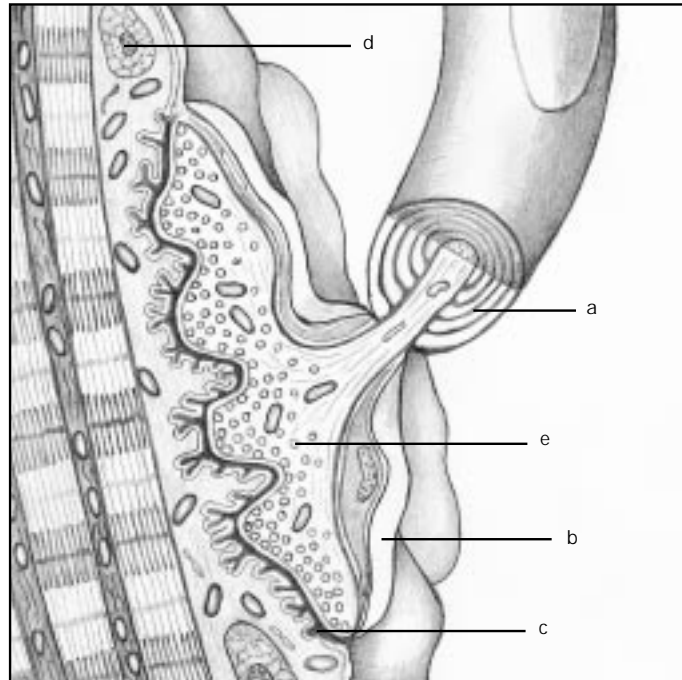


Wie die Oligodendrogliazellen im zentralen Nervensystem, so bilden die sogenannten Schwannschen Zellen im peripheren Nervensystem die Markscheiden zur Isolierung der Nervenfortsätze aus. Auch hier bilden sich Einschnürungen (a) und interannuläre Segmente (b). Charakteristisch für die Gliazellen des peripheren Nervensystems ist, daß sie als einzelne Zelle jeweils nur ein interannuläres Segment versorgen. Bei der Einschnürung erfolgt also ein Wechsel auf eine andere Gliazelle. Der Aufbau aus Myelinscheiden und Membranen der Gliazellen (c) entspricht der Oligodendrogliazelle. Für die Funktion des Nervenfortsatzes (der Neurit wird oft auch "Axon" genannt) bedeutet der Wechsel von einem isolierten Anteil zu einer mehr oder weniger freien Membran, daß die Erregung von Einschnürung zu Einschnürung springt (saltatorische Erregungsleitung). Dies bedeutet eine erhebliche Steigerung der Erregungsleitung.

Die Aufspaltungen der Nervenfortsätze am Ende der peripheren Nerven können äußerst vielfältig sein. Sie können frei in einem anderen Gewebe enden (freie Nervenendigungen) (d). Oft sind sie auch in komplizierte Endigungen der sogenannten Endglia (Teloglia) eingebaut, wie z.B. Tastkörperchen oder anderen komplizierten Sinnesorganen.

# C40/4

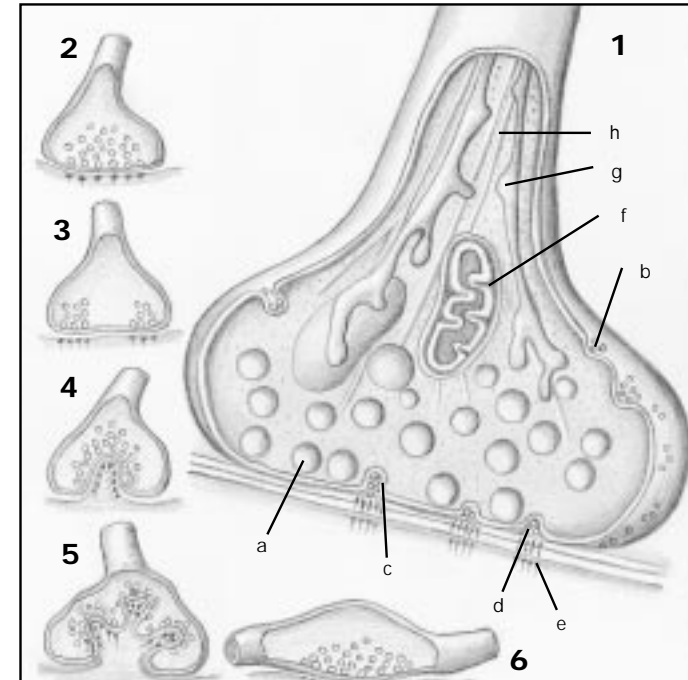
## Motorische Endplatte



In der motorischen Endplatte als Spezialform einer Synapse erfolgt die Erregungsübertragung von einer Nervenzelle auf eine quergestreifte Skelettmuskelfaser. Kurz vor der motorischen Endplatte verliert der Nervenfortsatz seine Markscheide (a) und wird nur noch von der Gliazelle selbst eingeschleitet (Teloglia, b). Der Endabschnitt der Nervenzelle verbreitert sich an der Kontaktstelle zur Muskelfaser und bildet wieder zahlreiche synaptische Bläschen, Mitochondrien und Granula verschiedenster Art aus. Die Endverzweigungen des Nervenfortsatzes lagern sich der Zellmembran der Muskelfaser (postsynaptische Membran) dicht an, wobei die Membran der Muskelzelle einen intensiven Faltenapparat zur Oberflächenvergrößerung ausbildet (c). Hier finden sich im Zytoplasma der Muskelfaser auffallend viele Kerne der Muskelzelle (d), wodurch die Endplatte im ganzen etwas vorgewölbt wird. Auf diese Weise entsteht eine riesige Kontaktstelle, an der schon ein einzelner Nervenimpuls eine Erregung der Muskelfaser auszulösen vermag. Die in den Fortsatzendigungen vorhandenen synaptischen Vesikel (e) enthalten als Transmitter Acetylcholin, das entsprechend dem in Synapsen ablaufenden Mechanismus an Rezeptoren der postsynaptischen Membran andockt und dort zu einer neu entstehenden Erregung der Muskelfaser führt.

# C40/5

## Synapse



Als Synapse bezeichnet man eine spezifische der Erregungsübertragung dienende Kontaktstruktur, über die eine Nervenzelle eine andere Zelle "innerviert" (1). Man unterscheidet prinzipiell elektrische Synapsen und chemische Synapsen. Elektrische Synapsen übertragen direkt die Erregung auf eine angrenzende Zellmembran (sehr selten im Nervensystem des Menschen - zwischen Haarzellen des Innenohres oder zwischen Sinneszellen der Netzhaut). Bei chemischen Synapsen bildet die Nervenzelle an ihren Endausläufern kolbige Auftreibungen (Boutons, Abb. C40/1, e) aus, die sich auf die Informationsübermittlung spezialisiert haben. Chemische Synapse heißt, daß die Erregung indirekt durch Vermittlung bestimmter chemischer Substanzen erfolgt. Dabei wird der Reiz, der von der Nervenzelle entlang der Zellmembran bis zu der kolbigen Auftreibung geleitet worden ist, umgesetzt in eine zeitlich korrelierte Freisetzung von Überträgerstoffen, die in bläschenartigen Strukturen (sogenannte synaptische Bläschen) (a) eingekapselt sind.

Der Nervenimpuls, die sogenannte Depolarisation, öffnet vorübergehend spannungskontrollierte Kalziumkanäle in der Membran, die noch vor der eigentlichen Überträgerstelle liegt. Da die Kalziumkonzentration außerhalb von Zellen immer 1000mal höher ist als innerhalb der Zelle, strömt Kalzium in die Nervenzelle ein und die steigende Kalziumkonzentration löst die Ausschüttung von Vesikeln mit Überträgerstoffen aus.



# C40/5

## Synapse

Die Vesikel verschmelzen zunächst mit der sogenannten präsynaptischen Membran (c), wobei die Transmitter nachfolgend in den synaptischen Spalt (d) ausgeschüttet werden und schließlich von der postsynaptischen Membran aufgenommen werden. Dort binden sich die Überträgerstoffe an spezifische Rezeptoren (e) und öffnen gekoppelte Kanäle, die durch Einfließen von Natriumionen die Membran der nachfolgenden Zellen in einem begrenzten Bereich depolarisieren. Über eine Kettenreaktion kommt es zum Öffnen weiterer benachbarter Kanäle und es entsteht eine sich selbst fortpflanzende Depolarisation, die sich auf die gesamte Plasmamembran der nachfolgenden Zelle ausbreitet. Nach der Depolarisation werden die Transmitter abgebaut oder wieder in die präsynaptische kolbige Auftreibung aufgenommen (b).

Da eine Synapse in oft kurzer Zeit (vielfach pro Sekunde) diesen Prozeß durchführen muß, ist sie ein Ort hoher Stoffwechselaktivität. Deshalb findet man hier sowohl Mitochondrien (f), die einen hohen Energieumsatz anzeigen, als auch Ausläufer des endoplasmatischen Retikulums (g) als Hinweis auf einen hohen Stoffumsatz. Die in der Synapse vorhandenen Filamente des Zytoskeletts (Neurofilamente) (h) dienen als Leitstrukturen für den sogenannten axonalen Transport, der z. B. für Transmitter und Membranbausteine vom Perikaryon bis zur Synapse als Weg dient.

Nach Art der synaptischen Bläschen und der Verdickungen der prä- bzw. postsynaptischen Membran unterscheidet man zwei Synapsentypen (Gray I und II). Gray I-Synapsen besitzen helle runde Vesikel und einen 30 nm breiten Spalt, wobei die postsynaptische Membran stärker verdickt ist als die präsynaptische (2). Gray II-Synapsen haben einen 20 nm breiten Spalt und haben eine schmale postsynaptische Membranverdichtung, wobei oft mehrere aktive Felder nebeneinander liegen (3). Typ Gray I gelten als erregende Synapsen (exzitatorische Synapsen), Typ Gray II als hemmende (inhibitorische Synapsen). Inhibitorische Synapsen unterdrücken die Erregungsbereitschaft einer nachfolgenden Zelle.

Neben diesen Grundtypen gibt es von der Form und feinen Funktionsdifferenzierung her noch Spezialformen: z. B. Synapsen mit sogenannten synaptischen Bändern (4), komplexe Synapsen mit Bändern (5). Nervenfortsätze können Synapsen auch im Vorbeiziehen ("en passant") ausbilden (6). Dabei haben Sie entweder die typischen prä- und postsynaptischen Membranen oder sie enden frei (im vegetativen Nervensystem). Dabei sind sie an ihrem äußeren Ende nicht mehr von Gliazellen umgeben und geben die Transmitter über größere Abstände (à distance) an nebenstehende Zellen ab. Auch die motorische Endplatte ist eine Spezialform der Synapse.

# Fragen

**1. Wieviele Synapsen können im zentralen Nervensystem an einer Nervenzelle enden?** Bis zu 20 000

**2. Wieviele Nervenzellen liegen im Groß- und Kleinhirn**

Etwa  $10^{12}$  -  $10^{14}$

**3. Welche Nervenzellen sind am Eigenreflex beteiligt?**

1) Zelle, deren Fortsatz in der Muskelspindel steckt (Sensor) = pseudounipolare Spinalganglienzelle

2) Zelle, die den Muskel innerviert = multipolare Zelle im Vorderhorn des Rückenmarks

**4. Welche 2 Zelltypen bauen das Nervengewebe auf?**

Nervenzellen (Neurone) und Gliazellen

**5. Wo findet die a) Erregungsaufnahme (Afferenz), die b) Erregungsweiterleitung (Efferenz) statt?**

a) Dendrit

b) Neurit

**6. Wie nennt man den Mechanismus, über den Stoffe vom Perikaryon in die Peripherie entlang von Zytoskelettfasern transportiert werden?**

Axonaler Transport

**7. Wie nennt man die Übertragungsstelle der Erregung von einer Nervenzelle auf die nächste?**

Synapse

**8. Welchen „Trick“ wendet die Natur an, um die Nervenleitungsgeschwindigkeit zu erhöhen?**

Schnürringe und isolierte (myelinisierte) Abschnitte

**9. Wie nennt man die Ausbreitungsform der Erregung in myelinisierten Nerven?**

Saltatorische Erregungsleitung

**10. Wieviel Hirnnerven bilden das periphere Nervensystem des Kopfes?**

12 Paare

**11. Welche Rückenmarkssegmente versorgen den Armplexus (Plexus brachialis)?**

C<sub>5</sub> - Th<sub>1</sub>

**12. Welche Rückenmarkssegmente versorgen Oberschenkel, Unterschenkel und Fuß?**

L<sub>5</sub> - S<sub>3</sub>

**13. Welche Stammganglien gehören zum Telencephalon?**

Nucleus caudatus, Putamen und Pallidum

**14. Wie wird die Information im Nervensystem codiert?**

Als Impulsfolge

**15. Wie nennt man die Erregung der Nervenzellmembran?**

Aktionspotential

**16. Welcher Transmitter, der in Bahnen von der Substantia nigra bis zum Striatum vorkommt, fehlt bei Morbus Parkinson?**

Dopamin

**17. Wie nennt man das Rezeptororgan im Ductus cochlearis des Innenohrs?**

Corti-Organ

**18. Wie wird die Verbindung Auge-Sehcortex hergestellt?**

Nervus opticus, Chiasma opticum, Tractus opticus, Corpus geniculatum laterale, Radiatio optica

**19. Welche Funktionen übernimmt der Hippocampus?**

Lernen und Gedächtnis

# Introducción

## La anatomía funcional de las células nerviosas

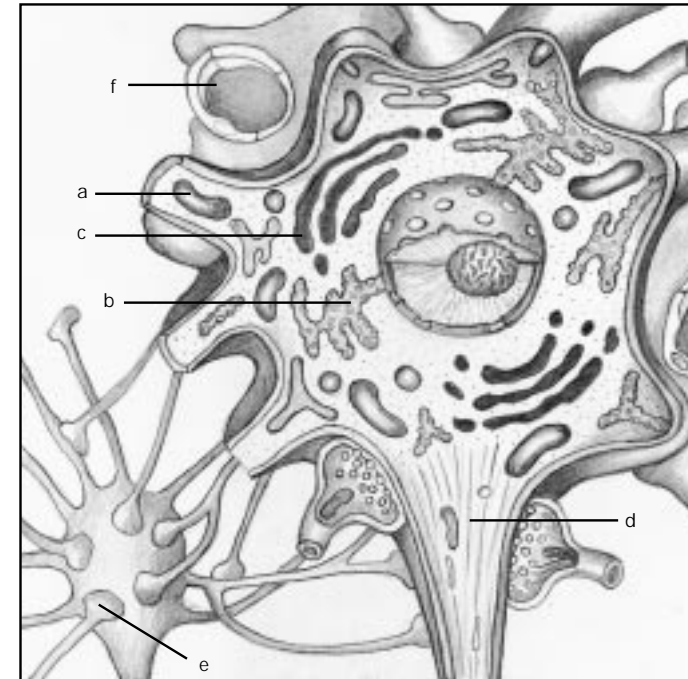
Las células nerviosas (neuronas) son las unidades autónomas más pequeñas que se agrupan para formar los órganos del sistema nervioso. Se distingue entre el sistema nervioso central (SNC) y el sistema nervioso periférico (SNP). Al sistema nervioso central pertenecen el encéfalo (cerebro y cerebelo) y la médula espinal. El sistema nervioso periférico está constituido por las fibras nerviosas de la periferia (p. ej. en la piel, en los músculos y en todos los órganos internos). Hay una diferenciación entre el sistema nervioso voluntario, responsable de la voluntad y de los emociones (se llama también sistema nervioso somático), y el sistema nervioso vegetativo (o autónomo), que controla automáticamente y sin influencia intencional los órganos internos. A través de círculos de reflejos la médula espinal juega el papel de coordinador entre la periferia y el encéfalo, tanto para el sistema nervioso vegetativo como para el sistema nervioso somático.

El sistema nervioso posee diversas funciones. En un principio recibe estímulos (ver, oír, oler, sentir etc), transmite estos estímulos, o más bien informaciones, las procesa y almacena hasta llega a responder a las informaciones recibidas con esquemas correspondientes que finalmente provocan movimientos intencionales. Esta diversidad de tareas se refleja también en la forma y la función de las neuronas individuales. Cada una de las células constituye una unidad muy variada y multifuncional con numerosas formaciones especiales. La neurona es tan especializada que no puede sobrevivir por sí misma. Incluso ha abandonado la capacidad de regeneración, una característica que tiene p. ej. la célula epidérmica. Eso significa que si una célula nerviosa muere después de haber terminado su desarrollo el tejido nervioso, no es posible reemplazarla adecuadamente. Únicamente son capaces de regenerarse las prolongaciones periféricas de los nervios que crecen con una velocidad máxima de 1 mm/d.

Como las neuronas están bien ocupadas en mantener su forma complicada, necesitan la ayuda de las células de neuroglia para cumplir sus funciones de metabolismo y de transporte. Lo más importante en este proceso de mantenimiento es la alimentación de la superficie de la neurona, es decir las membranas, ya que éstas se encargan de la función principal de la neurona. Aquí se produce el cambio entre excitación y «no-excitación» de la membrana que se mide en milivoltios a base de la tensión. Se distingue entre el potencial de reposo y el potencial de acción. La unidad entera de neurona y célula glial está dirigida a ejecutar esta función. De esta manera algunas células gliales (astroglia) se han especializado en transmitir los productos del metabolismo de las capilares (f en fig. C40/1) en dirección a las neuronas. Otras células gliales - la oligodendroglia en el SNC, fig. C40/2 y las células de Schwann en el SNP, fig. C40/3 - son las responsables en rodear las células nerviosas con una capa aislante. Y también existen células gliales que rodean las formaciones finales de la arborización de los nervios en la periferia - la teloglia (b en fig. C40/4)

# C40/1

## La neurona

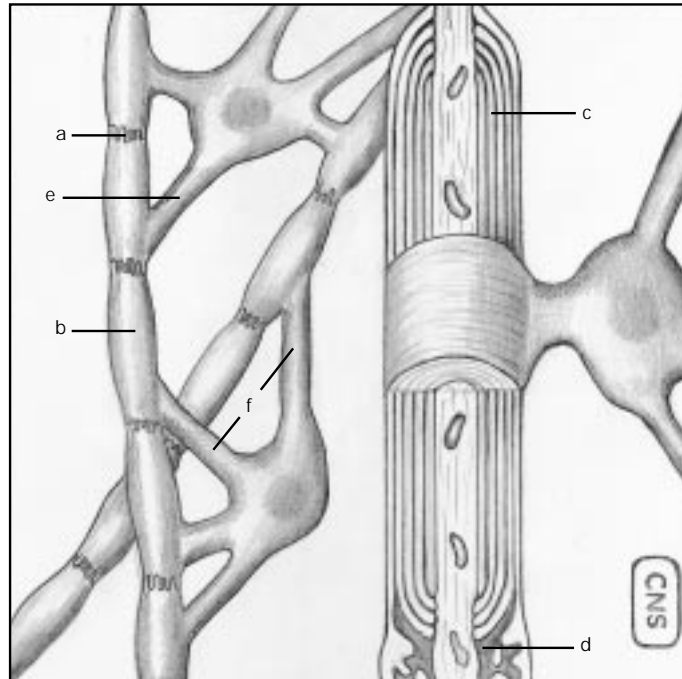


La neurona comprende un cuerpo celular o pericarión, la masa citoplasmática que rodea el núcleo, y numerosas prolongaciones. En principio hay dos tipos de prolongaciones, las dendritas, que conducen la información al pericarión, y el cilindroeje (sólo uno en cada neurona), que transmite la información a la neurona vecina.

En el pericarión (sección transversal en la imagen) se pueden apreciar las características comunes a todas las células mamíferas: mitocondrias (a), el retículo endoplasmático (b), el aparato de Golgi (c) y numerosas fibrillas del citoesqueleto (d). En la neurona el aparato de Golgi y el retículo endoplasmático están particularmente desarrollados, ya que ambos están relacionados con la producción y la renovación de la gran superficie de la membrana de neurona. Las ramificaciones numerosas de las neuronas albergan un complejo de fascículos que forma subcomponentes del citoesqueleto. En la imagen a la izquierda también se pueden distinguir formaciones especiales de la arborización de células - las numerosas sinapsis (e).

## C40/2

### Las vainas de mielina del sistema nervioso central

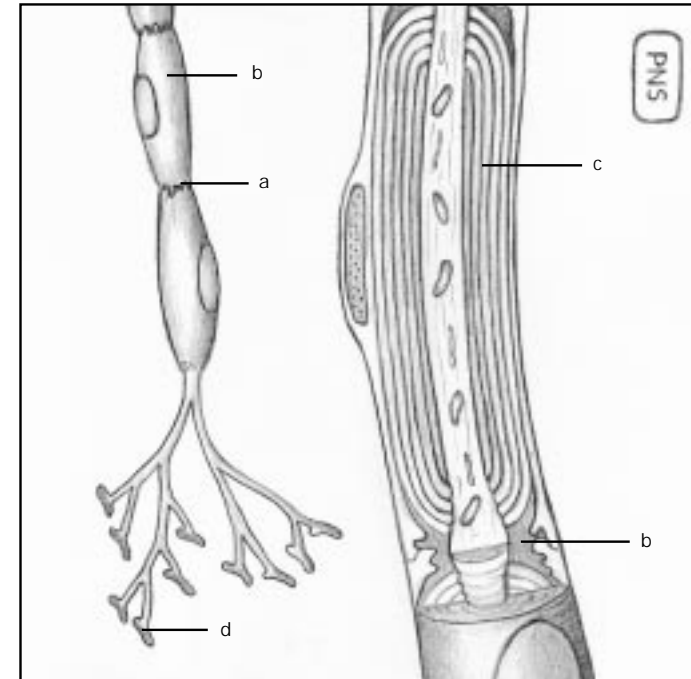


En principio, el responsable de la conducción y extensión de los impulsos nerviosos es la membrana de la neurona. Sin embargo, la velocidad de la conducción depende del diámetro del cilindro (también axón). Entre más gordo sea el cilindro, más rápido se extiende el impulso. Pero sin la ayuda de las respectivas células especiales (células gliales específicas) los impulsos se extienden de una forma continua (sólo en no vertebrados o en fibrillas del sistema nervioso vegetativo de vertebrados). Para aumentar la velocidad de la conducción se forman fibras nerviosas con vainas de mielina, interrumpidas por nudos - llamados los nódulos de Ranvier (a) - en intervalos de 1 a 3 mm. De este modo la conducción de la excitación se acelera enormemente, sin necesidad de que aumente el diámetro del axón. La excitación salta de un nudo a otro y la velocidad de la conducción aumenta. El aislamiento entre los nudos individuales se realiza con sustancias grasosas (lípidos, mielina, cefalinas, fosfolípidos, lecitinas, cerebrosidos etc.). Durante este proceso se va formando una capa uniforme de finísimas laminillas de proteínas lípidos y de la membrana de la célula glial (c). En los nudos este aislamiento espiral está interrumpido (d).

En el sistema nervioso central (SNC) las denominadas células de oligodendroglia son las responsables del aislamiento de los axones. Además son de suma importancia para el metabolismo de las células nerviosas, y se caracterizan por sus ramificaciones en forma de estrella, por medio de las cuales son capaces de aislar simultáneamente varios segmentos entre los nudos (segmentos interanulares) (e) y de servir a distintas fibras nerviosas (f).

## C40/3

### Neuroglia de las neuronas periféricas

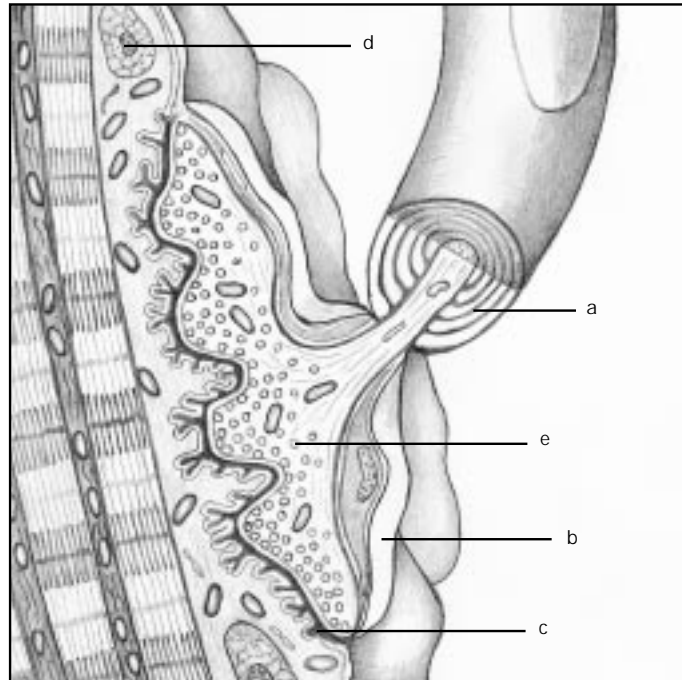


Al igual que las células de oligodendroglia en el sistema nervioso central, las células de Schwann forman las vainas de mielina para el aislamiento de las prolongaciones de neuronas en el sistema nervioso periférico. Aquí también se forman nudos (a) y segmentos interanulares (b). Al contrario de las células de oligodendroglia, las células de Schwann rodean solamente un segmento interanular, es decir terminan en el nudo y el próximo segmento está rodeado de otra célula glial. La estructuración de las células gliales (c) con vainas de mielina y membranas corresponde a la de las células de oligodendroglia. La conducción de la excitación se realiza mucho más rápida en los axones con mielina porque el impulso salta de un nudo a otro. Esto se llama conducción saltatoria.

Las ramificaciones al extremo de las prolongaciones nerviosas pueden ser muy diversas. Unas terminan de forma libre en otro tejido (terminaciones nerviosas libres) (d), otras son integradas en terminaciones complejas de las denominadas células de telodglia, como por ej. los corpúsculos táctiles u otros órganos sensoriales complejos.

# C40/4

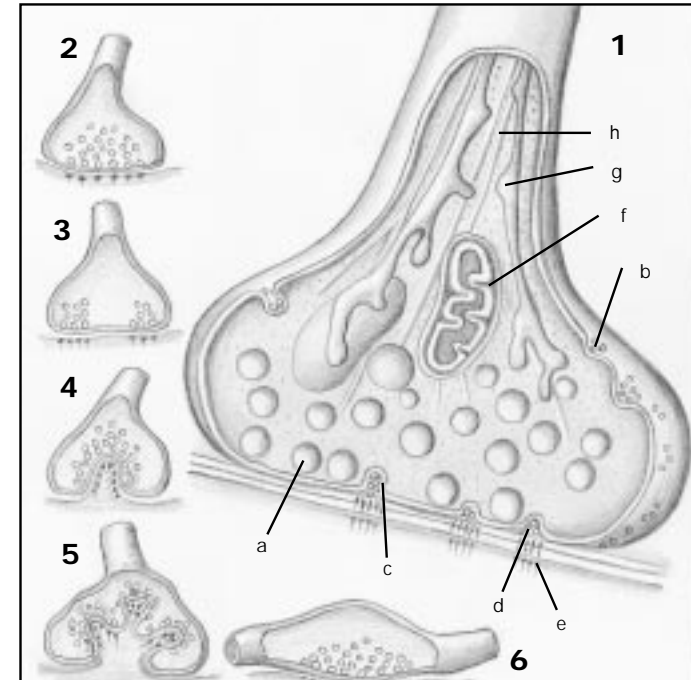
## La placa terminal



En la placa terminal como forma especial de una sinapsis, la transmisión de la excitación se realiza de la neurona a una fibra de un músculo esquelético estriado. Poco antes de la placa terminal, la prolongación nerviosa no lleva mielina (a) sino queda rodeada solamente de teloglia (b) misma. La sección terminal de la neurona se expande en el punto de contacto, con la fibra muscular formando numerosas vesículas sinápticas, mitocondrias y granulos de tipo muy variado. Las ramificaciones de la prolongación nerviosa se adhieren a la membrana de la fibra muscular (elemento postsináptico), con lo cual la membrana de la célula muscular establece un complejo de arrugas para aumentar su superficie (c). En el citoplasma de la fibra muscular se hallan muchísimos núcleos de la célula muscular (d) que causan una protuberancia de la placa terminal. De este modo se forma una estructura de contacto, donde un único impulso nervioso puede provocar la excitación de la fibra muscular. Las vesículas sinápticas (e), que se hallan en las terminaciones de las prolongaciones, contienen el neurotransmisor acetilcolina. Esta sustancia acopla a los receptores del elemento postsináptico - según el mecanismo regular en las sinapsis - provocando así una nueva excitación de la fibra muscular.

# C40/5

## La sinapsis



La sinapsis es una estructura de enlace específica, que sirve para la transmisión de impulsos nerviosos de una neurona a otra (1). Existen dos tipos de sinapsis: las eléctricas y las químicas. Las sinapsis eléctricas transmiten la excitación directamente a una membrana celular vecina. Son muy raras en el sistema nervioso del hombre; se encuentran por ej. entre las células acústicas filamentosas del oído interior o entre las células sensoriales de la retina (véanse las figuras). En las sinapsis químicas se forman engrosamientos en forma de cono en la terminación de un axón (los botones, fig. C40/1, e) que están especializados en la transmisión de información. Esta transmisión se realiza de forma indirecta, a través de sustancias químicas. En este proceso el estímulo, que la neurona ha conducido de la membrana hasta el botón terminal, se transforma en la secreción de neurotransmisores, encapselados en estructuras vesiculares (denominadas también vesículas sinápticas) (a). El impulso nervioso, la denominada depolarización, abre temporalmente unos conductos de calcio - controlados por tensión - en la membrana anterior al propio punto de transmisión. Como la concentración de calcio fuera de las células siempre es mil veces más alta que dentro de las células, el calcio entra en la neurona causando por el incremento de la concentración la secreción de vesículas con neurotransmisores.

# C40/5

## La sinapsis

Primero las vesículas amalgaman con el elemento presináptico (c), segregando en un segundo paso los neurotransmisores a la hendidura sináptica (d); finalmente los neurotransmisores son recibidos por el elemento postsináptico. Allí los transmisores se unen a receptores específicos (e), abriendo unos conductos acoplados que exigen una depolarización limitada en la membrana de las células siguientes mediante la entrada de iones de sodio. A través de una reacción en cadena se abren más conductos vecinos y surge una depolarización autoreproductiva que se extiende por toda la membrana plasmática de la célula siguiente. Después de la depolarización o se desasimilan los neurotransmisores o son reincorporados a la terminación presináptica.

La sinapsis está obligada a repetir este proceso muy a menudo y en un tiempo muy corto, unas cuantas veces por segundo, de ahí que sea un lugar de alto metabolismo. Por ello se encuentran aquí mitocondrias (f), índices de altas transacciones de energías así como prolongaciones del retículo endoplasmático (g) como señal para altas transacciones de sustancias. Además alberga neurofilamentos (h) que juegan el papel de guía para el denominado transporte axonal, que sirve de camino p. ej. a los neurotransmisores y componentes de membranas del pericarión a la sinapsis.

Según la forma de las vesículas sinápticas y el engrosamiento de los elementos presinápticos y postsinápticos, se distingue entre dos tipos de sinapsis, Gray I y Gray II. Las sinapsis de Gray I albergan vesículas claras y redondas y tienen una hendidura de 30 nm. Además el elemento postsináptico está más engrosado que el presináptico (2). Las sinapsis de Gray II tienen una hendidura de 20 nm y el elemento postsináptico está menos engrosado. En este las áreas activas son localizadas muchas veces una al lado de otra (3). Las sinapsis de Gray I son las sinapsis excitadoras, las de Gray II las sinapsis inhibitoras. Las sinapsis inhibitoras suprimen la excitabilidad de una célula siguiente.

Además de estos tipos básicos de sinapsis hay varias formas especiales respecto a la forma y la diferenciación de funciones, por ej. sinapsis con cintillas sinápticas (4) y sinapsis complejas con cintillas (5). Las prolongaciones de los nervios son capaces de formar sinapsis «en passant» (6). Estos tienen o los típicos elementos presinápticos o postsinápticos o terminan libre en el sistema nervioso vegetativo. En su extremo exterior ya no están rodeados de células gliales y los neurotransmisores segregan a través de una distancia más grande a las células vecinas. La placa terminal también es una forma especial de sinapsis.

# Preguntas

- 1. ¿Cuántas sinapsis pueden terminar en una neurona en el sistema nervioso central?**  
Hasta 20 000
- 2. ¿Cuántas neuronas están localizadas en el cerebro y el cerebelo?**  
Unas  $10^{12}$  -  $10^{14}$
- 3. ¿Cuáles son las neuronas que participan en el reflejo propioceptivo?**
  - 1) Célula, cuya prolongación termina en el huso neuromuscular (sensor) = célula de un ganglio espinal pseudounipolar
  - 2) Célula, que inerva el músculo = célula multipolar en la columna anterior de la médula espinal
- 4. ¿Cuáles son los dos tipos de células que forman el tejido nervioso?**  
Las células nerviosas (neuronas) y las células gliales
- 5. ¿Dónde se realizan a) el recibimiento de estímulos y b) la conducción de estímulos?**
  - a) Dendrita
  - b) Cilindroeje (neurita, axón)
- 6. ¿Cómo se llama el mecanismo a través del cual se transportan sustancias del pericarión a la periferia a lo largo de fibras del citoesqueleto?**  
Transporte axonal
- 7. ¿Cómo se llama el punto de transmisión de la estimulación de una neurona a otra?**  
Sinapsis
- 8. ¿De qué truco se sirve la naturaleza para aumentar la velocidad de la conducción de impulsos nerviosos?**  
Nudos y segmentos aislados por mielina
- 9. ¿Cómo se llama la forma de conducción de la excitación en nervios rodeados de mielina?**  
Conducción saltatoria
- 10. ¿Cuántos nervios cerebrales forman el sistema nervioso de la cabeza?**  
12
- 11. ¿Cuáles de los segmentos de la médula espinal alimentan el plexo braquial?**  
 $C_5$  -  $Th_1$
- 12. ¿Cuáles de los segmentos de la médula espinal alimentan el muslo, la pierna y el pie?**  
 $L_5$  -  $S_3$
- 13. ¿Cuáles de los ganglios basales pertenecen al telencéfalo?**  
Núcleo caudado, putamen y pallidum
- 14. ¿Cómo está codificada la información en el sistema nervioso?**  
Como secuencia de impulsos
- 15. ¿Cómo se llama la excitación de la membrana de la neurona?**  
Potencial de acción
- 16. ¿Cuál de los neurotransmisores, que normalmente se encuentran en las vías entre la sustancia negra y el cuerpo estriado, falta en la Enfermedad Parkinson?**  
Dopamina
- 17. ¿Cómo se llama el órgano receptor en el conducto cochlearis del oído interior?**  
Órgano de Corti
- 18. ¿Cómo se establece el enlace ojo - campo visual?**  
Nervio óptico, quiasma óptico, tracto óptico, cuerpo geniculado lateral, radiación óptica
- 19. ¿Qué funciones realiza el hipocampo?**  
Aprendizaje y memoria

# Introdução

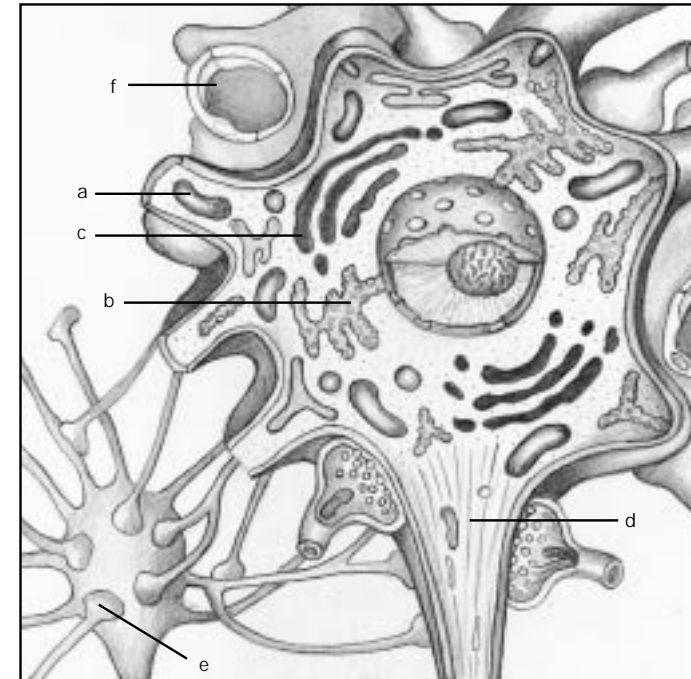
## Anatomia funcional das células nervosas

Células nervosas são as menores unidades independentes dos órgãos do sistema nervoso. Geralmente fazemos uma distinção entre o sistema nervoso central e o periférico: o cérebro (hemisférios e cerebelo) e a medula espinhal pertencem ao sistema nervoso central. O sistema nervoso periférico consiste de todas as fibras nervosas da periferia (na pele, músculos e todos os órgãos viscerais). Existe uma diferenciação entre o sistema nervoso cônico (desejo ou sentidos), acessível ou somático e o sistema nervoso vegetativo (autônomo) que automaticamente, sem acesso voluntário assume o controle sobre os órgãos internos. A medula espinhal utiliza ciclos de reflexos para mediar entre o periférico e o cérebro, bem como para mediar para o sistema nervoso vegetativo e o somático.

O sistema nervoso exerce muitas tarefas indo desde captar impulsos (vendo, ouvindo, cheirando, sentindo, etc.) passando pela transmissão do impulso ou informação, processamento da informação e armazenamento para a resposta de entrada de informações com parâmetros correspondentes que resultam em movimentos voluntários. Esta variedade também espelha a forma e função das células nervosas individuais. A célula individual é uma estrutura multifuncional extremamente variada com diversos formatos especiais. Ela é tão altamente especializada que não é viável sozinha. Ela tem até mesmo a capacidade de regenerar-se (que por exemplo, ainda é mantida nas células de pele). Isto significa que uma célula nervosa não pode ser substituída adequadamente caso ela morra depois que o tecido nervoso já tenha se desenvolvido por completo. Somente os processos nervosos periféricos podem regenerar-se à uma taxa de crescimento de no máximo 1 mm/dia.

As células auxiliares (células gliais) devem ajudar às células nervosas a preencher suas funções metabólicas e de transporte. As células nervosas por si próprias concentram-se inteiramente em manter sua extremamente complicada estrutura, sendo o fator mais importante as superfícies, ou seja, as membranas. Isto se dá porque as membranas exercem a função principal na célula nervosa: o processo de excitação e não-excitação da membrana. Esta mudança pode ser determinada medindo-se a tensão (em mV). Uma diferença é feita entre o potencial de descanso e o de ação. Toda a estrutura da célula nervosa e da célula glial é baseada nessa função. Assim, certas células gliais (astróglia) são especializadas na tarefa de transportar substâncias dos capilares (f na figura C40/1) na direção da célula nervosa. Assim, nada fora de controle vem dos capilares mais densos no cérebro e medula espinhal para a célula nervosa. Outras células gliais são especializadas em cercar as células nervosas com tecidos insulados (oligodendróglia no sistema nervoso central, C40/2, ou células de Schwann no sistema nervoso periférico, C40/3). Outras células gliais cercam as células terminais dos nervos na periferia (telóglia, b na figura C40/4).

## C40/1 Célula nervosa

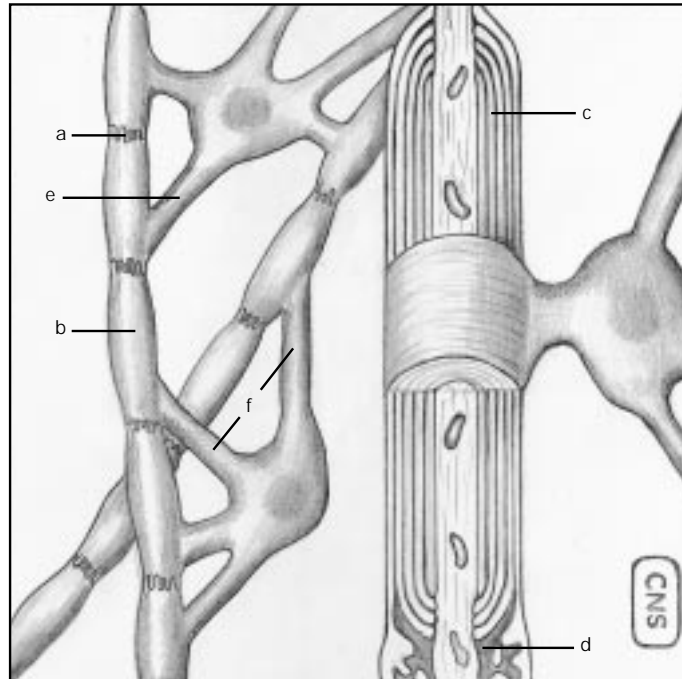


Uma célula nervosa é dividida em massa central da célula agrupada ao redor do núcleo (pericário) e os numerosos processos nervosos. Os processos nervosos são divididos em dendritos, que transmitem a informação ao pericário, e o axônio (somente um está presente). Este transmite a informação para a próxima célula nervosa.

Se observarmos o pericário (aberto na figura), diversas características podem ser reconhecidas, as quais estão presentes em todas as células dos mamíferos: mitocôndria (a), retículo endoplasmático (b) aparato de Golgi (c) e as diversas fibrilas do citoesqueleto (d). O aparato de Golgi e o retículo endoplasmático estão particularmente destacados na célula nervosa por estarem ambos envolvidos na produção e renovação da enorme superfície da membrana da célula nervosa. Uma rede de fibras bem estruturada, uma sub-unidade do esqueleto da célula, pode ser encontrada em seus diversos ramos. Além disso, formações especiais dos ramos, tais como as diversas sinapses (e), podem ser vistas na metade esquerda da figura.

## C40/2

### Bainha de mielina do sistema nervoso central

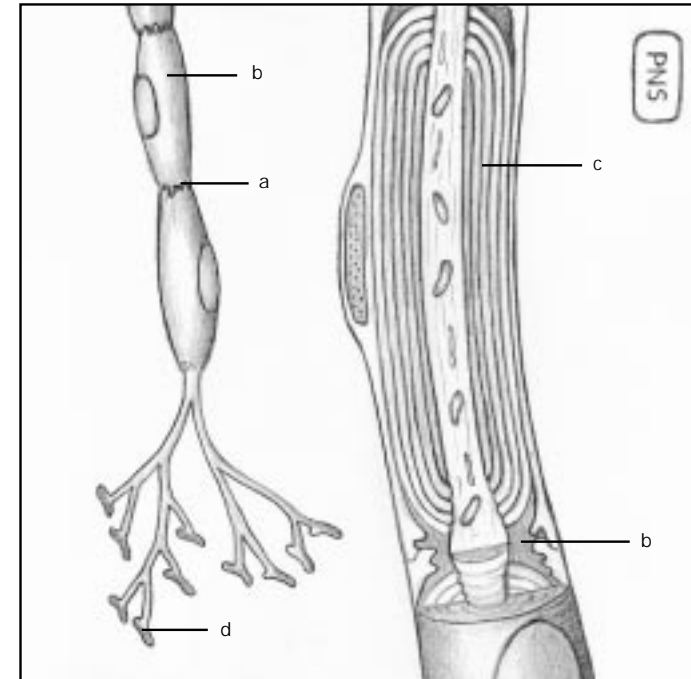


A membrana da célula nervosa é responsável principalmente pelo processo de espalhar o impulso nervoso. Além disso, há uma ligação entre a espessura do processo nervoso e a velocidade de transmissão. Quanto mais espesso for o processo nervoso, maior será a velocidade de transmissão. Sem as devidas células auxiliares (células gliais especializadas), a transmissão do impulso é contínua (ocorre apenas em invertebrados ou em finas fibras do sistema nervoso vegetativo dos vertebrados). Afins de aumentar a velocidade de transmissão, fibras nervosas com formato de bainha de mielina são interrompidas pelos que são conhecidos como anéis de constrição (a) (nodos de Ranvier) em intervalos de 1 a 3 mm. Isto faz com que a velocidade de transmissão dos impulsos aumente consideravelmente, sem que o diâmetro do processo nervoso tenha que ser expandido. O impulso pula de um anel de constrição para outro e a transmissão fica cada vez mais rápida. A insulação entre os anéis de constrição individuais (b) ocorre valendo-se de substâncias que contenham gordura (lipídios, mielina, cefalina, fosfatídeos, lecitina, cerebrosídeos, etc.). Uma camada uniforme extremamente fina de proteína lipídica lamelar e a membrana da célula glial (c) é gerada. A insulação espiral é interrompida nos anéis de constrição (d).

No sistema nervoso central, as oligodendróglia assumem a tarefa de insular os processos nervosos. Elas também são importantes para o metabolismo da célula nervosa. Uma característica das oligodendróglia é que elas podem insular diversos segmentos entre as constrições (segmentos interanulares) ao mesmo tempo (e) devido à diversos ramos com formato de estrela que também podem servir várias fibras nervosas (f).

## C40/3

### Glia das células nervosas periféricas

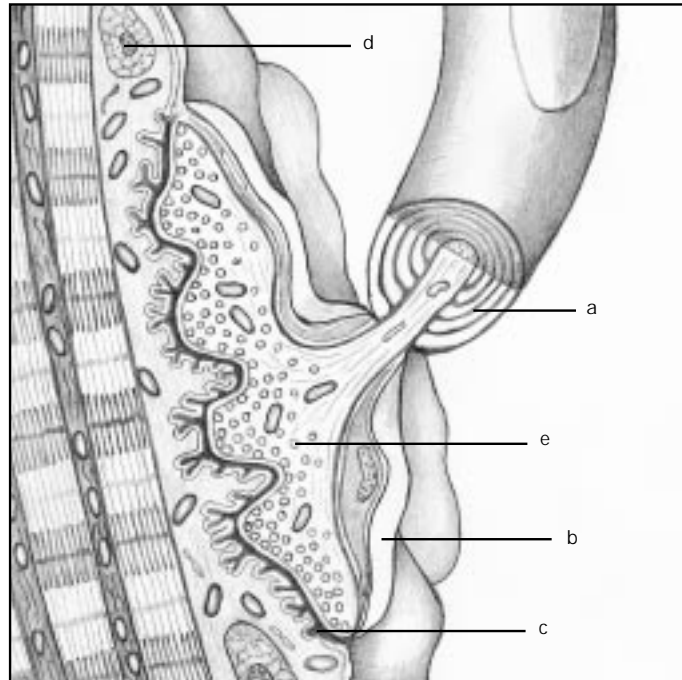


Da mesma forma que as oligodendróglia no sistema nervoso central, as células de Schwann formam a bainha de mielina no sistema nervoso periférico para insular o processo nervoso. Neste caso também, constrições (a) e segmentos interanulares (b) são formados. Uma característica das células gliais do sistema nervoso periférico é que cada célula fornece somente um segmento interanular. Assim a mudança para uma outra célula glial ocorre durante a constrição. A estrutura feita de bainhas de mielina e membranas das células gliais (c) é a mesma da célula oligodendroglial. A mudança de uma proporção insulada para uma membrana mais ou menos livre significa que o impulso pula de constrição em constrição (transmissão do impulso por saltos). Isso gera um considerável aumento na transmissão do impulso.

A subdivisão dos processos nervosos no final dos nervos periféricos pode ser extremamente variada. Eles podem terminar livremente em um outro tecido (terminação nervosa livre) (d). Eles são geralmente integrados em terminações complicadas no final da glia (telóglia), assim como os corpúsculos tácteis ou outros complicados órgãos sensoriais.

# C40/4

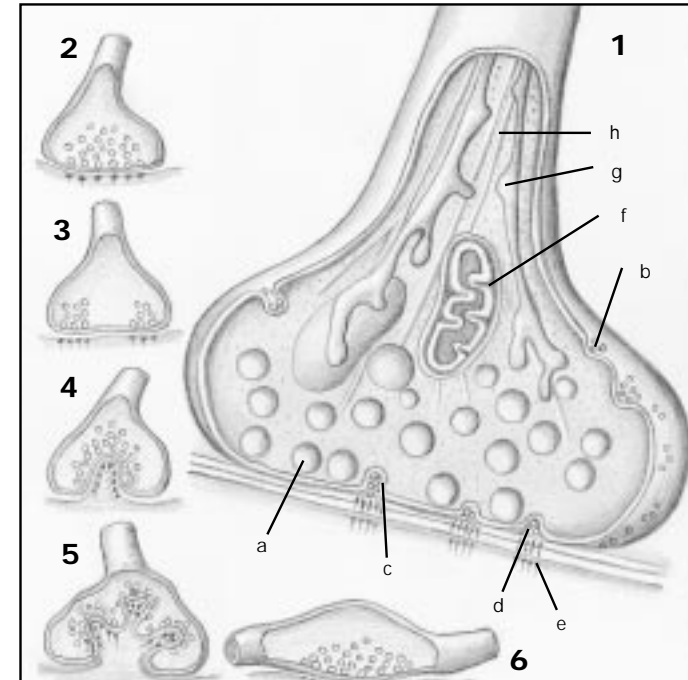
## Placa terminal isolada



Na placa terminal isolada, um tipo especial de sinapse, os impulsos são transmitidos de uma célula nervosa para uma fibra do músculo esquelético estriado. Brevemente antes da placa terminal isolada, o processo nervoso perde a sua bainha de mielina (a) e é apenas cercado pela própria célula glial (telóglia, b). A seção terminal da célula nervosa estende-se do ponto de contato à fibra do músculo e reforma numerosas vesículas sinápticas, mitocôndrias e grânulos de diversos tipos. Os ramos terminais do processo nervoso acumulam-se na membrana celular, a fibra do músculo (membrana pós-sináptica) próximo a eles. A membrana da célula muscular forma um intenso aparato contra o aumento da superfície (c). Uma surpreendente quantidade de núcleos da célula muscular (d) são encontrados no citoplasma das fibras musculares, fazendo com que a placa terminal fique levemente arqueada. Isso leva a um enorme ponto de contato no qual um simples impulso nervoso pode disparar excitação das fibras musculares. As vesículas sinápticas (e) nas terminações do nervo contém acetilcolina transmissora que se estabelece nos receptores da membrana pós-sináptica de acordo com o mecanismo nas sinapses e de lá gera uma excitação renovada para as fibras musculares.

# C40/5

## Sinapse



Uma sinapse é uma estrutura de contato servindo especificamente para transmitir impulsos e usada por uma célula nervosa para "inervar" a outra (1). Existem sinapses elétricas e químicas. As sinapses elétricas transmitem diretamente o impulso à uma membrana celular vizinha (muito raro no sistema nervoso humano, entre as células capilares do ouvido interno ou entre as células sensoriais da retina) (Figuras). No caso da sinapse química, a célula nervosa forma intumescências em forma de botões nos ramos terminais (botões, figura C40/1, e) os quais são especializados na transferência de informações. No caso das sinapses químicas, o impulso é transmitido indiretamente via certas substâncias químicas. O impulso, o qual é transmitido da célula nervosa através da membrana celular para as intumescências em forma de botão, é convertido para uma liberação tempo-correlata de substâncias transmissoras que são encapsuladas nas estruturas vesiculares (vesículas sinápticas) (a). O impulso nervoso, despolarização, temporariamente abre os canais de cálcio controlados por tensão na membrana os quais encontram-se à frente do real ponto de transmissão. Como as concentrações de cálcio são sempre 1000 vezes maiores do lado de dentro do que do de fora da célula, o cálcio flui na célula nervosa e o aumento na concentração de cálcio aciona a liberação das vesículas com substâncias transmissoras.



# C40/5

## Sinapse

As vesículas primeiramente fundem-se com a membrana pré-sináptica (c), os transmissores são lançados na falha sináptica (d) e finalmente levados pela membrana pós-sináptica. As substâncias transmissoras juntam-se aos receptores específicos (e) e abrem canais iônicos que despolarizam a membrana das células vizinhas numa área limitada pelo fluxo dos íons de sódio. Uma reação em cadeia abre os canais vizinhos seguintes e uma despolarização que se auto distribui ocorre distribuindo-se para toda a membrana plasmática da célula seguinte. Após a despolarização, as substâncias transmissoras podem tanto serem submetidas à degradação como podem ser levadas novamente pelas entumescências pré sinápticas em forma de botão (b).

Como a sinapse deve frequentemente conduzir este processo num período muito curto de tempo (diversas vezes por segundo), este é um ponto de alta atividade metabólica. Assim, mitocôndrias (f) podem ser encontradas aqui, as quais mostram um metabolismo de alta energia, bem como os ramos do retículo endoplasmático (g), um sinal de alto metabolismo de substâncias. Os filamentos do citoesqueleto na sinapse (neurofilamentos) (h) são estruturas guia para o transporte axonal que é usado como rota para transmissores e componentes da membrana do pericário para a sinapse.

Um distinção é feita entre os dois tipos de sinapses (Gray I e II), dependendo do tipo das vesículas sinápticas e da espessura das membranas pré e pós-sinápticas. As sinapses Gray I possuem leves vesículas arredondadas, uma fenda medindo 30 nm de comprimento e a membrana pós-sináptica é mais grossa do que a pré-sináptica (2). As sinapses Gray II tem uma fenda medindo 20 nm de comprimento e possuem um espessamento estreito da membrana pós-sináptica, diversos campos ativos geralmente estão localizados um ao lado do outro (3). As sinapses do tipo Gray I são tidas como sinapses excitadoras, as do tipo Gray II como sinapses inibidoras. Sinapses inibidoras suprimem a prontidão de excitação da célula subsequente.

Além destes tipos básicos, existem formas especiais baseadas no formato e na ligeira diferenciação de funções, como as sinapses com cordão sináptico (4), sinapses complexas com cordão (5). Processos nervosos podem formar sinapses quando em "em passant" (6). Elas podem até mesmo ter as membranas pré e pós-sinápticas típicas ou ter terminações livres (no sistema nervoso vegetativo). Elas não são mais cercadas por células gliais em suas terminações externas e passam os transmissores para as células vizinhas bem mais distantes ("à distance"). A placa terminal isolada também é uma forma especial de sinapse.

# Perguntas

- 1. Quantas sinapses podem terminar em uma célula nervosa no sistema nervoso central?**  
Até 20.000
- 2. Quantas células nervosas existem nos hemisférios e cerebelo?**  
Aproximadamente  $10^{12}$  -  $10^{14}$
- 3. Quais células nervosas estão envolvidas no reflexo proprioceptivo?**
  - 1) Células cujo processo esteja nos fusos musculares (sensor) = gânglios espinhais pseudounipolares
  - 2) Células que inervem o músculo = células multipolares no corno anterior do cordão espinhal
- 4. Quais os 2 tipos de células que são encontrados no tecido nervoso?**  
Nervos (neurônios) e as células gliais
- 5. Onde a) tomada de impulso (aférence) e b) transmissão do impulso (eferência) ocorrem?**
  - a) Dendrito
  - b) Axônio
- 6. Qual é o mecanismo chamado via no qual substâncias são transportadas do pericário para a periferia através das fibras citoesqueléticas?**  
Transporte axonal
- 7. Qual o nome do ponto de transmissão do impulso de uma célula nervosa à outra?**  
Sinapse
- 8. Que "truque" a natureza usa para aumentar a velocidade da transmissão nervosa?**  
Anéis de constrição e seções insuladas (mielinizadas)
- 9. Qual o termo usado para descrever a difusão do impulso em nervos mielinizados?**  
Transmissão do impulso por saltos
- 10. Quantos nervos cerebrais formam o sistema nervoso periférico da cabeça?**  
12
- 11. Quais segmentos da medula espinhal alimentam o plexo braquial?**  
 $C_5$  -  $Th_1$
- 12. Quais segmentos da medula espinhal alimentam a coxa superior e inferior e o pé?**  
 $L_5$  -  $S_3$
- 13. Quais gânglios basais pertencem ao telencéfalo?**  
Núcleo caudado, putamen e pallidum
- 14. Como a informação é codificada no sistema nervoso?**  
Como uma sequência de impulsos
- 15. Como é chamada a excitação da membrana da célula nervosa?**  
Ação potencial
- 16. Qual transmissor presente nas vias do glânglio de Soemmering até o corpo estriado está ausente no mal de Parkinson?**  
Dopamina
- 17. Qual o nome do órgão receptor no ducto coclear do ouvido interno?**  
Órgão de Corti
- 18. Como é produzida a conexão córtex - olho-visual?**  
Nervo óptico, quiasma óptico, trato óptico, corpo genicular lateral, radiação óptica
- 19. Quais são as funções do hipocampo?**  
Aprendizado e memória

# Introduction

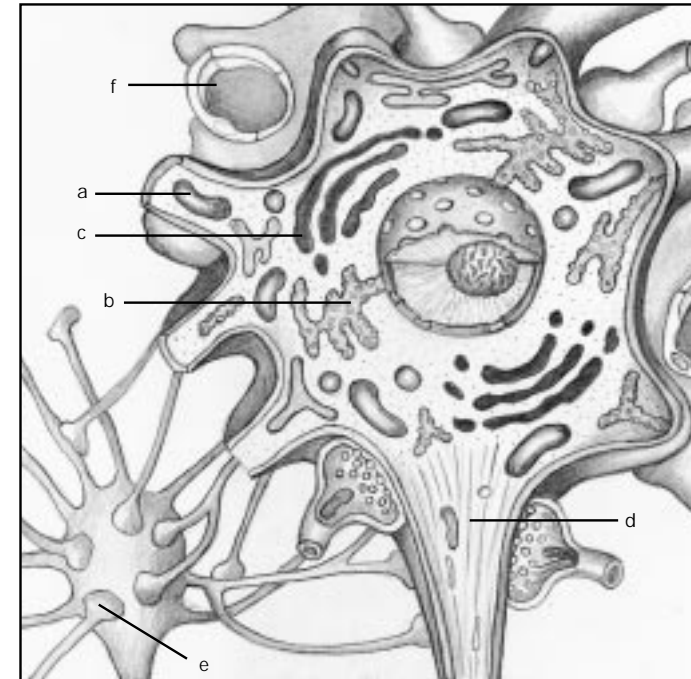
## Anatomie fonctionnelle des cellules nerveuses

Les cellules nerveuses sont les unités indépendantes les plus petites dont se composent les organes du système nerveux. On fait généralement une distinction entre le système nerveux central et le système nerveux périphérique: le cerveau (l'encéphale et le cervelet) et la moelle épinière font partie du système nerveux central. Le système nerveux périphérique comprend toutes les fibres nerveuses de la périphérie (p.ex. dans la peau, les muscles et toutes les viscères). On fait la différence entre le système nerveux volontairement accessible (soumis à la volonté ou à la sensation), également appelé système nerveux somatique, et le système nerveux végétatif (autonome) régissant automatiquement, et par conséquent sans accès volontaire, le fonctionnement des organes internes. Grâce à des cercles réflexes, la moelle épinière sert d'intermédiaire entre la périphérie et le cerveau tant pour le système nerveux végétatif que pour le système nerveux somatique.

Les tâches du système nerveux sont multiples: de la réception de l'excitation (vue, ouïe, odorat, sensation, etc.), en passant par la transmission de l'excitation et de l'information, le traitement et la mémorisation de l'information, à la réponse des informations entrantes avec les schémas correspondants, se traduisant finalement par des mouvements volontaires. Cette multitude reflète également la forme et la fonction de chaque cellule nerveuse. Chaque cellule est un complexe extrêmement varié et multifonctionnel possédant de nombreuses formes spéciales. La cellule nerveuse est tellement hyperspécialisée qu'elle ne peut subsister à elle seule. Elle a même perdu sa capacité de régénération (qui est p.ex. conservée dans les cellules de la peau). Cela signifie que lorsqu'une cellule nerveuse meurt après maturation complète du tissu nerveux, elle ne peut plus être remplacée de manière adéquate. Seuls les axones périphériques peuvent se régénérer - avec une vitesse de croissance maximale de 1 mm/jour.

Les cellules intermédiaires (cellules gliales) doivent aider les cellules nerveuses à accomplir leurs tâches métaboliques et leurs tâches de transport. Car la cellule nerveuse se concentre entièrement sur la préservation de sa structure extrêmement compliquée, et donc surtout sur la préservation des surfaces, c.-à-d. des membranes. Les membranes se chargent de la tâche principale de la cellule nerveuse: c'est ici qu'a lieu le passage entre l'excitation et la "non-excitation". Ce changement se mesure au moyen de la tension (mesurée en mV). On fait la distinction entre un potentiel de repos et un potentiel d'action. La configuration entière de la cellule nerveuse et de la cellule gliale repose sur cette fonction. C'est ainsi que certaines cellules gliales (astroglie) se sont spécialisées dans le transport de substances des capillaires (f sur l'ill. C40/1) en direction de la cellule nerveuse. Par conséquent, rien ne part des capillaires très denses du cerveau et de la moelle épinière sans avoir été contrôlé au préalable avant d'aboutir à la cellule nerveuse. D'autres cellules gliales se sont spécialisées dans l'enveloppement des cellules nerveuses par des gaines isolantes (oligodendrogliose dans le système nerveux central, ill. C40/2, resp. les cellules de Schwann dans le système nerveux périphérique, ill. C40/3). D'autres cellules gliales enveloppent les terminaisons axonales dans la périphérie (téloglie, b sur l'ill. C40/4).

## C40/1 Cellule nerveuse

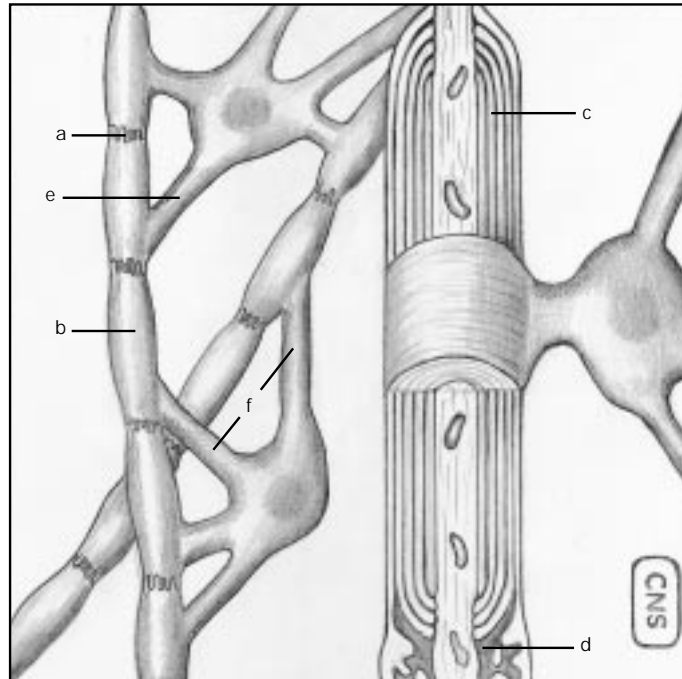


Au sein d'une cellule nerveuse, on fait la distinction entre la masse cellulaire (péricaryon) centrale groupée autour du noyau cellulaire et les nombreux prolongements. Parmi les prolongements, on fait la distinction entre les dendrites qui transmettent les informations au péricaryon et le neurite (seulement existant au singulier). Celui-ci transmet l'information à la cellule nerveuse suivante.

Lorsque l'on observe le péricaryon (présenté en coupe sur l'illustration), on reconnaît les nombreuses caractéristiques communes à chaque cellule des mammifères: les mitochondries (a), le réticulum endoplasmatique (b), l'appareil de Golgi (c) et les nombreuses fibrilles du cytosquelette (d). L'appareil de Golgi et le réticulum endoplasmatique sont particulièrement prononcés dans la cellule nerveuse car tous les deux jouent un rôle dans la production et le renouvellement de la surface énorme de la membrane des cellules nerveuses. On trouve un réseau de fibres prononcé dans les nombreux prolongements des cellules en tant que sous-unités du squelette cellulaire. Sur l'illustration de gauche, on reconnaît également des formations spéciales des prolongements, c'est-à-dire les nombreuses synapses (e).

## C40/2

### Gaines myéliniques du système nerveux central

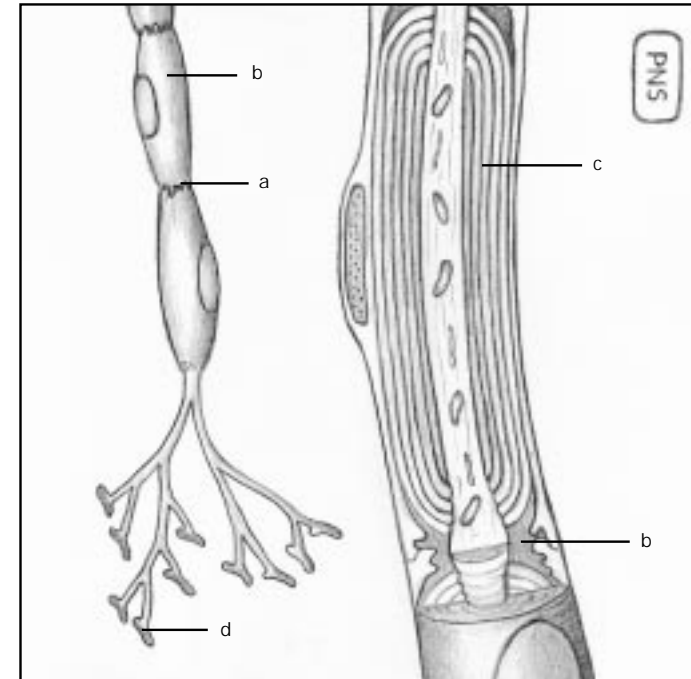


En principe, la membrane de la cellule nerveuse est responsable des processus de transmission des impulsions nerveuses. Par ailleurs, il existe une relation entre l'épaisseur de l'axone et la vitesse de transmission. Au plus un axone est épais, au plus la vitesse de transmission est élevée. Sans cellules intermédiaires adéquates (cellules gliales spécialisées), la transmission de l'excitation est continue (n'existe que chez les invertébrés ou dans les fines fibres du système nerveux végétatif des invertébrés). Afin d'augmenter la vitesse de transmission, des fibres nerveuses pourvues de gaines myéliniques se forment, interrompues par des entailles profondes (a) (appelées étranglements de Ranvier) à intervalles de 1 à 3 mm. Ceci permet d'augmenter considérablement la transmission de l'excitation sans que le diamètre de l'axone ne doive fortement augmenter. L'excitation passe alors d'entaille en entaille et la transmission devient plus rapide. L'isolation existante entre chaque entaille (b) est réalisée par l'isolation au moyen de substances contenant de la graisse (lipides, myéline, céphaline, phosphatides, lécithine, cérébrosides, etc.). Un empilement régulier de lamelles de lipoprotéines extrêmement fines et de la membrane de la cellule gliale (c) se forme. Ces isolations en forme de spirale sont interrompues aux entailles (d).

Dans le système nerveux central, les axones appelés oligodendrocytes se chargent de l'isolation. Par ailleurs, ils sont importants pour le métabolisme des cellules nerveuses. L'isolation (e) simultanée de plusieurs segments entre les entailles (segments interannulaires) par plusieurs prolongements en forme d'étoile ainsi que l'approvisionnement (f) de plusieurs fibres nerveuses est caractéristique des oligodendrocytes.

## C40/3

### Névroglie des cellules nerveuses périphériques

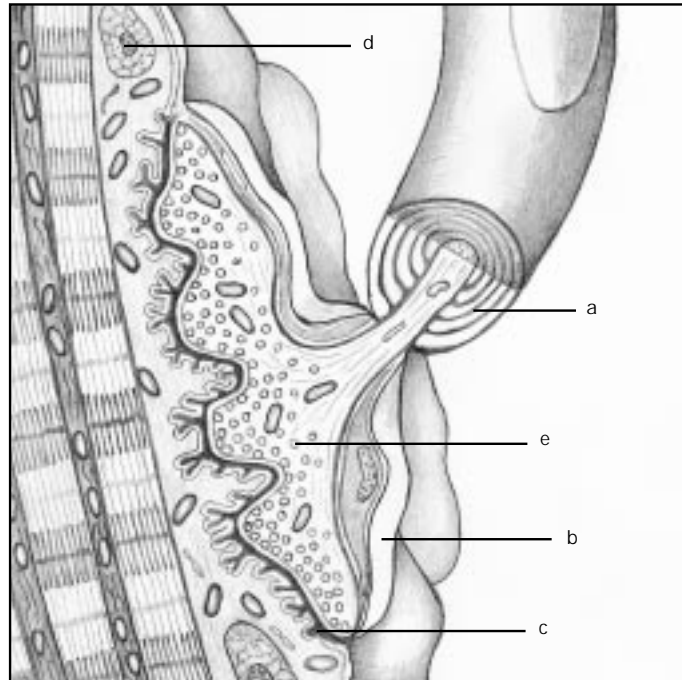


De même que les oligodendrocytes au niveau du système nerveux central, les cellules de Schwann forment les gaines myéliniques pour l'isolation des axones au niveau du système nerveux périphérique. Ici également, des entailles (a) et des segments interannulaires (b) se forment. Le fait que chaque cellule n'approvisionne qu'un seul segment interannulaire est caractéristique des cellules gliales du système nerveux périphérique. A l'endroit de l'entaille, le passage à une autre cellule gliale est réalisé. La structure des gaines myéliniques et des membranes des cellules gliales (c) correspond à celle de l'oligodendrocyte. Pour la fonction de l'axone (souvent appelé "neurite"), le passage d'une partie isolée à une membrane plus ou moins libre signifie que l'excitation passe d'entaille en entaille (transmission saltatoire de l'excitation). Ceci signifie une augmentation considérable de la transmission de l'excitation.

Les ramifications des axones à la terminaison des nerfs périphériques peuvent être extrêmement variées. Elles peuvent se terminer librement dans un autre tissu (terminaisons nerveuses libres) (d). Souvent, elles sont intégrées aux terminaisons compliquées de la télégliose, comme p.ex. les corpuscules du tact ou d'autres organes des sens compliqués.

# C40/4

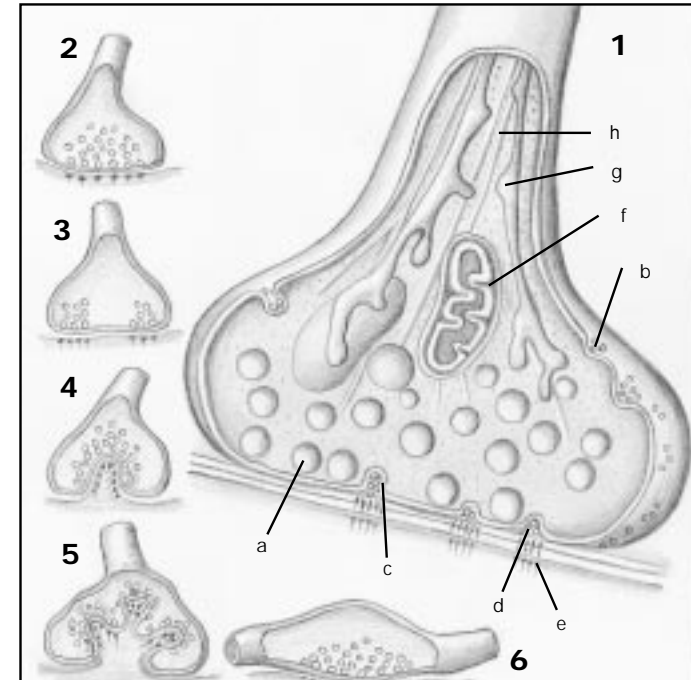
## Plaque motrice terminale



La plaque motrice terminale représente une forme spéciale de synapse où la transmission de l'excitation a lieu d'une cellule nerveuse à une fibre musculaire striée du squelette. Peu avant la plaque motrice terminale, l'axone perd sa gaine myélinique (a) et il n'est plus enveloppé que par la cellule gliale même (téléglie, b). La section terminale de la cellule nerveuse s'élargit au lieu de contact avec la fibre musculaire et forme à nouveau de nombreux renflements synaptiques, des mitochondries et des granules des genres les plus différents. Les ramifications terminales de l'axone se fixent de manière serrée à la membrane cellulaire, à la fibre musculaire (membrane postsynaptique), à l'occasion de quoi la membrane de la cellule musculaire forme un appareil intensif de plis pour agrandir la surface (c). Dans le cytoplasme de la fibre musculaire, on rencontre un nombre extrêmement élevé de noyaux de la cellule musculaire (d), ce qui provoque un léger bombement de toute la plaque terminale. De cette manière se forme un lieu de contact énorme où une seule impulsion nerveuse peut déclencher une excitation de la fibre musculaire. Les vésicules (e) synaptiques présentes dans les terminaisons des axones contiennent de l'acétylcholine en tant que transmetteur qui selon le mécanisme se déroulant dans les synapses se fixe aux récepteurs de la membrane postsynaptique et entraîne à cet endroit la formation d'une nouvelle excitation de la fibre musculaire.

# C40/5

## Synapse



Par synapse, on désigne une structure de contact spécifique servant à la transmission de l'excitation par laquelle une cellule nerveuse "inerve" (1) une autre cellule. En principe, on fait une distinction entre les synapses électriques et les synapses chimiques. Les synapses électriques transmettent directement l'excitation à une membrane avoisinante; très rare dans le système nerveux de l'homme - entre les cellules auditives de l'oreille interne ou entre les cellules sensorielles de la rétine (illustrations). En ce qui concerne les synapses chimiques, la cellule nerveuse se termine par des petits renflements bulbiformes (boutons terminaux, ill. C40/1, e) qui se sont spécialisés dans la transmission des informations. Synapse chimique, cela signifie que l'excitation a lieu indirectement par l'intermédiaire de certaines substances chimiques. L'excitation qui a été conduite par la cellule nerveuse le long de la membrane cellulaire jusqu'au renflement bulbiforme est transformée en une libération corrélée temporaire de substances de transmission encapsulées dans des structures vésiculaires (vésicules synaptiques) (a). L'impulsion nerveuse, dénommée dépolarisation, ouvre temporairement les canaux calciques contrôlés par tension dans la membrane encore située avant le lieu de transmission proprement dit. Etant donné que la concentration de calcium à l'extérieur des cellules est toujours 1000 fois plus élevée qu'à l'intérieur de la cellule, le calcium se répand dans la cellule nerveuse et la concentration croissante de calcium déclenche la libération de vésicules contenant des transmetteurs.

# C40/5

## Synapse

Les vésicules se mélangent tout d'abord à la membrane présynaptique (c), à l'occasion de quoi les transmetteurs sont ensuite libérés dans la fente synaptique (d) et sont recueillis ensuite par la membrane postsynaptique. C'est précisément là que les transmetteurs se fixent aux récepteurs spécifiques (e) et ouvrent des canaux couplés qui par la pénétration d'ions de sodium dépolarisent la membrane des cellules suivantes dans une région délimitée. Par un mécanisme de réaction en chaîne, l'ouverture d'autres canaux avoisinants est réalisée et une dépoliarisation se reproduisant naît, se répandant sur toute la membrane plasmique de la cellule suivante. Après la dépoliarisation, les transmetteurs se dégradent ou sont réabsorbés dans le renflement bulbiforme.

Etant donné qu'une synapse doit réaliser ce processus en un temps souvent très court (plusieurs fois par seconde), elle est donc un lieu d'activité métabolique intense. C'est la raison pour laquelle on y trouve des mitochondries (f) présentant un haut bilan énergétique ainsi que des prolongements du réticulum endoplasmique (g) en tant qu'indice d'un haut bilan de substances. Les filaments du cytosquelette (neurofilaments) (h) contenus dans la synapse servent de structure de transmission pour le transport axonal qui sert de chemin aux transmetteurs et aux éléments constitutifs de la membrane, p.ex. du péricaryon à la synapse.

Selon le genre des vésicules synaptiques et des épaissements de la membrane présynaptique et postsynaptique, on distingue deux types de synapses (Gray I et II). Les synapses de type Gray I possèdent des vésicules rondes et claires ainsi qu'une fente d'une largeur de 30 nm, bien que la membrane postsynaptique soit plus épaisse que la membrane présynaptique (2). Les synapses de type Gray II ont une fente d'une largeur de 20 nm et présentent un épaissement de la membrane postsynaptique étroit et très souvent, plusieurs champs actifs se trouvent les uns à côté des autres (3). Les synapses de type Gray I sont désignées comme synapses activatrices et les synapses de type Gray II comme synapses inhibitrices. Les synapses inhibitrices suppriment la possibilité d'excitation de la cellule suivante.

En plus de ces types de base, il existe également des formes spéciales quant à la forme et l'étroite différenciation des fonctions: p.ex. des synapses avec des bandes synaptiques (4) et des synapses complexes avec bandes (5). Les axones peuvent également former des synapses "en passant" (6). Elles ont soit les membranes présynaptiques et postsynaptiques typiques ou elles ont des terminaisons libres (dans le système nerveux végétatif). Elles ne sont alors plus entourées de cellules gliales à leur terminaison et cèdent les transmetteurs à distance aux cellules avoisinantes. La plaque motrice terminale est également une forme spéciale de synapse.

# Questions

**1. Dans le système nerveux central, combien de synapses peuvent terminer une cellule nerveuse?**

Jusqu'à 20 000.

**2. Combien de cellules nerveuses se trouvent dans l'encéphale et le cervelet?**

Environ  $10^{12}$  -  $10^{14}$ .

**3. Quelles sont les cellules nerveuses participant au propre réflexe?**

1) La cellule dont l'axone se trouve dans le fuseau musculaire (capteur) = cellule des ganglions spinaux pseudo-unipolaire.

2) La cellule qui innerve le muscle = cellule multipolaire dans la corne frontale de la moelle épinière.

**4. Quels sont les deux types de cellule formés par le tissu nerveux?**

Les nerfs (neurones) et les cellules gliales.

**5. Où a lieu a) la réception de l'excitation (afférence) et b) la transmission de l'excitation (efférence)?**

a) Dendrite.

b) Neurite.

**6. Comment appelle-t-on le mécanisme par lequel les substances sont transportées du péricaryon à la périphérie en longeant les fibres du cytosquelette?**

Transport axonal.

**7. Comment appelle-t-on l'endroit de transmission de l'excitation d'une cellule nerveuse à une autre?**

Synapse.

**8. Quel est le "truc" utilisé par la nature afin d'augmenter la vitesse de l'influx nerveux?**

Des entailles et des segments isolés (myélinisés).

**9. Comment appelle-t-on la forme de propagation de l'excitation dans des nerfs myélinisés?**

Transmission saltatoire de l'excitation.

**10. Combien de nerfs cérébraux forment le système nerveux périphérique de la tête?**

12

**11. Quels segments de la moelle épinière aliment le plexus du bras (Plexus brachialis)?**

C<sub>5</sub> - Th<sub>1</sub>

**12. Quels segments de la moelle épinière alimentent la cuisse, la jambe et le pied?**

L<sub>5</sub> - S<sub>3</sub>

**13. Quels ganglions du tronc cérébral font partie du télencéphale?**

Nucleus caudatus, Putamen et Pallidum.

**14. Quels ganglions du tronc cérébral font partie du diencéphale?**

Pallidum, thalamus et noyaux sous-thalamiques.

**15. Comment l'information est-elle codée dans le système nerveux?**

Sous forme de suite d'impulsions.

**16. Comment appelle-t-on l'excitation de la membrane de la cellule nerveuse?**

Potentiel d'action.

**17. Quel est le transmetteur qui est présent dans les voies de la Substantia nigra au Striatum et qui manque dans la maladie de Parkinson?**

La dopamine.

**18. Comment appelle-t-on l'organe récepteur dans le Ductus cochlearis de l'oreille interne?**

L'organe de Corti.

**19. Comment se fait la liaison œil-cortex visuel?**

Nervus opticus, Chiasma opticum, Tractus opticus, Corpus geniculatum laterale, Radiatio optica.

**20. Quelles fonctions sont prises en charge par l'hippocampe?**

Apprendre et mémoriser.

