

# The Brachial Plexus

## Illustrating Neurocytology and Neuroanatomy

A Masters Project at the  
Postgraduate Course in Scientific Illustration  
Maastricht

by

Bellanger Sven

Maastricht 2005



# The Brachial Plexus

## Illustrating Neurocytology and Neuroanatomy

Voorwoord

Inleiding

### Hoofdstuk I Neurocytologie

Overzicht zenuwstelsel	9
De zenuwcel	11
Het primair(e) afferente neuron	12
Submicroscopische kenmerken van een neuron	12
Axonen	18
Neuronale pulsgeleiding	18
Synapsen	23
Receptoren in de huid	24
Dermatomen	28

### Hoofdstuk 2 Neuroanatomie

De Plexus Brachialis	31
Topografische Anatomie	34
De 3D-reconstructie	34

Epiloog

Dankwoord

Bibliografie

Bestudeer de wetenschap  
van de kunst, en de kunst  
van de wetenschap.

Da Vinci

## Voorwoord

Als je geïnteresseerd bent in biologie, archeologie, anatomie, cytologie... kortom de wetenschappen, en het tekenen zit in je bloed - bestaat er dan een betere toekomst dan een leven als wetenschappelijk illustrator ?

Het werk van Da Vinci passioneert iedereen omdat zijn codexen tot de verbeelding spreken. De passie om te weten, te onderzoeken - te begrijpen - straalt van zijn schetsen af. Een man, zo gefascineerd door deze wereld dat zijn nieuwsgierigheid naar haar functioneren geen grenzen kende. Diezelfde verwondering over de dingen en het leven om ons heen, zou ook een wetenschappelijk illustrator moeten raken en beroeren, het is zijn drijfveer.

Bij de wetenschappelijke illustratie gaat het erom tekeningen te maken met een gemeten precisie en grafische kwaliteit, die de wetenschapper in staat moeten stellen efficiënt te communiceren. Het accent ligt daarbij op de verduidelijking en het uitlichten van de belangrijkste details. Het is daarbij cruciaal dat de tekening een objectieve weergave is van het onderzoek zelf. Voor vrije interpretatie is hier geen plaats.

Maar het is net de kunst om de motivatie en de passie voor het onderwerp onder het oppervlak te laten doorschemeren, opdat de opdrachtgever en zijn publiek herinnerd kunnen worden aan wat ook hen gedreven heeft...

## Preface

*When interested in biology, archaeology, anatomy, cytology, ... in short sciences and when drawing is your passion, what other future can you wish for than to become a scientific illustrator ?*

*The Da Vinci work instils passion in everybody because his manuscripts appeal to one's imagination. The passion to know, to understand radiates from his sketches. A man, so fascinated by this world, that his curiosity to understand how everything functions, was endless. A scientific illustrator should have that same curiosity, it should be his motivation.*

*In scientific illustration the goal is to make sketches both with a graphic quality and a scientific precision in order to allow the scientist to bring over his message clearly. The accent hereby lies in clarifying and highlighting the most important details. It is crucial that the sketch is nevertheless an objective, accurate reproduction of the subject. There is no room here for the illustrator's "free style and interpretation".*

*However the illustrator must be able to pass on his passion and his motivation to his client and to the public, so that they too are reminded of what their passion is...*



## Inleiding

Na het kunstsecundair onderwijs te hebben voltooid, behaalde ik na vier jaar, met onderscheiding, te Gent het diploma Grafische Vormgeving. Maar mijn fascinatie voor de wetenschap heeft mij al die tijd niet kunnen loslaten. De ideale oplossing om mijn tekenvaardigheden te combineren met wetenschappen, bleek in een Post- HBO opleiding in Maastricht te liggen. Deze opleiding is een samenwerkingsverband tussen de Academie Beeldende Kunsten Maastricht en de Faculteit der Geneeskunde van de Universiteit Maastricht, Capaciteitsgroep Anatomie/Embryologie.

Deze publicatie, die ik zelf geschreven, geïllustreerd en vorm heb gegeven, geldt als eindexamen voor de Post- HBO opleiding wetenschappelijke illustratie die ik in Maastricht heb mogen volgen. Het onderwerp was vrij te kiezen en er is daarom gekozen voor mijn passies: neurologie en cytologie.

Het eerste hoofdstuk is voortgekomen uit de vraag van Prof. L. Leybaert, vakgroep fysiologie en fysiopathologie aan de universiteit Gent, om een poster te ontwerpen van de pseudo-unipolaire zenuwcel. Oorspronkelijk betrof het een korte inleiding over de cytologie, die uiteindelijk is uitgegroeid tot een apart hoofdstuk. Het tweede hoofdstuk behandelt de driedimensionale reconstructie van de plexus brachialis. Deze illustraties ondersteunen de studie van T. Vanhoof, vakgroep anatomie, embryologie, histologie en medische fysica. In zijn dissertatie wordt het neurodynamische bewegingspatroon van de plexus onderzocht. Kennis van het anatomische verloop is hierbij belangrijk, de illustraties vormen hierbij een visueel hulpmiddel.

De twee hoofdstukken combineren twee onderwerpen die mijn interesse wegdragen: cytologie en neurologie. Door mijn verhaallijn te beginnen met de cytologie van de zenuwcel en van daaruit de neuronale pulsgleiding te volgen tot aan de plexus brachialis, kon ik beide onderwerpen behandelen. Door de publicatie aldus op te bouwen, kon ik de lezer een globaal inzicht aanreiken van zowel de (sub)microscopische als anatomische aspecten van dit deel van het zenuwstelsel. Het gaf mij bovendien als illustrator de kans om in mijn publicatie een grote verscheidenheid aan onderwerpen en teken-technische middelen op te nemen.

## Introduction

*After finishing high school, I studied graphic design in Ghent, where after four years I obtained my masters degree with honours. But my fascination for science still lingered and so I started to combine my two passions (art and science) by following a postgraduate course on scientific illustration in Maastricht. This course is a joint project of the academy of visual arts and the university's medical department of anatomy/embryology.*

*This publication, that I wrote, designed and illustrated myself, has to be seen as my final examination for the Post- HBO education in Maastricht. I was free to choose the subject myself, so I chose my passions: neurology and cytology.*

*The first chapter developed from the request made by Prof. L. Leybaert, head of the physiology and physiopathology department of the university of Ghent. He wanted me to design a poster of the pseudo-unipolar nerve cell. Originally it started as a short introduction to the cell cytology, it finally became a chapter on its own.*

*The second chapter treats the three dimensional reconstruction of the brachial plexus. These illustrations support T. Vanhoof's study (Department of anatomy, embryology, histology and medical physics). In his dissertation he studies the neurodynamic movement pattern of the plexus. The knowledge of the anatomical path is of primordial importance, whereby the illustrations form the visual aid.*

*Both chapters combine the two subjects that interest me: cytology and neurology. By beginning this publication with the cytology of the nerve cell and from there on following the neural pulse conduction till the brachial plexus, I was able to cover both subjects.*

*This way, I could give the reader a global view as well of the (sub)microscopical structure as of the anatomical aspects of this part of the nervous system. As an illustrator it also gave me the opportunity to include in my publication a wide variety of subjects and drawing techniques.*





## Hoofdstuk I

### Neurocytologie

#### Overzicht zenuwstelsel

Het humane zenuwstelsel is de meest intrigerende vorm van georganiseerd weefsel die we kennen. Per kubieke centimeter in het menselijk brein kunnen er zich 50 miljoen zenuwcellen of neuronen bevinden, waarvan elke cel communiceert met duizende andere neuronen. Die neuronenschakeling controleert elke perceptie, elke beweging en stelt ons in staat te leren en te herinneren, te dromen en te fantaseren, logisch en creatief te denken, maar ook stemming en emoties te ervaren.

Binnen ons zenuwstelsel kan een vegetatief (zelfstandig) en animaal (onder invloed van onze wil) deel worden onderscheiden. Beide hebben aandeel in het centrale en in het perifere zenuwstelsel. Ons zenuwstelsel kan men dus onderverdelen in een centraal zenuwstelsel- CZS (hersenen en ruggenmerg) en een perifeer zenuwstelsel- PZS (de zenuwen van hoofd, romp en ledematen). Het CZS is o.a. verantwoordelijk voor de integratie van informatie en het PZS voor het overbrengen van informatie van of naar het centraal zenuwstelsel.

Een totaaloverzicht van het zenuwstelsel vindt men terug op de pagina hiernaast. Hier ziet men hoe het zenuwstelsel een netwerk vormt dat zo verdeeld is dat dit tot elk deel van ons lichaam reikt.

Deze illustratie is in verschillende stappen opgebouwd. De eerste en belangrijkste stap was het maken van een anatomisch verantwoorde modeltekening. Vaak ziet men in soortgelijke illustraties dat er aan de vorm van het menselijk lichaam weinig aandacht is besteed. Na de correcte, natuurgetrouwe tekening naar levend model, werd er een aquarel van gemaakt op Fabriano, 300 grams, aquarelpapier. Het is een glad en vrij wit papier waar men lang op kan doorwerken zonder de structuur ervan te beschadigen. De volgende stap bestond uit het intekenen van het skelet. Met aan de oppervlakte zichtbare en palpeerbare botpunten als aanknopingspunt, kon ik het skelet zo natuurgetrouw mogelijk in de figuur tekenen. Met behulp van de computer werd de

Fig. 1.1  
Algemeen overzicht  
van het zenuwstelsel

*Global view of the  
nervous system.*

## Chapter I.

### Neurocytology

#### Nervous system overview

*The human nervous system is the most intriguing form of organised tissue we know. Every cubic centimetre of the human brain contains up to fifty million nerve cells or neurons and each one of them communicates with thousands of other neurons. Those neuronlinks control each perception, each movement and enable us to learn, remember, dream, fantasize, think logically and creatively, but also to experience emotions and moods.*

*Apart from the neurovegetative (autonomic) nervous system, that controls our inner environment, we distinguish a voluntary nervous system (under control of our will) that consists of a central nervous system (CNS: brain and spinal cord) and a peripheral nervous system (PNS: nerves of the head, body and limbs). The CNS controls i.a. the information integration and the PNS controls the information transport from and to the CNS.*

*A global illustration of the nervous system is on the previous page. Here we can see that the nervous system consists of a vast network that reaches into every part of the body.*

*This illustration was built up in various steps. The first and most important one was to make an exact anatomical life drawing. We often see in similar illustrations that insufficient attention is paid to the anatomical accuracy of the human body. After drawing a correct, true-to-life anatomically accurate body, based on a living model, an aquarelle was made on Fabriano 300 grams paper. It's a white, smooth paper one can work on for a long time without destroying the paper structure. The next step consisted of inserting the skeleton in the drawing. With the help of superficial, visible and palpable bone structures, I was able to insert it as correctly as possible. With the computer this pencil drawing was then put into the aquarelle. Using the skeleton as a frame of reference, and referring to different anatomical atlases,*

potloodtekening vervolgens in de aquarel geplaatst. Door het skelet als kader te gebruiken en op basis van vele anatomische boeken, kon ik als laatste stap het zenuwstelsel in tekening brengen. Het ziet er vrij eenvoudig uit, maar er is veel zoekwerk aan te pas gekomen om elke zenuw zijn correcte plaats te geven.

Omdat zenuwen een vrij strakke vorm hebben, zijn ze voor de illustratie in het programma Illustrator getekend. Het totale pakket is daarop in Photoshop geopend en bewerkt. Zenuwbanen die achter een bot verdwijnen, heb ik lichtjes laten doorschemeren zodat ze nog steeds te volgen zijn. Kennis hoe het zenuwstelsel zich in het lichaam bevindt ten opzichte van het skelet, was hier noodzakelijk om elke zenuw een accurate dieptewerking in zijn verloop te geven.

Binnen het zenuwweefsel onderscheiden we hoofdzakelijk twee 2 soorten cellen, namelijk zenuwcellen of neuronen en steuncellen of gliacellen. Neuronen zijn de cellen die het eigenlijke signaal genereren of doorsturen. De (neuro)gliacellen vormen het steun- en omhullingsweefsel in het CZS. Ze zijn talrijker en brengen structuur in het zenuwweefsel aan. Wij gaan ons hier verder toeleggen op het perifere zenuwstelsel.

*I was able in a last step to add the nervous system. It looks quite simple but in fact a lot of research was required to put each nerve into its correct place.*

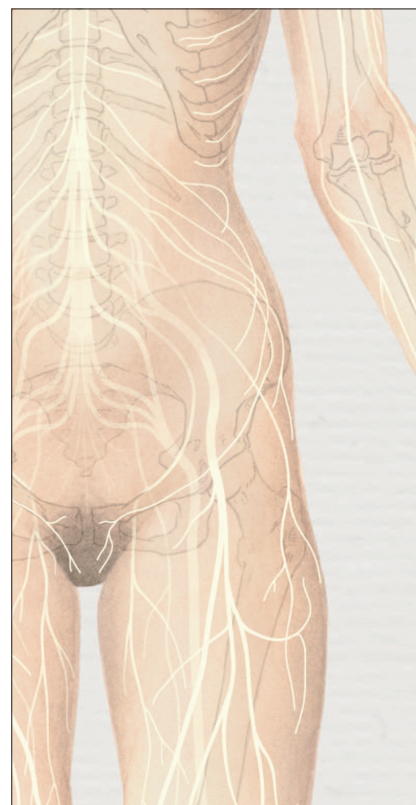
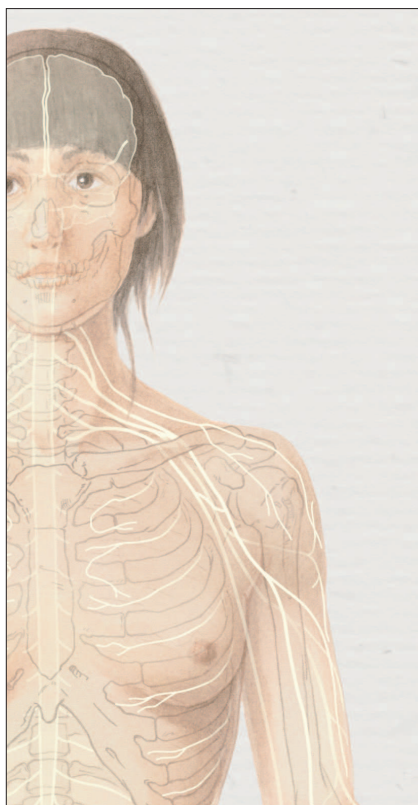
*Because nerves have a rather rigid form, I used "Illustrator" as software to draw them. The total construction was then opened and processed in "Photoshop". Nerve bundles passing behind bones were drawn slightly visible so one can still follow their pathway. A profound knowledge of the spatial relation between nerve bundles and skeleton was necessary to draw them accurately in 3D.*

*In nerve tissue we distinguish two types of cells, the nerve cells or neurons and the supporting cells or glia cells. Neurons are cells that generate a signal and propagate it along the nerve bundles. The (neuro)gliacells form the supporting sheath in the CZS. They are more numerous and they bring structure to the nervous tissue. We will concentrate on the peripheral nervous system.*

Fig. 1.2

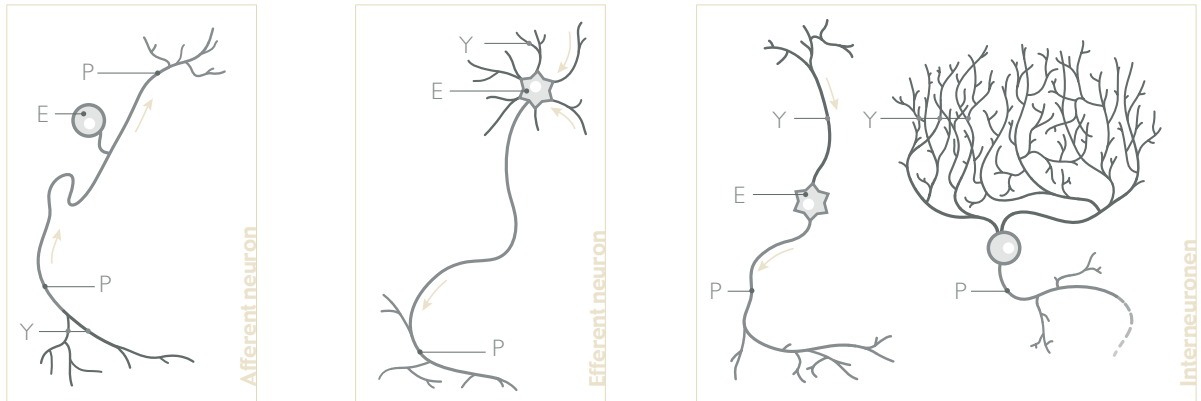
Drie uitvergrotingen van fig. 1.1. Het verloop van de verschillende zenuwen ten opzichte van het skelet is duidelijk te zien.

Three enlargements of fig. 1.1. The course of the different nerves in relation to the skeleton is clearly visible.



## De zenuwcel

Het neuron is de kleinste functionele eenheid van het zenuwstelsel. Ook al zijn er, afhankelijk van hun doel, verschillende typen neuronen, toch vinden we onderlinge overeenkomsten qua bouw. Een neuron heeft een relatief groot cellichaam, het perikaryon, dat gezien kan worden als bestuurscentrum en voedingscentrum van de cel (onderstaande illustratie, symbool E.).



**Fig. 1.3**  
Structurele diversiteit bij neuronen. Enkele voorbeelden ter illustratie van de verschillen in vorm.

*Structural diversity of neurons. These examples illustrate some of the variety in neuron shape.*

De dendrieten (aangeduid met symbool Y.) vergroten door hun vertakkingen het oppervlak van de cel. Samen met de celmembraan vormen deze dendrieten het receptieve oppervlak van het neuron. Aan de dendrieten eindigen de uitlopers van de andere neuronen. Het axon (symbool P) is een uitloper die de prikkel verder geleidt. De axonheuvel (fig. 1.5, symbool O.) is de plaats waar dit hele proces zijn aanvang kent. Op een bepaalde afstand van de axonheuvel wordt het axon omhuld door een lipoid- bevattende stof, myeline. Het axon kan ook zijtakken hebben, de axoncollateralen, en vertakt zich tenslotte tot een eindboompje (telodendron) waar het met kleine eindknopjes eindigt bij een zenuw- of spiercel. Bij een eindknop ('bouton terminal'), die met het membraanoppervlak van de eraan geschakelde cel de synaps vormt, vindt de impulsoverdracht naar andere cellen plaats.

Op basis van de signaalrichting kunnen drie soorten neuronen onderscheiden worden. Allereerst zijn er de sensorische neuronen die signalen vervoeren van perifeer naar centraal. Het zijn 'afferente neuronen', ze voeren informatie aan. Daarnaast heb je de motorische neuronen of efferente neuronen die signalen

## The nerve cell

The neuron is the smallest functional unit of the nervous system. Although there are, depending on their purpose, different kinds of neurons, they are quite similar in structure. A neuron has a relatively large cell body, the perikaryon, that can be considered as the control centre and nourishing centre of the cell. (illustration below, symbol E).

The dendrites (marked symbol Y) enlarge the cell surface by their branches. Together with the cell membrane they form the cell's receptive surface. The extensions of other neurons end at the dendrites. The axon (symbol P), is an extension that conducts the stimulus further away from the cell. The axon hillock (fig. 1.5, symbol O) is the place where this whole process starts. At a certain distance from the axon hillock the axon is covered by a lipid containing substance, called myeline. The axon may have branches, the axon collaterals, all ending as a bundle of branches (telodendron) with a synaptic terminal in the vicinity of a nerve or muscle cell. At this synaptic terminal ("bouton terminal"), which forms with the surface of the nearby cell the synapse, transmission of the signal to other cells takes place.

Based on the signal direction we can distinguish three kinds of neurons. Sensory neurons conduct stimuli from the periphery to the CNS. They are called afferent neurons, they conduct information. The motor neurons or efferent neurons conduct stimuli from the CNS to the periphery. The interneurons form a large group of neurons only present in the

van centraal naar perifeer voeren. Tot slot heb je nog een bredere groep, de interneuronen. Deze neuronen komen uitsluitend voor binnen het CZS en brengen signalen over van het ene neuron naar het andere.

### Het primair(e) afferente neuron

Het primair afferent neuron wordt ook wel T- cel of pseudo-unipolair neuron genoemd omwille van de specifieke vorm. De cel is verantwoordelijk voor het vervoer van prikkels, zowel vanuit het interne als externe milieu. De T- cel behoort tot het PZS. Het axon van deze cel komt ook voor in de plexus brachialis, de zenuwvlecht van de ventrale ruggenmergszenuwen C5-Th1, met afsplitsingen naar arm en schoudergordel.

In hoofdstuk 2 gaan we dieper in op het verloop van die spinale zenuwen in de plexus brachialis. Voor ons is nu van belang dat de achterste spinale wortel een spoelvormige verdikking bevat, het spinale ganglion, dat uit een verzameling van cellichamen van primair afferente neuronen bestaat. De cellichamen liggen als celnesten of als celrijen tussen de bundels van zenuwvezels.

### Submicroscopische kenmerken van een neuron

We beschouwen hier de neurocytologie aan de hand van een pseudo-unipolair neuron zoals afgebeeld op pagina 13, wat ik in opdracht van Prof.L.Leybaert heb gemaakt. Op deze opdracht komen we later nog terug. Het is nu van belang te weten hoe zo'n cel werkt, om later het ontstaan van een prikkeloverdracht beter te kunnen begrijpen.

De uitvergroting op pagina 15 geeft het volgende weer:

De nucleus (celkern) bestaat uit karyoplasma dat omgeven wordt door een dubbele kernmembraan voorzien van poriën. In het karyoplasma bevinden zich fijnverdeelde chromatinegranulae, het DNA en enkele eiwitten.

*CNS. They conduct stimuli from one neuron to another.*

### The primary afferent neuron

*This primary afferent neuron, also called T-cell or pseudo unipolar neuron because of its specific shape, is responsible for transmitting stimuli both from the internal as from the external environment. It is part of the peripheral nervous system. We find this cell's axon in the brachial plexus, the nerve bundle of the ventral spinal nerves C5-Th1, with branches to the arm and shoulder girdle.*

*In chapter two we will go further into detail concerning the pathways of the spinal nerves in the brachial plexus. What interests us now is that the dorsal spinal root has an oval shaped thickening, the spinal ganglion, consisting of a cluster of neuron bodies of primary afferent neurons. The cell bodies are situated as clusters or rows between the nerve bundles.*

### Submicroscopical features of a neuron

*Here we describe the neurocytology using a pseudo-unipolar neuron as illustrated on page 13, made on request by Prof. L. Leybaert. We will discuss this assignment later on. Now it is important to know the functioning of such a cell in order to understand later on the origin of stimulus transmission.*

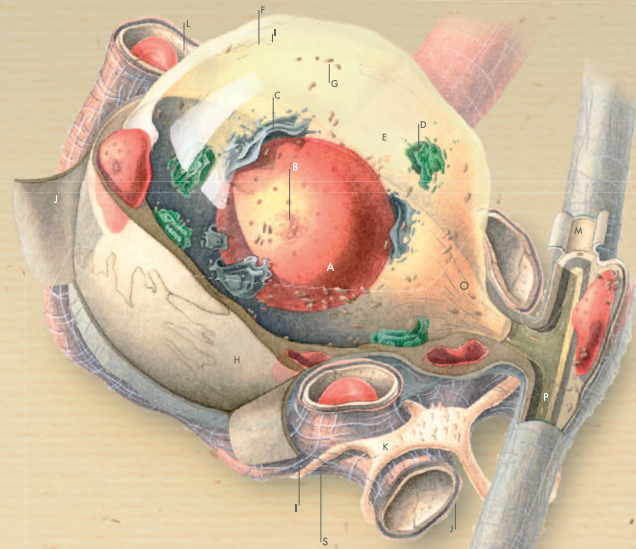
*The enlarged illustration on page 15 shows us the following:*

*The nucleus consisting of karyoplasm is enveloped by a double membrane and connects with the cytoplasm through pores. In the karyoplasm are finely dispersed chromatine corpuscles, DNA and some proteins.*

Fig. 1.4

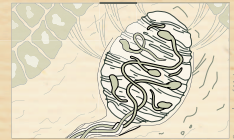
Poster van het pseudo-unipolaire neuron waarin o.a. de axon-reflex en de receptoren in de huid zijn afgebeeld. (ware grootte: 70cm)

Poster of the pseudo unipolar neuron in which are shown the axon-reflex and the skin receptors. (original: 70cm)



- A Nucleus
- B Nucleolus
- C Golgi - apparatus
- D Rough endoplasmatic reticulum
- E Perikaryon (cytoplasm)
- F Neurofibrils
- G Mitochondrion
- H Amphyocyte
- I Neurotubules
- J Basal lamina
- K Fibrocyte
- L Capillary
- M Myelin sheath
- N Node of Ranvier
- O Axon hillock
- P Axon
- Q Lysosome
- R Ribosomes
- S Microfibrils

Sensory receptors in the skin



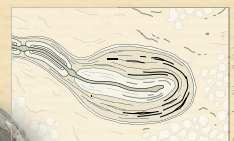
Meissner corpuscles



Pacinian corpuscles



Merkel cell receptors



Golgi tendon organs



Free nerve endings



Lamellipodial endings of hair follicles



**Axon Reflex**  
Neurogenic inflammation

When sensitive skin is stroked with a sharp object, a red line appears in seconds owing to capillary dilatation in direct response to the injury. The tissue damage releases bradykinin and prostaglandins, which activate or sensitize nociceptors. As well as transmitting impulses to the CNS in the normal, antidromic direction, the axons send impulses in an antidromic direction from points of bifurcation into the neighboring skin. The nociceptive endings respond to antidromic stimulation by releasing substance P and CGRP. Substance P produces plasma extravasation and CGRP binds with receptors on the walls of arterioles, leading to arteriolar dilatation. Substance P also binds with receptors on the surface of mast cells, stimulating them to release histamine. The histamine increases capillary permeability and leads to local accumulation of tissue

- Orthodromic conduction
- ..... Antidromic conduction
- Direction taken by impulses

pseudo-unipolaire neuron

Tevens ligt in het karyoplasma de nucleolus, die eiwitten en RNA bevat. Hier vindt de synthese van ribosomenonderdelen plaats. Eenmaal deze gemaakt zijn, komen ze via de kernporiën het cytoplasma in, waar ze samenkomen en ribosomen vormen. De nucleolus controleert de synthese van proteïne in de cel door middel van het RNA, dat op zijn beurt aangemaakt wordt op instructie van het DNA.

In het cytoplasma ligt het ruw endoplasmatisch reticulum, een gelaagd systeem van lamellaire membranen. Deze omsluiten vlakke, met elkaar communicerende, spleetvormige ruimten. Op de cytoplasmazijde van de membranen liggen de ribosomen, die voor de eiwitvorming instaan. Zoals reeds vermeld, staat het cellichaam voor het voedingscentrum van de gehele cel. Voor de instandhouding van de stofwisseling van een lang axon, is een zeer sterke eiwitsynthese noodzakelijk. De membranen zonder ribosomen noemen we glad endoplasmatisch reticulum. Dit functioneert in diverse metabolische processen zoals de synthese van lipiden, het metabolisme van carbohydraten en de detoxificatie van giftige stoffen.

Door het cytoplasma lopen neurofilamenten en neurotubuli. Ze behoren tot het cytoskelet en zijn het equivalent van de microtubuli van andere soorten cellen. De lange bundels vormen een netwerk dat de vorm van de cel in stand houdt. Langs de neurofilamenten en neurotubuli vindt ook het transport plaats van verschillende stoffen en organellen.

Een lysosoom is een voorbeeld van zo'n organel. Het is een membraan met enzymen die de cel gebruikt om door middel van fagocytose voedseldeeltjes of schadelijke stoffen op te lossen. Een cel gebruikt haar lysosomen ook om beschadigde of verouderde organellen te recycleren, een proces dat men autofagie noemt. Een lysosoom kan zijn doel, bijvoorbeeld een beschadigde cel, bereiken door de neurotubuli te gebruiken als een soort railspoor.

Het lysosoom en zijn verterende enzymen worden aangemaakt in het Golgi apparaat. We kunnen het Golgi apparaat vergelijken met een opslagplaats waar ook gerangschikt, verwerkt en getransporteerd wordt. Het Golgi apparaat bestaat uit meerlagige, door een membraan omgeven blaasjes (cisternen) die niet met elkaar

*Also in the karyoplasm we can find the nucleolus, containing RNA and proteins. This is the place where ribosome components are synthesised. Then these components are transferred through the nucleus pores into the cytoplasm where they merge and form the ribosomes. The nucleolus controls the protein synthesis by means of the RNA, that in its turn is synthesised according to the instructions of the DNA.*

*The cytoplasm also contains the rough endoplasmic reticulum (ER), a layered system of lamellar membranes, forming connecting tubules and sacs (cisternae). The cytoplasm side of those membranes is the location of the ribosomes, responsible for the protein synthesis. As we mentioned before, the cell body is the nourishing centre of the whole cell. To maintain the metabolism of a long axon a huge amount of protein synthesis is necessary. Membranes without ribosomes are called the smooth endoplasmic reticulum. This plays a role in various metabolic processes such as the synthesis of lipids, the metabolism of carbohydrates and the detoxification of toxic substances.*

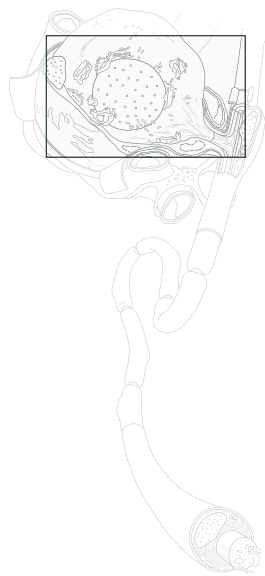
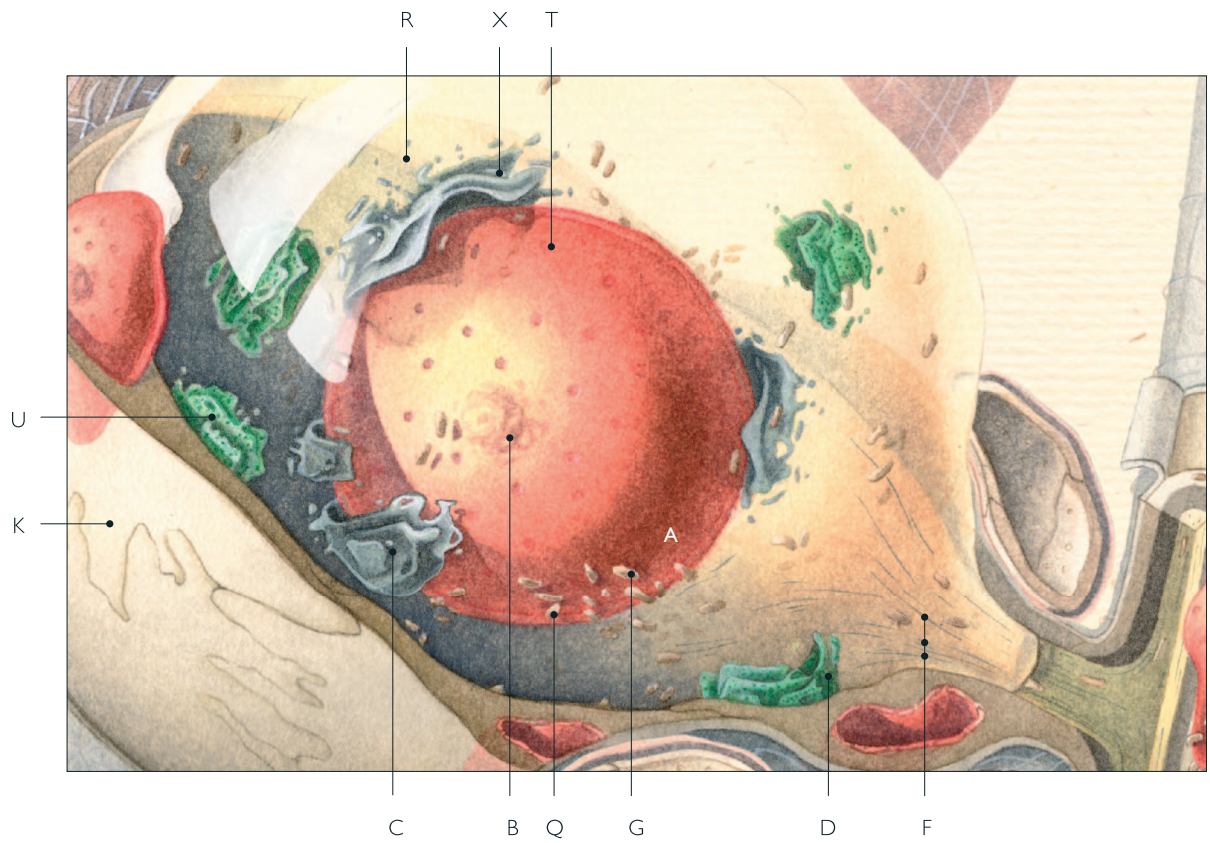
*Throughout the cytoplasm there is a network of neurofilaments and neurotubules, which are part of the cytoskeleton and are the equivalent of the microtubules in other cell types. This network of long fibre bundles not only sustains the shape of the nerve cell but also enables the transport of different kinds of substances and organelles.*

*A lysosome is an example of such an organelle. It is a membrane filled with enzymes that the cell uses to digest food particles, by means of phagocytosis, or to dissolve toxic substances. Lysosomes also recycle old or damaged organelles. This process is called "auto digestion". A lysosome uses the neurotubuli like a rail to reach its target; e.g. a damaged cell.*

*The lysosomes and their digesting enzymes are synthesized in the Golgi apparatus. This Golgi apparatus can be compared with a storage room where everything is stored, processed and transported. The Golgi apparatus consists of a stack of cisternae, those are multilayer membrane enclosed vesicles that are not interconnected.*

Fig. 1.5  
Detail uit de poster  
(fig. 1.4).  
Overzicht van  
het neuron met  
bijkomende legende.

Poster detail (fig. 1.4).  
Neuron overview with  
additional legend.



- A Nucleus
- B Nucleolus
- C Golgi apparaat
- D Ruw endoplasmatisch reticulum
- F Neurotubuli en Neurofilamenten
- G Mytochondriën
- K Fibrocyt
- Q Lysosoom
- R Vrije ribosomen
- T Kernporiën
- U Vaste ribosomen
- X Golgi-blaasje

in verbinding staan. Het apparaat heeft een regeneratiezijde, waar het transportvesikels ontvangt van het endoplasmatisch reticulum. Aan de randen van de cisternen van de secretiezijde worden afsnoeringen gevormd en zo ontstaan Golgi-blaasjes.

Een neuron bevat ook veel mitochondriën. Ze zijn steeds in beweging langs de neurotubuli en vormen het ademhalingsstelsel, en dus de plaats waar energieproductie van de cel plaatsvindt.

Elk van deze structuren is terug te vinden en afgebeeld op pagina 15. Aan dit eindresultaat is een lange zoektocht vooraf gegaan. Vele boeken zijn er geraadpleegd om tot een zo compleet mogelijke afbeelding te komen. Daarin vond ik vooral schematische voorstellingen en zwartwit foto's, die we verkrijgen met behulp van een elektronenmicroscop. Maar de tekening moest een accuraat beeld geven van elk organel en zijn plaats in de zenuwcel, dit allemaal met de suggestie van diepte!

De grootste uitdaging bleek echter te liggen in de uitvoering in kleur. Zo waren er weinig voorbeelden voorhanden om de kleur van elk organel te bepalen. In de weinige voorbeelden die ik vond, is enkel de kleurcode rood teruggevonden waarmee men de celkern aanduidt. Voor het axon zelf en het perikaryon moest ik teruggrijpen naar de anatomie, waar de kleurcode geel gebruikt wordt om zenuwen aan te geven. Met deze kleuren als basis, heb ik verder zelf keuzes moeten maken om elk organel een kleur toe te wijzen. Daarbij moest ik goed opletten alle elementen onderling van elkaar te onderscheiden, omdat vele een gelijkaardige tint hebben. Felle kleuren en glimmende glanslichten, zoals we die terugvinden in veel Amerikaanse illustraties, werden bewust vermeden. Het doel was immers een acceptabel, levendiger kleurgebruik toe te passen. Om dit te bereiken maakte ik gebruik van een terughoudender kleurenpalet. Dit alles ondanks het feit dat er in werkelijkheid geen kleur aanwezig is.

Nog een andere uitdaging kwam zich erbij voegen: het licht- en schaduwspel. Niet alleen moest er, uitgaand van schematische voorstellingen, een ruimtelijk beeld gemaakt worden, tevens moest er rekening gehouden worden met lichtinval en transparantie. Zo kun je door de celkern heen het Golgi apparaat zien doorschemeren. Ik heb ook rekening gehouden met

*It has a regeneration side, where transport vesicles from the ER are received and a secretion side where, by means of enclosures, Golgi vesicles are dispatched.*

*A neuron also contains lots of mitochondria. They constantly move along the neurotubules and form the cellular respiration apparatus, thus the place where the cell's energy production takes place.*

*Each of these structures can be found in detail in the illustrations on page 15. A long time was spent in consulting textbooks and atlases so as to get a complete overview of the illustration I wanted to make. In most of those books I only found schematic illustrations and black and white pictures made by means of an electron microscope. But I wanted to draw an accurate image of each of the organelles and its place within the nerve cell, all of that with the suggestion of depth!*

*The biggest challenge however was the colouring. Few examples exist where each organelle has its own specific colour. I only found the red colour mentioned for the nucleus. For the axon itself and for the perikaryon I had to look at anatomical illustrations where I found that the colour code yellow was used for nerves. With those colours as a base, I had to make my own choices of colour, paying great attention at giving each element a different and quite distinguishing colour, as most of them have very similar shades of colours.*

*I deliberately did not use too shiny and brilliant colours as most American illustrators do. The goal was indeed to use acceptable lively colours. Therefore I chose a more soft colour palette, despite the fact that in reality no colours are present.*

*Another challenge was the light and the shaded parts. Not only did I have to make a 3D image starting from schematic drawings, I also had to consider the angle of light incidence and the transparency. This is why you can see the Golgi apparatus shining through the nucleus. I also took into consideration warm and cold colours. On the cell nucleus you can see a cold cast shadow of the*



warme en koude kleuren. Op de celkern valt er bijvoorbeeld een koele slagschaduw van de doorgesneden amphycyt, terwijl de celkern zelf een warme schaduw heeft; daarbij zie je door de celkern heen ook nog eens de schaduwzijde van het Golgi apparaat... Door een warme en koude schaduw van elkaar te onderscheiden, wordt een duidelijke grens getrokken tussen een slagschaduw en de eigen schaduw. Koud kleurgebruik heeft verder tot effect dat men onderwerpen meer in de achtergrond suggereert, het omgekeerde effect bereikt men bij een warm kleurgebruik. Als ik een onderdeel van de cel naar de achtergrond van de tekening wil verplaatsen, voeg ik er een groene of blauwe kleur aan toe. Als een onderdeel meer op de voorgrond geplaatst moet worden, maak ik gebruik van een rood of geel.

Verder heeft het veel concentratie geëist om de lichtinval en de transparantie logisch te berekenen, aangezien ik niet kon terugrijpen op een model.

Een tweede aquarel was nodig om het principe van de axon-reflex uit te leggen, deze heb ik op verzoek van Prof. L. Leybaert erbij geplaatst. De originele aquarel is in kleur maar doordat dit de aandacht teveel afleidde van de cel, het eigenlijke onderwerp van de poster, heb ik besloten deze in grijswaarden erbij te plaatsen.

Daar de illustratie de oorspronkelijke bedoeling had om op een poster te staan, heeft de originele aquarel een lengte van wel 70 cm. Om de lezer toch een idee te geven van het totaalconcept heb ik ervoor gekozen dit hoofdstuk te openen met een kleine versie van de poster. Door middel van close-up's, die tevens als volwaardige, op zichzelf staande illustraties dienst doen, worden de belangrijkste punten van het aquarel getoond. Op deze manier kan de aquarel zowel als poster en boekillustratie dienen (fig. 1.5 en 1.6).

*transected amphicyte, whereas the nucleus itself has a warm colour shade; through the nucleus you can also see the shady side of the Golgi apparatus. By making a difference between warm and cold coloured shadows, a clear border is drawn between a cast shadow and the own shadow. Cold colours suggest that subjects are more in the background, whereas the opposite effect is suggested by using warm colours. When I want a part of the cell to fade into the background, I add a green or blue colour. If a subject needs to stand out, I use red or yellow colours.*

*It required all my concentration and technical know-how to combine all those aspects -light incidence and transparency- into a logical illustration as no life model existed.*

*A second aquarelle, necessary to explain the axon reflex principle, was included on request by Prof. L. Leybaert. Originally I made it in colour but because the focus was too much on the colour and not enough on the cell, which is the real poster's subject, I decided to remake it in grey tones.*

*As the illustration originally was meant as a poster, the original aquarelle has a length of 70 cm. So as to give the reader an idea of the global concept, I chose to open this chapter by using a small version of the poster. Different close-up's, which can also serve as independent illustrations, show us the most relevant details. That way the aquarelle can serve both as a poster and as a book illustration (fig. 1.5 and 1.6).*

## Axonon

Het axon wordt al dan niet omgeven door een isolerend omhulsel, waarmee het samen de zenuwvezel vormt. Het omhulsel bestaat uit myeline, een lipoproteïne, dat gevormd wordt door de gliacellen. Als we terug ons sensorische neuron als voorbeeld nemen, zien we dat het axon in het PZS door middel van Schwanncellen geïsoleerd wordt, in het CZS gebeurt dit door oligodendrocyten.

Op regelmatige afstanden (1 - 3 mm) wordt de mergschede onderbroken door diepe insnoeringen, de insnoeringen van Ranvier. Elk segment is een Schwanncel en heeft dus ook een eigen celkern en cytoplasma, zoals op de poster te zien is. De randen van twee Schwanncellen begrenzen de insnoeringen van Ranvier, waar het axon zich kan vertakken en axoncollateralen kan afgeven.

Als we zo'n Schwanncel doorsnijden, zien we dat de cel zich spiraalvormig om het axon heeft gedraaid. Dit fenomeen is te zien in de illustratie op pag 19(B). Tevens worden enige ontwikkelingsstadia getoond.

## Neuronale pulsgeleiding

In dit deel zullen we nagaan hoe een impuls in een neuron tot stand komt en hoe het signaal overgebracht wordt vanaf het cellichaam naar de eindknopjes.

Een impuls is een elektrisch signaal dat afhankelijk is van de ionenconcentratie binnen en buiten de cel. Alle levende cellen hebben een zekere elektrische spanning over hun plasmamembranen. De binnenzijde van een cel is negatief geladen ten opzichte van de buitenzijde. Bij een dierlijke cel ligt het membraanpotentiaal tussen -50 tot -70 mV (in vergelijking tot de buitenzijde). In rust vertoont een neuron een spanningsverschil van -70 mV, dit noemen we zijn rustpotentiaal.

Binnenin de cel is de concentratie aan kalium ionen ( $K^+$ ) hoger dan deze voor natrium ionen ( $Na^+$ ), buiten de cel is de verhouding omgekeerd. In de cel bevinden zich voornamelijk proteïnen, aminozuren, fosfaten en andere negatief geladen ionen die we zullen symboliseren met A-.

## Axons

*The nerve fibre consists of the axon which is either enclosed or not by an isolating hull. This hull is made of myelin, a lipoprotein, formed by the glia cells. In our example, the sensory neuron, we see that in the PNS those supporting cells are called Schwann cells; in the CNS they are called oligodendrocytes.*

*Along the myelin sheath every 1 - 3 millimetre there are deep gaps in the sheath, called Ranvier nodes, dividing the sheath into segments. Each segment is a Schwann cell with its own nucleus and cytoplasm, as illustrated in the poster. Thus the edges of two Schwann cells confine a node of Ranvier. At those nodes branches can begin, axon collaterals can start or synapses with other neurons can be formed.*

*If we cut through a Schwann cell, we see that the cell is spirally shaped around the axon. This is shown in the illustration on page 19(B). A few development stages are displayed as well.*

## Neural pulse conduction

*This part explains how an impulse arises in a neuron and how that signal is transmitted from the cell body towards the terminal buttons (bouton terminal)*

*An impulse is an electrical signal that depends on the ion concentration inside and outside of the cell. All living cells have a certain electrical charge over their plasma membranes. The inner side of a cell is negatively charged compared to the outer side. In animal cells the membrane potential varies between -50 to -70 mV (compared to the outer side). When in rest a neuron has a potential difference of -70 mV, this is called the rest potential.*

*Inside the cell the concentration of potassium ions ( $K^+$ ) is higher than the sodium ion concentration ( $Na^+$ ), whereas outside the cell it is just the opposite. Intracellular we mostly find proteins, amino acids, phosphates and other negative charged ions, we shall symbolize them A-.*

Fig. 1.6

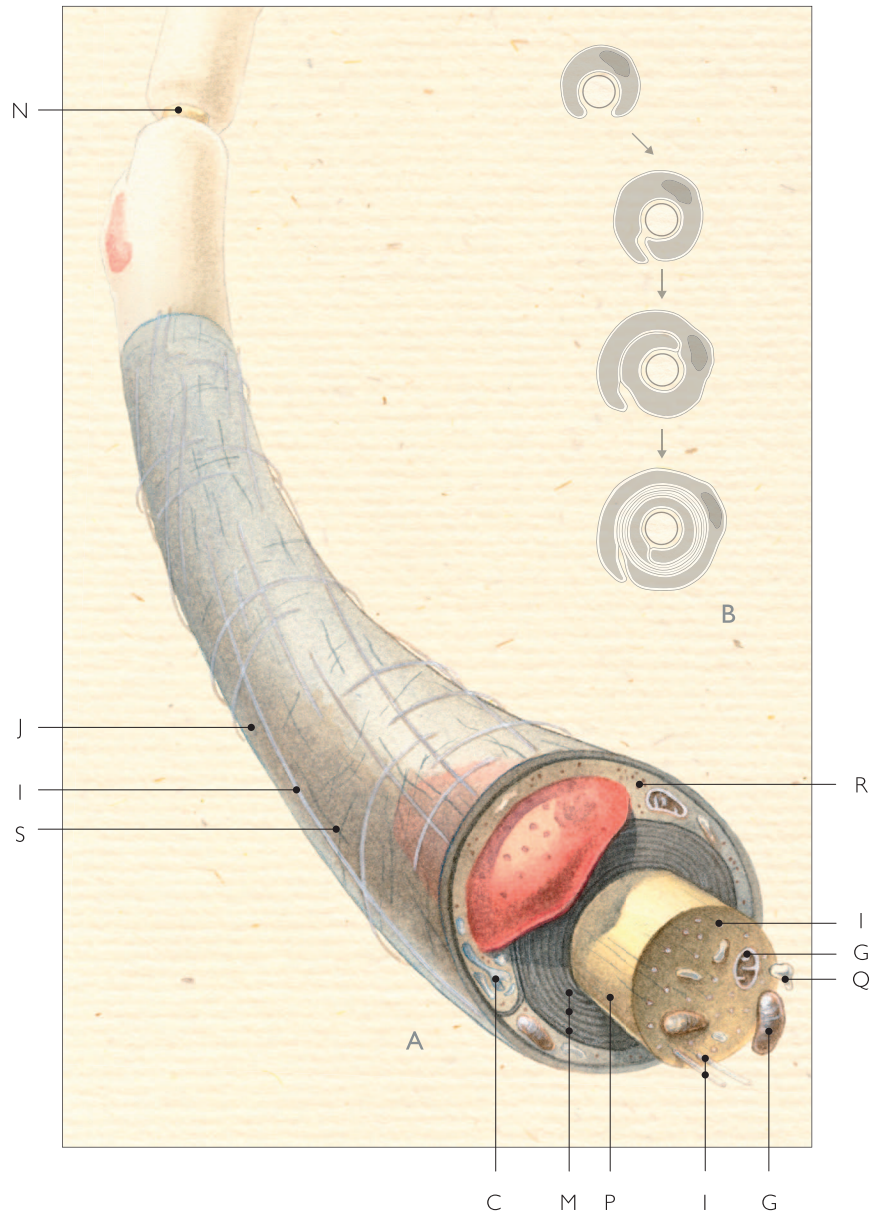
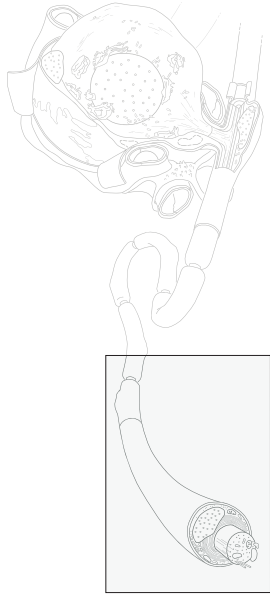
Detail uit de poster (fig. 1.4).

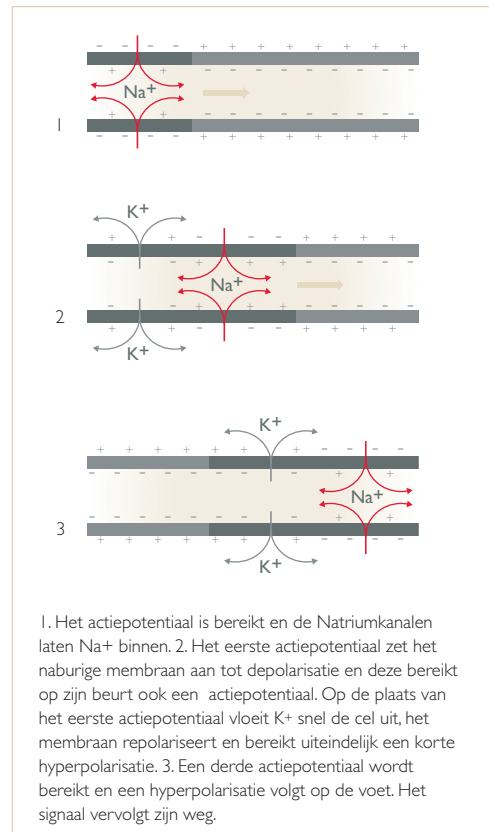
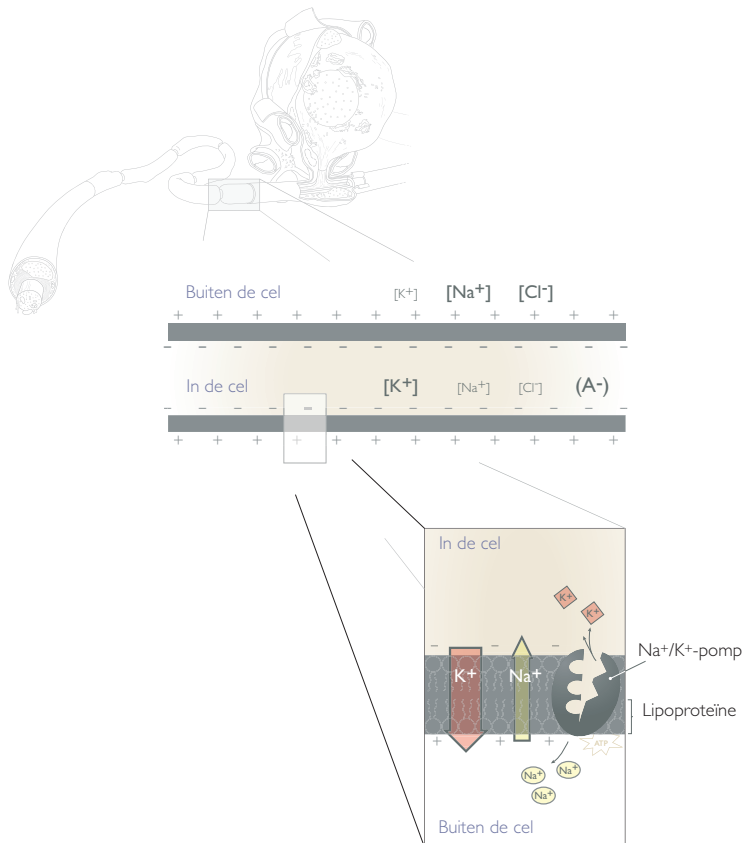
A. Overzicht axon met bijkomende legende.  
B. Ontwikkelingsstadia van de Schwanncel.

Poster detail. (fig. 1.4).

A. Axon overview with additional legend.  
B. Stages of development of the Schwanncell.

- C Golgi apparaat
- G Mitochondriën
- I Neurotubuli
- J Lamina basalis
- M Myeline-schede (Mergschede)
- N Insnoering van Ranvier
- P Axon
- Q Lysosoom
- R Vrije ribosomen
- S Microfibrillen





Aangezien het plasmamembraan uit een dubbele laag lipoproteïnen bestaat (vetachtige moleculen), verloopt de permeabiliteit enkel door middel van speciale transportproteïnen of door poriën die enkel specifieke stoffen kunnen doorlaten. Een celmembraan laat vlugger  $\text{K}^+$  door dan  $\text{Na}^+$ , wat wijst op een grotere hoeveelheid poriën voor de diffusie van  $\text{K}^+$ .

Om het rustpotentiaal in stand te houden, beschikt de cel ook over  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -pompen die ervoor zorgen dat de hoge intracellulaire  $\text{K}^+$  en de lage extracellulaire  $\text{K}^+$  concentratie behouden blijven. Deze dragen dus bij tot het behoud van de normale elektrische polarisatie van de cel.

Neuronen hebben speciale ionenkanalen, die de cel in staat stellen haar membraan potentiaal te veranderen als reactie op een stimulus. Het effect dat een prikkel op een neuron heeft, is afhankelijk van het type ionkanaal dat geopend wordt door de stimulus.

Sommige stimuli veroorzaken een hyperpolarisatie. De  $\text{K}^+$ -kanalen worden dan geopend en Kalium verlaat de cel waardoor deze negatiever wordt. Het tegengestelde effect

*As the plasma membrane is a phospholipid bilayer (fatty molecules), the permeability can only take place by the use of specific transport proteins or through pores that only allow specific substances to pass. A cell membrane allows  $\text{K}^+$  to pass much quicker than  $\text{Na}^+$  thus indicating that more pores for  $\text{K}^+$  diffusion are available.*

*To maintain the rest potential, the cell also disposes of  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  pumps to preserve the high intracellular  $\text{K}^+$  concentration and the low extracellular  $\text{K}^+$  concentration. That way they contribute to the normal electrical polarisation of the cell.*

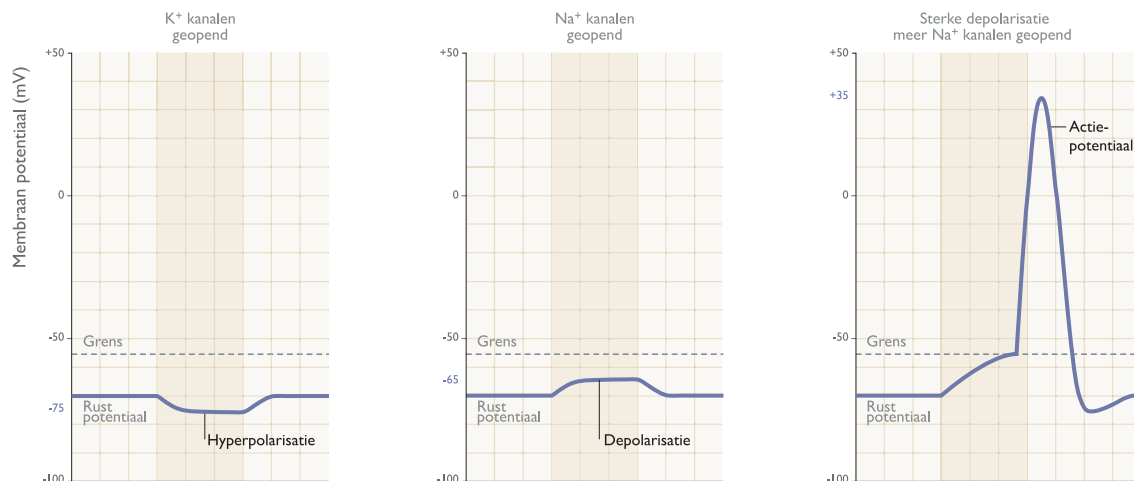
*Neurons have special ion channels enabling the cell to adapt its membrane potential in response to a stimulus. The effect of that stimulus on the neuron depends on which type of ion channel is opened by the stimulus.*

*Some stimuli create a hyperpolarisation. The  $\text{K}^+$  channels are opened and  $\text{K}^+$  leaves the cell making it more negative. The opposite effect is called a depolarisation:  $\text{Na}^+$  channels allow an inflow of  $\text{Na}^+$*

Fig. 1.7

Het principe van het membraan potentiaal en van de pulsgeleiding.

*The principle of the membrane potential and of the neural pulse conduction.*



**Fig. 1.8**  
 Grafische voorstelling van de verschillende polarisaties en het actiepotentiaal.

*Graphical representation of the different polarisations and the action potential.*

ziet men bij depolarisatie: de Na<sup>+</sup>-kanalen zorgen voor een toevoer van Natrium in de cel zodat ze positiever wordt. De verandering in het membraanpotentiaal is afhankelijk van de prikkel-intensiteit: een sterke stimulus zal meer kanalen openen waardoor de cel evenredig positiever of negatiever wordt.

Het actiepotentiaal, de eigenlijke zenuwimpuls, wordt verkregen als de cel tot een bepaald niveau gedepolariseerd wordt. Eens deze grens bereikt, reageren de spanningsgevoelige Na<sup>+</sup>-kanalen door nog meer Natrium binnen te laten. Op dat moment is de impuls niet meer afhankelijk van de prikkelintensiteit, maar wordt het een alles-of-niets gebeuren. De zenuwcel is dan 15 tot 20 mV positiever geladen dan in haar rustpotentiaal.

De membraanpolariteit ondergaat op dat moment een korte inversie. Het intracellulaire milieu is dan kortstondig positiever dan het extracellulaire. Nadien keert de cel terug naar haar rustpotentiaal (repolarisatie) door een uitstroom van K<sup>+</sup>-ionen. De spanningsgevoelige Na<sup>+</sup>-kanalen sluiten zich en de spanningsgevoelige K<sup>+</sup>-kanalen openen zich om de cel te helpen zo snel mogelijk terug tot haar rustpotentiaal te komen. De spannings-gevoelige K<sup>+</sup>-kanalen sluiten echter traag waarbij de zenuwcel net iets teveel K<sup>+</sup> laat ontsnappen en er een vorm van hyperpolarisatie optreedt (refractaire periode). Dit zorgt ervoor dat de cel voor een korte periode geen actiepotentiaal meer kan bereiken. Er rust dus een limiet op

*into the cell, making it more positive. The change in the membrane potential depends on the intensity of the stimulus: a strong stimulus will open more ion channels making the cell more positive or negative.*

*The action potential, which is the actual nerve impulse, is triggered when the cell is depolarised up to a certain level. Once that level is reached, the voltage sensitive Na<sup>+</sup>- channels react by letting in more Na<sup>+</sup>. At that moment the impulse is no longer dependent on the intensity of the stimulus, but becomes an all-or-non event. At that moment the nerve cell is charged 15 to 20 mV more positive than its rest- potential.*

*The membrane polarity undergoes a brief inversion at that precise moment. The intra cellular environment is for a brief moment more positive than the extra cellular one. Afterwards the cell returns to its rest- potential (repolarisation) caused by the outflow of K<sup>+</sup> ions. The voltage sensitive Na<sup>+</sup> channels close and the voltage sensitive K<sup>+</sup> channels open so the cell can return to its rest potential as quickly as possible. The voltage sensitive K<sup>+</sup> channels however close more slowly than the Na<sup>+</sup> one so that the cell lets out a fraction too much K<sup>+</sup> and a form of hyper polarisation occurs (refractory period). Due to this mechanism the cell cannot reach an action potential anymore during that short period.*

het aantal impulsen dat een zenuwcel kan verzenden (fig. 1.8).

Een actiepotentiaal is een gelokaliseerd gebeuren: een membraan depolariseert op een bepaald stimulatiepunt. Hoe ontstaat van daaruit een signaal?

Een neuron wordt meestal gestimuleerd aan de dendrietten. Aan de axonheuvel ontstaat daarop een actiepotentiaal dat verder door het axon 'loopt'. Eigenlijk wordt het actiepotentiaal in sequenties telkens opnieuw gegenereerd. Je zou het kunnen vergelijken met een rij domino's die je laat omvallen. Zodra de eerste steen gevallen is kan je ervan uitgaan dat deze de volgende laat omvallen. Het opwekken van een actiepotentiaal verzekert dat de aangrenzende regio ook wordt gedepolariseerd en er opnieuw een actiepotentiaal plaatsvindt, en dit tot het eind van het axon. Aangezien er na een actiepotentiaal een refractaire periode (rustperiode) plaatsvindt, beperkt het signaal zich tot de distale richting.

De snelheid waarmee de actiepotentialen over de zenuwvezels lopen, blijkt afhankelijk te zijn van de dikte van het axon en van de myelineschede. De dunste zenuwvezels zijn mergloos (niet gemyeliniseerd) en geleiden langzaam. Naarmate de vezeldikte toeneemt, wordt ook de myelinelaag dikker en kan de snelheid toenemen tot 90m/s. De myelineschede speelt hierbij een belangrijke rol. De volt-gevoelige ionkanalen, die nodig zijn voor het bereiken van een actiepotentiaal, bevinden zich vooral in de insnoeringen van Ranvier. Alleen hier komt het axon in contact met de extracellulaire vloeistof en kan uitwisseling van positieve ionen plaatsvinden. Om die reden 'loopt' het signaal niet over de zenuwvezel, maar 'springt' van insnoering tot insnoering. Men noemt dit de saltatorische impulsgeleiding. (fig. 1.9)

So there is a limit as to how many impulses a nerve cell can send (fig. 1.8).

An action potential is a localised event: a membrane depolarises at a specific stimulation point. How does a signal emit from there?

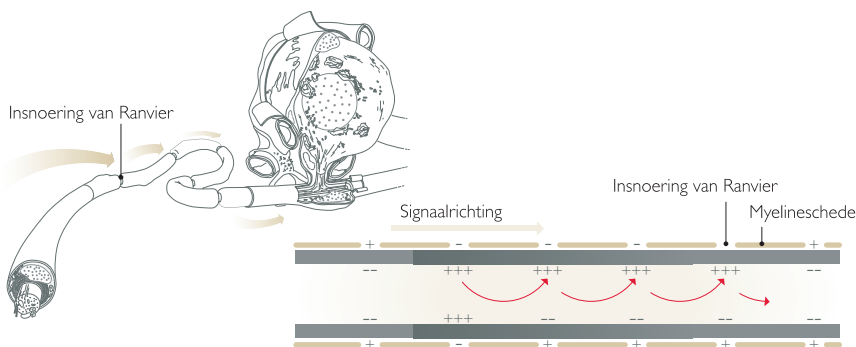
Usually a neuron is stimulated via the dendrites. At the axon hillock an action potential is then triggered and transmitted along the axon. Actually this action potential is generated again and again in sequences along the axon. You can compare it with the domino-principle: the first stone makes the next stone fall and so on. The triggering of an action potential assures that the neighbouring region also gets depolarised where a new action potential arises, this continues along the whole axon till its end. Because there is a refractory period (rest period) after an action potential, the signal can only be transmitted in the distal direction.

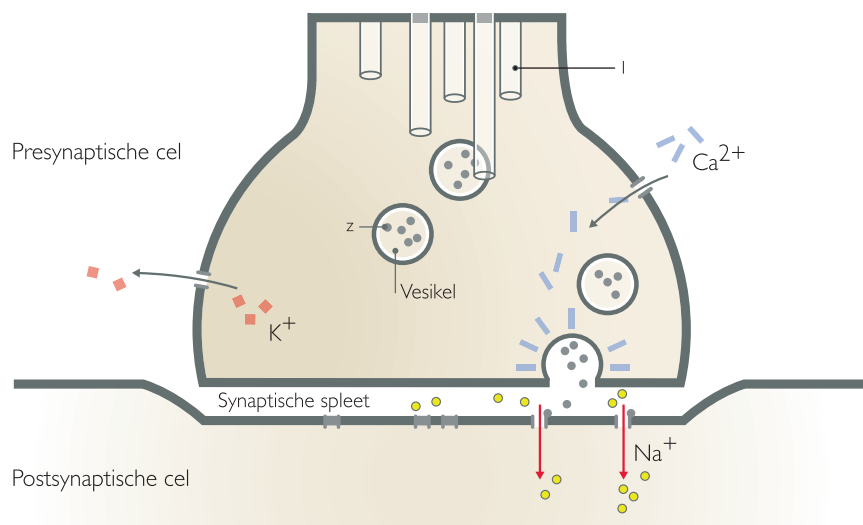
The speed of the propagation of the action potentials along the nerve fibres depends on the diameter of the fibre and on the thickness of the myelin sheath. Very thin nerve fibres don't have myelin sheaths and conduct impulses very slowly. As the fibre diameter increases the myelin thickens also and the transmission speed can increase to 90m/sec. This indicates the important role of the myelin sheath. The voltage sensitive ion channels, necessary to reach the action potential are concentrated in the Ranvier nodes. Only at those nodes is the axon in contact with the extra cellular fluid and an exchange of positive ions can occur. That is the reason why a signal does not "run" smoothly over the fibre but rather "jumps" from node to node. This is called saltatory conduction. (fig. 1.9)

Fig. 1.9

Saltatorische impulsgeleiding langs een gemyeliniseerd axon.

Saltatory conduction along a myelinated axon.





### Synapsen

Fig. 1.10  
Een chemische synaps.  
A chemical synapse.

Een axon eindigt in talrijke kleine, kolfvormige verdikkingen, de eindknopjes. Ze vormen, samen met het aanliggende membraan van de doelcel, de synaps. Hier vindt de prikkeloverdracht plaats van een presynaptische cel (het neuron) naar een postsynaptische cel (een ander neuron, een spiercel of een klier cel,...). Een synaps is dus de plaats waar neuronen kunnen communiceren met andere neuronen of met de doelorganen.

Men onderscheidt twee soorten synapsen. Er is de elektrische synaps die vrij zelden voorkomt behalve in de zich ontwikkelende hersenen en in de retina, en er is de chemische synaps die algemeen voorkomt (fig. 1.10).

Een chemische synaps kenmerkt zich door de synaptische spleet. Dit is de ruimte tussen het presynaptische en postsynaptische membraan. Doordat er een synaptische spleet bestaat, kan een actiepotentiaal niet zomaar van de ene cel op de ander overgaan. Het elektrische signaal moet eerst worden omgezet in een chemisch.

Dit signaal bestaat uit in vesikels verpakte neurotransmitters die in de synaptische spleet worden afgegeven. Na de korte afstand te hebben overbrugd, gaan ze binden op de receptoren van het postsynaptische membraan, het chemisch signaal wordt weer vertaald in een elektrisch en vervolgt zijn weg.

### Synapses

The axon ends in many small bulges, the terminal buttons. Together with the adjacent membrane of the target cell, they form the synapse. Here the impulse transmission from the presynaptic cell (the neuron) to the postsynaptic cell (another neuron, a muscle cell or a gland cell...) takes place. So the synapse is the place where neurons can communicate with target cells or other neurons.

There are two kinds of synapses. The electrical synapse, which is rather rare except in the developing brain and in the retina, and the chemical synapse which is most common (fig. 1.10).

A chemical synapse is characterised by a synaptic gap. This is the space between the presynaptic and the postsynaptic membrane. Because of this synaptic gap an action potential cannot jump from one cell to another as such. The electrical signal first has to be converted into a chemical one.

This signal consists of chemical neurotransmitters stored in vesicles and released into the synaptic gap. At the postsynaptic membrane they bind with the postsynaptic receptors and the chemical signal is reconverted into an electrical one and then continues on.

## Receptoren in de huid

Alvorens enige activiteit te ontwikkelen, moet de primaire afferente zenuwcel eerst impulsen opvangen. In de huid vinden we een groot aantal receptororganen terug met elk een eigen bouw en gevoeligheid voor bepaalde prikkels (fig. 1.11). We gaan ze hier kort bespreken als voorbeeld van waar een sensibele zenuw een signaal kan opvangen.

### • Vrije zenuwuiteinden

Deze worden in bijna alle lichaamsweefsels aangetroffen. In de huid reiken ze, in de vorm van een plexus, tot in het stratum germinativum van de epidermis. (Het stratum germinativum is de diepste laag van de opperhuid of epidermis). Afferente vezels kunnen gemyeliniseerd zijn tot ze de epidermis binnendringen of helemaal niet gemyeliniseerd. Ze hebben echter altijd een kleine diameter en een trage geleiding. Aan de uiteinden gaan er vingervormige evaginaties (uitstulpingen) vanuit, die alleen nog bedekt zijn door de basale membraan van de cel. Het zijn de receptorische delen van de vrije zenuwuiteinden. Aan de prikkeling hiervan worden pijn- en koudegevoel toegeschreven.

### • Tastcellen van Merkel

De grote, lichte epitheelcellen die tussen de basale cellen van de haarwortel liggen, hebben vingervormige uitsteeksels naar de omgeving. Het vervormen ervan bij een aanraking, leidt tot prikkeling van de zenuwvezel. Bij doorgang door de epidermis verliest deze zijn myelineschede en ligt in contact met meerdere tastcellen. Het systeem is drukgevoelig.

### • Tastlichaampjes van Meissner

Een grote concentratie van deze lichaampjes vinden we terug in onze vingertoppen. De lichaampjes bevinden zich tussen de dermis-papillen. Hun ovale vorm is opgebouwd uit lamelachtige cellen die door een dun kapsel omgeven zijn. Een of meerdere axonen komen het lichaampje binnen en verliezen hun mergschede terwijl ze spiraalvormig verder slingeren. Kolfvormige zwellingen van de axonen worden beschouwd als de receptorische delen. Ze zijn verantwoordelijk voor fijne tastwaarnemingen.

## Skin receptors

*Before any activity can be developed, a primary afferent nerve cell must first receive a stimulus. In the skin there are numerous sensory receptors, each with their own structure and sensitivity for specific stimuli (fig. 1.11). We will give a short overview to show how a sensory nerve can receive a stimulus.*

### • Free nerve endings

*These are present in almost all body tissues. In the skin, branched into plexuses, they reach the stratum germinativum of the epidermis (The stratum germinativum is the deepest layer of the epidermis). Afferent fibres can be myelinated until they reach the epidermis or not myelinated at all. Nevertheless they always have a small diameter and a low conduction velocity. At the far end they have finger like bulges, only covered by the basal cell membrane. Those are the receptor parts of the free nerve endings. They are responsible for pain and cold sensation.*

### • Tactile cell of Merkel.

*These large, light epithelial cells lie between the basal cells of the hair follicle and have finger like bulges into the surroundings. When touched they change shape thus stimulating the nerve fibres. Those fibres lose their myelin sheath when entering the epidermis and are in contact with multiple tactile cells. The system is pressure sensitive.*

### • Tactile corpuscles of Meissner.

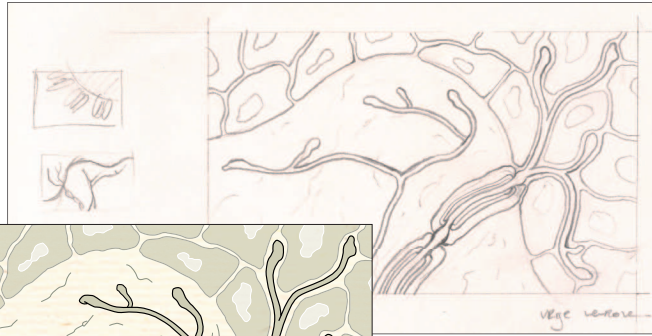
*A large concentration is found in the fingertips. The corpuscles are embedded between the dermal papillae. Oval shaped, they are built of lamellar cells enclosed by a thin capsule. One or more axons enter the corpuscle, lose their myelin sheath and continue on in a spiral pattern. Slightly expanded bulges of the axons are considered the receptor parts. They are responsible for fine tactile sensations*

Fig. 1.11

Grafische voorstelling van de verschillende receptoren in de huid. Onderdeel van de poster op pag. 13.

*Graphical representation of the various skin receptors. Part of the poster on pag. 13.*





Vrije zenuwuiteinden



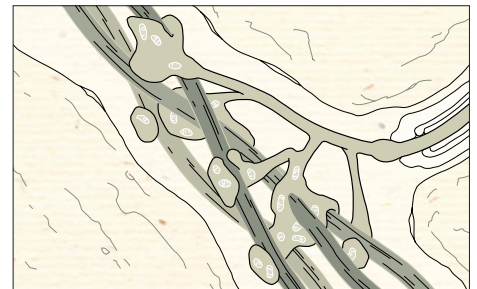
Tastcellen van Merkel



Tastlichaampjes van Meissner



Lichaampjes van Vater - Pacini



Eindorganen van Ruffini



Vrije zenuwuiteinden rond de haarwortel

- Lichaampjes van Vater-Pacini

Dit zijn betrekkelijk grote, tot 4 mm lange lichaampjes, die onder de huid in de subcutis liggen. Ze bestaan uit een groot aantal concentrisch gerangschikte lamellen, versterkt met bindweefselvezels. De lamellen zijn van elkaar gescheiden door met vloeistof gevulde ruimten. De zenuwvezel komt aan een pool het lichaampje binnen, verliest zijn merschede en loopt door het centrum van de binnenkolf tot het einde ervan. De lichaampjes van Vater-Pacini zijn niet alleen drukreceptoren, maar vooral ook vibratie-receptoren. Ze worden enkel geprikkeld door deforming en vermindering van druk, niet door een aanhoudende druk. Men vindt ze terug in het periost, bij de gewrichten en aan het oppervlak van pezen en fascies.

- Lichaampjes van Ruffini

Deze organen behoren eigenlijk tot een overgangsvorm tussen vrije zenuwuiteinden en ingekapselde eindorganen. De zenuwvezels splitsen zich in terminale complexen, waarin de fijne axonvertakkingen kluwens of een soort struikjes vormen en op kolfvormige opzwellingen eindigen. De structuren zijn omgeven door een bindweefselkapsel. Ze bevinden zich in de dermis en reageren wanneer het collageen in de huid opgerekt wordt.

- Vrije zenuwuiteinden rond de haarwortels

Dunne zenuwvezels liggen ringvormig om de haarwortels en lopen dan evenwijdig aan de haarschacht omhoog of omlaag. Hun receptorische uiteinden hebben geen merschede en zijn slechts aan twee zijden door cellen van Schwann omgeven, zodat een over het gehele terminale deel verlopende spleet overblijft. Deze uiteinden zijn radiair gerangschikt om de haarwortel zodat de sensorische spleet het haaroppervlak kan raken. Bij beweging van het haar worden de zenuwuiteinden geprikkeld.

De bijbehorende illustraties zijn volledig gemaakt in het grafische programma Illustrator. Het zijn voorbeelden van strakke lijntekeningen, een lijn die typerend is voor illustraties gemaakt met behulp van de computer. Had ik deze in pen en inkt gemaakt zouden de illustraties een totaal ander karakter hebben gehad. Toch geven de

- Vater-Pacini corpuscles

*These are rather large, up to four mm long corpuscles that lie in the subcutis under the skin. They consist of many concentric arranged lamellae, strengthened by collagen fibres. Those lamellae are separated by fluid filled spaces. The nerve fibre enters the corpuscle at one end, loses its myelin sheath, runs through the inner core and ends there. Vater-Pacini corpuscles are mainly vibration receptors but also pressure receptors. They only are stimulated by a change of shape and a pressure fall, not by constant pressure. They are located in the periost, near the joints and at the surface of tendons and fasciae.*

- Ruffini endings

*They actually are considered a transitional form between free nerve endings and enrobed endings. The nerve fibres divide into terminal complexes where fine axon branches bundle and end in bulblike swellings. The structures are enclosed by a collagen capsule. They are located in the dermis and they react when the skin collagen is being stretched.*

- Free nerve endings around the hair follicles.

*Thin nerve fibres lie circular around the hair roots and then ascend or descend parallel along the hair duct. The receptor endings have no myelin sheaths and are covered only at two sides by Schwann cells, so that a gap remains along the whole terminal part. These endings are ranged radial around the hair root so that the sensory gap can touch the hair surface. Any movement of the hair stimulates the nerve endings.*

*The accompanying illustrations are entirely made with the graphic program "Illustrator". They are examples of tight line drawings, a line typical of computer aided illustrations. If I had made them with pen and ink the illustrations would have had a totally different character. Nevertheless, by being creative with the colour and the thickness of the lines, the*

illustraties, door o.a. creatief om te springen met de kleur en dikte van de lijnen, een aangename indruk die goed past in het geheel.

Lijntekeningen behoren tot het moeilijkste genre dat er is, ondanks het feit dat ze er simpel uit-zien. Vaak heeft de opdrachtgever zelf reeds de essentie van een onderwerp in een eigen schets gevat. De illustrator staat dan voor de taak de belangrijkste en typerende lijnen van het onderwerp te vangen in een tekening. Immers: hoe eenvoudiger de tekening, hoe meer waarde de lijnen krijgen. Elke lijn moet om die reden heel zorgvuldig gezet worden, rekening houdend met een eventueel verloop van dik naar dun en omgekeerd.

De uitdaging lag hem hier veeleer op grafisch vlak: compositiebepaling, keuze van lijndikte en -kleur en het creëren van eenheid tussen de afbeeldingen. Om het geheel sober te houden, en om hun plaats op de poster minder prominent te maken, is er geen gebruik gemaakt van een verloop in de lijnen.

De computer kan dus ook gebruikt worden om illustraties te maken, maar ook hier is weer veel onderzoekwerk aan te pas gekomen en zijn de eerste schetsen met behulp van papier en potlood gemaakt.

*illustrations give quite an agreeable impression and are in harmony with the whole poster.*

*Line drawings are the most difficult to do, despite the fact they look so simple. Often the client has sketched the essence of the subject her/himself. The illustrator must then try to choose the most important and typical lines of the subject to use them in the illustration. After all: the more simple the illustration, the more value each line has. Each line must be drawn meticulously considering the transition of a thick line to a thin one and visa versa. The challenge here was rather a graphical one: composition, thickness and colour of the lines and the struggle for unity between the different illustrations. In order to keep the illustrations sober and to lessen their importance with regard to the poster's main subject, I didn't use different line thicknesses.*

*This shows that a computer can be used for making illustrations but here too a lot of research was necessary and the first sketches were made with pencil and paper.*

## Dermatomen

Laten we ervan uitgaan dat het uiteinde van een afferent neuron een pijnprikkel opvangt. Het opgewekte actiepotentiaal begint zijn reis naar het ruggenmerg door middel van saltatorische impulsgeleiding. Maar de weg die het signaal aflegt, is afhankelijk van het verloop van de perifere zenuw die de huid innerveert.

Ons ruggenmerg is onder te verdelen in segmenten, een overblijfsel van de embryonale ontwikkeling van de romp: vergelijkbare delen zijn in serie achter elkaar geschakeld. De huiddelen die tot eenzelfde segment behoren, heten dermatomen (fig. 1.13). Elke spinale zenuw verzorgt de afferente innervatie van een specifiek dermatoom. In hoofd en romp volgen de dermatomen elkaar netjes op. Opmerkelijk is dat de dermatomen tijdens de embryonale ontwikkeling naar de distale delen van de extremiteiten zijn verplaatst.

## Dermatomes

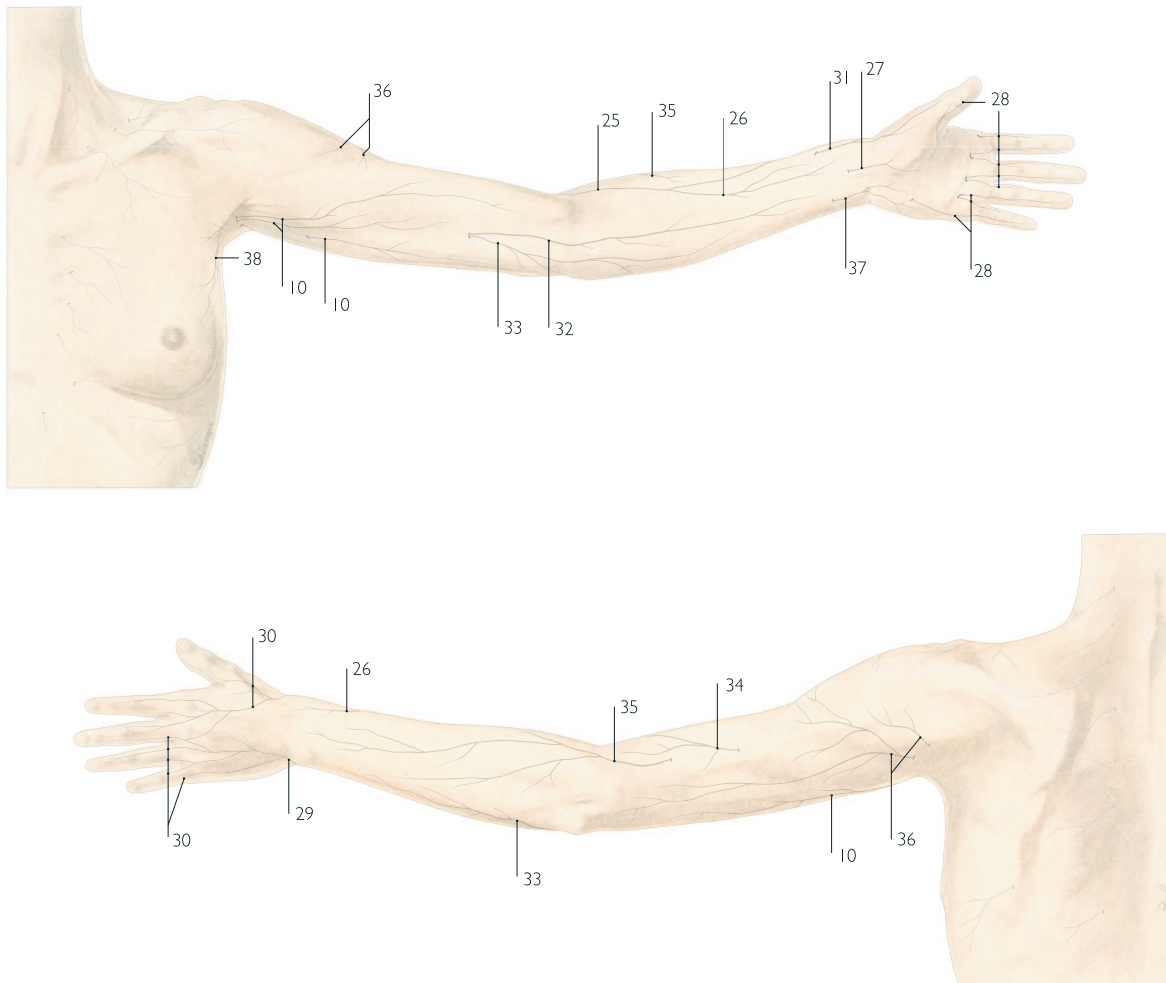
Let us assume that an afferent nerve ending receives a pain stimulus. The triggered action potential begins its journey towards the spinal cord by means of saltatory conduction. But the pathway followed by the signal depends on the peripheral nerve innervating the skin.

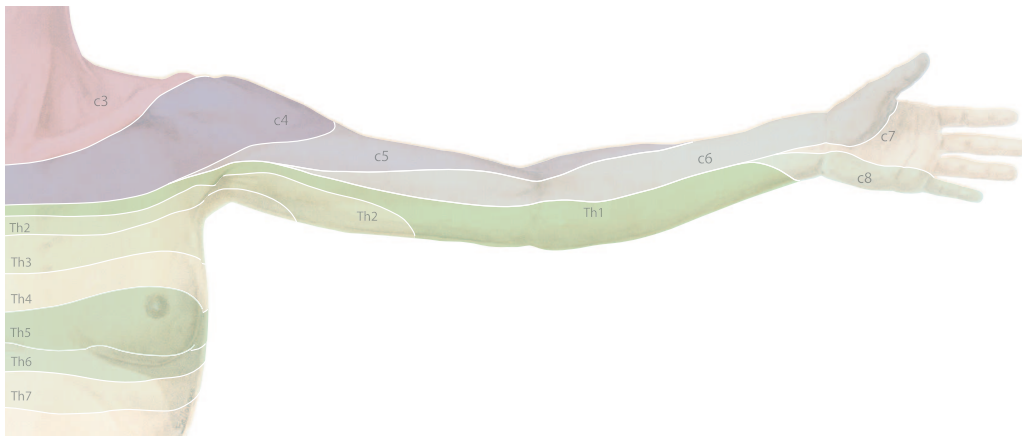
Our spinal cord is divided into segments, which is a remnant of the embryonic development of the trunk: comparable sections are linked in serial order. Skin parts belonging to the same spinal cord segment are called dermatomes (fig. 1.13). Each spinal nerve takes care of the afferent innervation of a specific dermatome. In the head and the trunk dermatomes are neatly arranged. It is remarkable that during embryonic development dermatomes are transferred to the distal parts of the extremities.

Fig. 1.12

De innervatie van de huid door de uit de plexus brachialis afgesplitste perifere zenuwtakken.

The innervation of the skin by peripheral branches originating from the brachial plexus.





**Fig. I.13**  
Dermatomen van de  
bovenste extremiteit.  
(Ventraal en dorsaal  
aanzicht.)

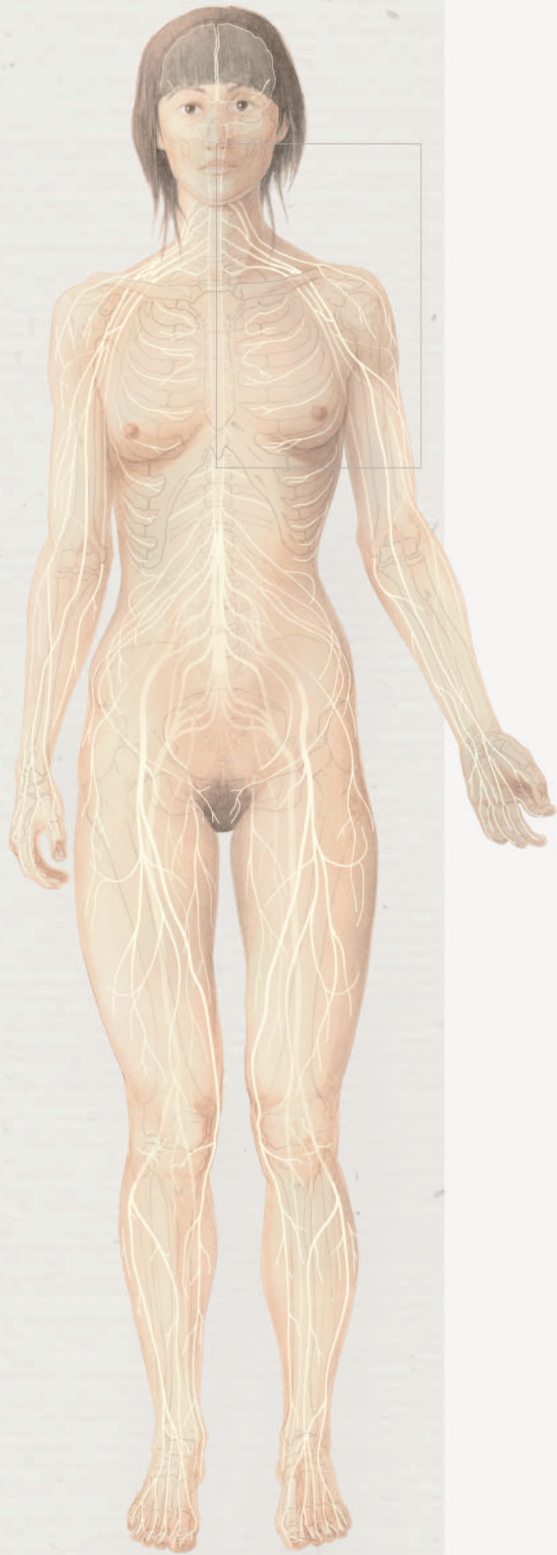
*Dermatomes of the  
superior extremity  
(Ventral and dorsal view.)*

Het doel van deze aquarellen is de arm anatomisch correct en zonder simplisme weer te geven, waarbij de dermatomen met een kleurcode en code voor het ruggemerniveau zijn afgebeeld. Als gevolg kunnen de dermatomen duidelijker gesitueerd worden.

Voor de aquarel van de armen is er voor hetzelfde model gekozen als voor het totaaloverzicht van het zenuwstelsel (fig. I.1). Zij heeft dus voor beide illustraties model gestaan. De reden hiervoor is om de eenheid van het verhaal te behouden.

*The purpose of these aquarelles is to present the arm in a correct anatomical way, without simplicity, showing the dermatomes with a colour code and a code for the spinal cord level. As a result those dermatomes can be situated more accurately in the arm.*

*For the aquarelle of the arm we used the same model as the one in the global overview of the nervous system (fig. I.1). By doing so the unity of the story is conserved.*



## Hoofdstuk 2 Neuroanatomie

### De Plexus Brachialis

In dit hoofdstuk gaan we, met de verkregen kennis uit voorgaande deel in het achterhoofd, verder de impulsen volgen over de zenuwbanen tot daar waar ze uit het ruggenmerg ontspringen.

Als we de huidzenuwen in de arm proximaal volgen, komen we, ter hoogte van de schouder, uiteindelijk terecht bij de plexus brachialis. Deze zenuwbundel bevat vier verschillende soorten vezels: de somatomotorische (efferente) vezels voor de dwarsgestreepte musculatuur, de somatosensibele (afferente) vezels voor de sensibiliteit van de huid, de visceromotorische vezels voor de gladde musculatuur en de viscerosensibele vezels voor de inwendige organen. Allen ontspringen aan het ruggenmerg dat bestaat uit gemengde zenuwen. De verschillende vezels verlopen als volgt: de somatomotorische vezels lopen van de voorhoornen door de voorwortel (fig. 2.2). De somatosensibele en viscerosensibele vezels hebben hun oorsprong in de zenuwcellen van het spinale ganglion.

Fig. 2.1

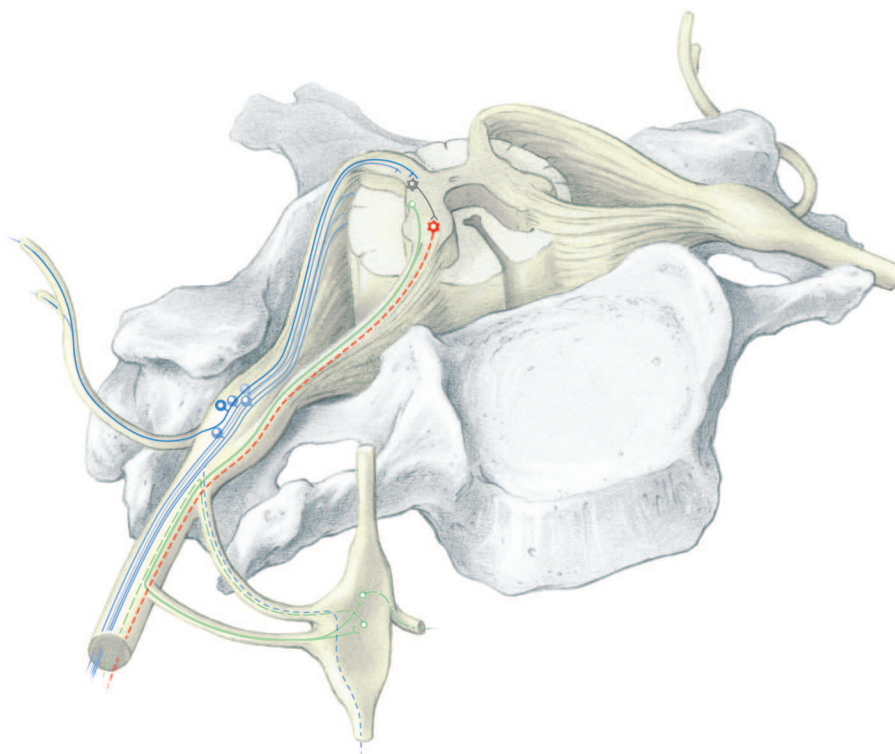
Overzicht zenuwstelsel met uitvergroting van de linker schouder.

*Overview of the nervous system with enlargement of the left shoulder.*

Fig. 2.2

Ligging van de soorten neuronen in en nabij het ruggenmerg.

*Position of the different kinds of neurons in and near the spinal cord.*



## Chapter 2 Neuroanatomy

### The Brachial Plexus

*With the knowledge from the previous chapter in mind, we will now follow the stimuli all over the nerve bundles to the place where they emerge from the spinal cord.*

*Following the cutaneous nerves from the arm in a proximal direction, we encounter the brachial plexus at shoulder height. This bundle of nerves consists of four different fibres: the somato motoric (efferent) fibres for the striated muscles, the somato sensible (afferent) fibres for the skin sensitivity, the visceromotoric fibres for the smooth muscles and the viscerosensible fibres for the internal organs. All those fibres have their origin in the spinal cord consisting of mixed nerves. The course of the different fibres is as follows: the somato motoric fibres run from the anterior column through the ventral root (fig. 2.2). The somato sensitive and viscerosensitive fibres start in the spinal ganglion.*

De visceromotorische vezels ontspringen uit de cellen in de cornu laterale (zijhoorn) en lopen voor het grootste gedeelte door de voorwortel. Voor- en achterwortel komen dan samen in de spinale zenuw, die alle vezelsoorten bevat.

Voorgaande illustratie (fig. 2.2) toont de uit-tredende zenuwbundel zoals dat naar realiteit is. Hier is ook de voor- en achterwortel duidelijk zichtbaar. Het schema geeft de opbouw van een perifere zenuw weer.

Deze illustratie dient tevens als voorbeeld van een combinatie van ambachtelijke technieken en moderne computertechnieken en hoe beide elkaar kunnen aanvullen.

De wervel en het ruggenmerg met uit-tredende zenuwbundel zouden op de achtergrond moeten blijven, aangezien het onderwerp de verschillende soorten neuronen is. Daarom zijn beide in grijswaarden op papier uitgewerkt. Om het contrast nog te versterken is er besloten om enkel de zenuwcellen in de computer te tekenen en deze een kleur toe te kennen.

In dit vlechtwerk (plexus) van zenuwen vinden we ook het axon van onze afferente cel. In deze smeltkroes vindt bijvoorbeeld een pijnprikkel probleemloos de weg naar het cellichaam in het spinale ganglion en van daaruit naar het ruggenmerg. De plexus is dus de plaats waar verschillende vezels samenkomen en verdeeld worden over segmenten.

Naast de plexus brachialis bestaat er o.a. ook een plexus cervicalis (in de nek) en een plexus lumbosacralis (in het bekken).

De plexus brachialis wordt gevormd door de ventrale takken van de laatste vier cervicale zenuwen (C5 - C8) en de eerste thoracale zenuw (Th1). Men maakt onderscheid tussen een pars supraclavicularis en een pars infraclavicularis. Het pars supraclavicularis is dat deel van de plexus dat boven het sleutelbeen gelegen is, het pars infraclavicularis is het deel onder het sleutelbeen. De uit-tredende zenuwen gaan eerst door de achterste scalenuspoort (De spleet tussen de m. scalenus anterior en medius) waar ze, boven de clavicula, de drie primaire zenuwstrengen vormen: de truncus superior, de truncus medius en de truncus inferior (fig. 2.3). Elk van de genoemde drie trunci splitst weer in een voorste en achterste divisie. De voorste divisies gaan naar de ventrale delen van de arm en de

*The visceromotoric fibres start in the cornu laterale and continue for the most part along the ventral root. Ventral and dorsal roots merge into the spinal nerves, containing all kinds of fibres.*

*The previous illustration (fig. 2.2) shows the emerging nerve bundle with the spinal ganglion as in reality. It clearly shows the ventral and the dorsal root. The following diagram illustrates the structure of a peripheral nerve.*

*This illustration is an example of how computer techniques and traditional workmanship can complement each other.*

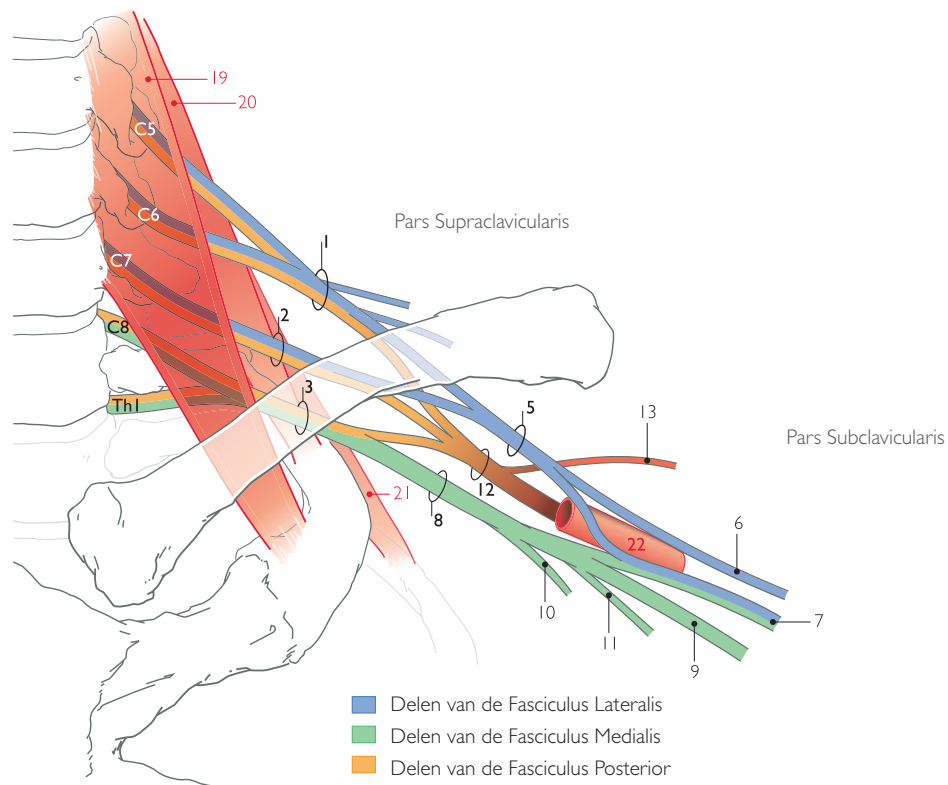
*The vertebra and the spinal cord with the nerve bundle should fade into the background as the subject is about the different kinds of neurons. Therefore both are drawn in grey tones. To enhance the contrast we decided to draw only the nerve cells with the help of the computer and additionally to give them a colour.*

*In that plexus we can also find the axon of our afferent cell. The pain stimulus from our injured finger finds, without any problem, its way through this melting pot of fibres, back to the cell body in the spinal ganglion and from there to the spinal cord. Therefore the plexus is the place where the different fibres come together and are split up over the segments.*

*Apart from the brachial plexus, we also have a plexus cervicalis (in the neck) and a plexus lumbosacralis (in the pelvis).*

*The brachial plexus is composed of the ventral branches of the four lower cervical nerves (C5 - C8) and the first thoracal nerve (Th1). We distinguish a pars supraclavicularis and a pars infraclavicularis, respectively above and under the collarbone. The nerve fibres first have to pass the so called "posterior scalenus gate" (an opening between the m. scalenus anterior and medius). There, above the clavicula, they constitute the three primary nerve strings: the truncus superior, the truncus medius and the truncus inferior (fig. 2.3). Each truncus then divides into a ventral and a dorsal division. The ventral divisions go to the arm's ventral side and the posterior divisions go to the dorsal side. Once below the clavicula three secondary nerve strings are constituted. They are named in accordance to their position to the arteria axillaris: the*





**Fig. 2.3**  
Schematische  
voorstelling van de  
plexus brachialis.

*Schematic representation  
of the brachial plexus.*

achterste naar de dorsale delen. Onder de clavicula ontstaan de drie secundaire zenuwstrengen die benoemd zijn naar hun ligging ten opzichte van de arteria axillaris: uit de truncus superior en -medius ontstaat de fasciculus lateralis en voortvloeiend uit de dorsale takken van de drie trunci, de fasciculus posterior. De fasciculus medialis ontstaat uit de voorste tak van de truncus inferior.

*fasciculus lateralis is composed of fibres from the truncus superior and the truncus medius, while the dorsal branches of the three trunci form the fasciculus posterior. The anterior branch of the truncus inferior gives rise to the fasciculus medialis.*

## Topografische Anatomie

Het verder genoemde aftakkingspatroon heeft alleen betrekking op de takken naar de arm: uit de fasciculus posterior (die bijdragen krijgt uit C5-Th1) ontspringen naar de arm de n. axillaris en n. radialis. Uit de fasciculus lateralis (die bijdragen krijgt uit C5-C7) ontspringen naar de arm de n. musculocutaneus en het laterale aandeel van de nervus medianus. Uit de fasciculus medialis (die bijdragen krijgt uit C8-Th1) ontspringen naar de arm het mediale deel van de n. medianus, de n. cutaneus brachii medialis, de n. cutaneus antebrachii medialis en de n. ulnaris.

De n. medianus krijgt dus een bijdrage uit zowel de fasciculus lateralis als uit de fasciculus medialis. Varianten van hierboven beschreven aftakkingspatroon komen voor.

## De 3D-reconstructie

In dit eindwerk had ik graag een aparte werkwijze van de wetenschappelijke illustrator opgenomen. Het betreft de driedimensionale reconstructie. Het is een bijzondere manier van werken waardoor de illustrator tot een resultaat kan komen dat men op de klassieke wijze niet kan verkrijgen.

De klassieke werkwijze bestaat eruit dat bij een anatomisch preparaat het stuk wordt nagetekend zoals het is. Maar doordat het onderwerp, zoals de plexus brachialis, eerst vrijgeprepareerd moet worden, verliest het zijn eigenlijke vorm. De continuïteit die er voorheen bestond, is verloren gegaan en het is daarom vervormd. Zo krijgt men een vertekend beeld van het onderwerp ten opzichte van omliggende structuren. Met behulp van een driedimensionale reconstructie kunnen we dit probleem voor een groot deel vermijden.

Deze techniek paste uitermate goed in het onderzoek van drs. T. Vanhoof. In het gedeelte van zijn dissertatie waar hij momenteel onderzoek naar doet, is het de bedoeling de plexus in zijn anatomische positie nader te bepalen en accurater te situeren ten opzichte van het skelet. Het uiteindelijke doel van het hele onderzoek is het neurodynamisch bewegingspatroon van de plexus in kaart te brengen. Om dit uiteindelijk te bereiken, is een duidelijk beeld nodig hoe de plexus zich ruimtelijk in het lichaam situeert.

## Topographic anatomy

We will take a short diversion to elaborate on the pattern of the three fasciculi in the arm. The fasciculus posterior (with fibres originating from C5-Th1) gives rise to the n. axillaris and the n. radialis. The fasciculus lateralis (with fibres originating from C5-C7) gives rise to the n. musculocutaneus and the lateral part of the n. medianus. The fasciculus medialis, (with fibres originating from C8-Th1) generates the medial part of the n. medianus, the n. cutaneus brachii medialis, the n. cutaneus antebrachii medialis and the n. ulnaris.

Thus the n. medianus is formed by fibres both from the fasciculus lateralis and the fasciculus medialis. Variations on that branching pattern are possible.

## The 3D reconstruction.

I liked to include in my dissertation a special working method used by the scientific illustrator: the three dimensional reconstruction. It involves a special way of working, enabling the illustrator to obtain a result, impossible to achieve using the classical method.

Normally the illustrator will portray an anatomical specimen as it is. But some subjects, like the brachial plexus, have to be dissected and so lose their proper form. The former continuity is lost, causing a distortion. As a result, the perception of the subject in relation to its surrounding structures is erroneous. Using three dimensional reconstruction we can for a great part avoid this problem.

This technique fitted the research done by drs. T. Vanhoof very well. In this phase of his work, he wanted to determine the anatomical position of the plexus more precisely and locate it more accurately with respect to the surrounding structures as well. The final goal of the project is to set out the neurodynamic movement pattern of the plexus. A clear representation of the location of the plexus in the body is necessary to achieve this objective. After a thorough deliberation, we decided to create three dimensional drawings based on MRI images

In overleg hebben we besloten om op basis van MRI's (Magnetic Resonance Imaging) driedimensionale tekeningen te vervaardigen. Deze tekeningen moeten het verloop van de plexus zo duidelijk mogelijk weergeven ten opzichte van het skelet.

De illustraties helpen drs. T. Vanhoof bij zijn verder onderzoek naar de plexus en kunnen anderzijds ook gebruikt worden als studiemateriaal. In schema's van de plexus (zoals de figuur op pag. 33) lijkt de zenuwbundel vrij eenvoudig en begrijpelijk, maar staan ze ver van de werkelijkheid. De vier illustraties (fig. 2.8 t/m 2.11) maken de stap van een schematische voorstelling in het leerboek naar praktisch onderzoek een stuk kleiner: ze vormen een tussenstap van theorie naar praktijk.

We maakten voor dit onderzoek gebruik van een schouderpreparaat en niet de schouder van een levend persoon. Het voordeel hierbij was de mogelijkheid om, naast de MRI's, anatomische coupes van het preparaat te maken. Het nadeel is dat de beelden niet te vergelijken zijn met de in-vivo situatie. Met de MRI's en de anatomische coupes van eenzelfde schouder, hadden we genoeg informatie ter beschikking om ons een duidelijk beeld te vormen van de plexus. (fig. 2.5)

Om de MRI-beelden te maken van het schouderpreparaat konden we bij het Universitair Ziekenhuis te Gent terecht. Daar is tweemaal een serie van twintig scans gemaakt van het schoudergebied. De afstand tussen de scans onderling bedroeg 3,6 mm. Deze grote afstand werkt nadelig wil men de computer een exacte reconstructie laten maken. Als men als eindresultaat een computeranimatie of een toepassing van het computergegenereerde beeld wil, dan zou de afstand veel kleiner moeten zijn. Naarmate de onderlinge afstand korter wordt, hoe meer en nauwkeuriger informatie we krijgen. Zo zijn de verschillende structuren makkelijker te volgen aangezien er minder informatie verloren gaat. Maar dat was mijn doel niet.

De computerreconstructie diende mij enkel tot kapstok zodat ik met zekerheid de grote vormen in de juiste positie had. Grote vormen, zoals bijvoorbeeld een long, zijn goed te volgen ondanks een grote sneedikte. Het verkregen driedimensionale beeld was mijn basis waaruit een correcte illustratie opgebouwd kon worden.

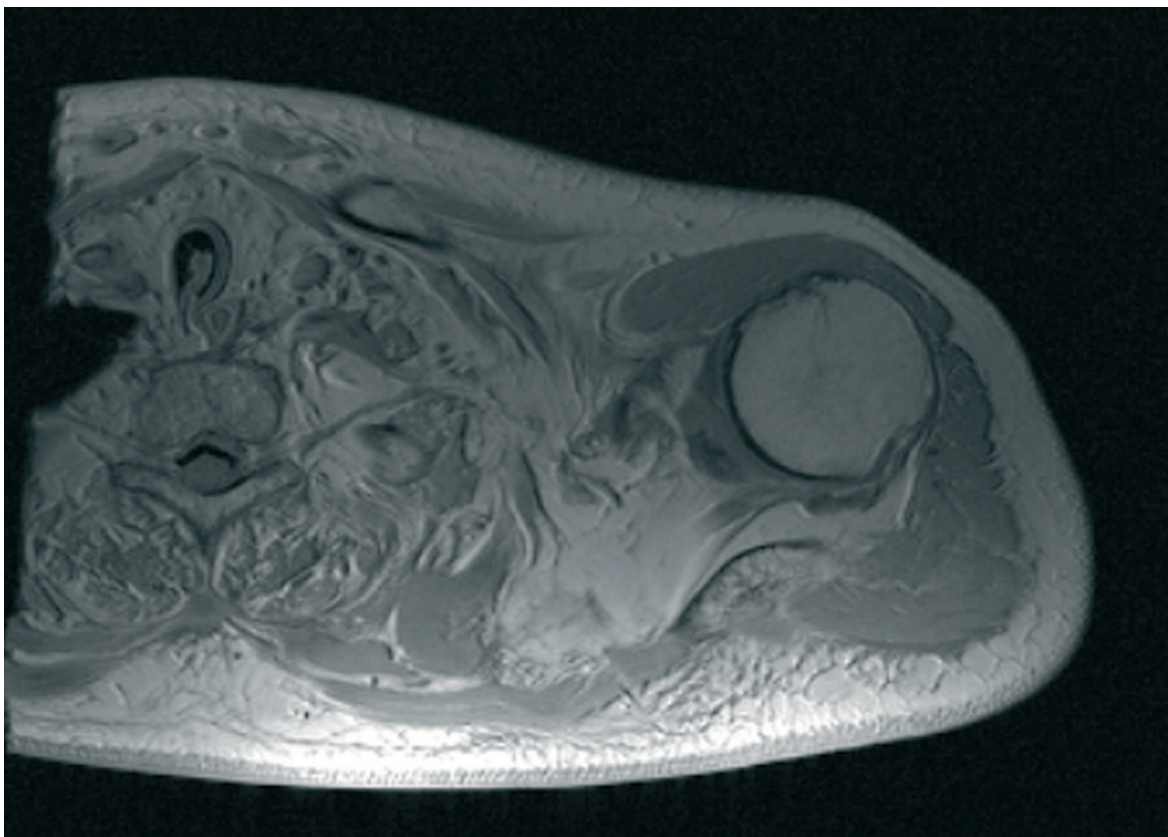
*(Magnetic Resonance Imaging). Those drawings have to clarify the position of the plexus in relation to the skeleton.*

*The illustrations not only help drs. Vanhoof during the rest of his research but will also be useful for medical students. In diagrams of the plexus (like the one on page 33) it looks like the nerve bundle is quite simple and understandable, but those diagrams are far from reality. The four illustrations (fig. 2.8 up to fig. 2.11) narrow down the step between a textbook schematic drawing and practical research: they form a link between theory and practice.*

*For this project we used an anatomical specimen instead of the shoulder of a living person. This gave us the opportunity to combine the study of the MRI images with the analysis of the anatomical slices, both of the same shoulder. The disadvantage however is that the images cannot be compared to the in-vivo situation. The combination of anatomical slices and MRI images, delivered enough information to give us a distinct image of the plexus. (fig. 2.5)*

*The MRI images of the shoulder were obtained at the university hospital of Ghent. Twice a series of 20 images of this specimen was made. Images were made every 3.6 mm. This thickness of the MRI slices is a disadvantage when trying to make an exact computer reconstruction. If later on we want to make a computer animation or apply computer generated images, the slices should be a lot thinner. The thinner the slices, the more accurate the information gets. Thus it gets easier to follow the different structures as less information is lost. But that was not my goal.*

*The computer reconstruction was only a guidance to allow me to put the outlines of the larger structures in the exact position. Large structures, for instance a lung, are easily followed despite thick slices. Therefore I only relied on the global structure of the computer generated 3D image. Using that computer image as a basis, I was able to make an anatomical correct illustration.*



Na het maken van de MRI's zijn we overgegaan tot het vervaardigen van de anatomische coupes van hetzelfde preparaat. De coupes hadden een dikte van 6 mm en zijn onontbeerlijk geweest. Zonder deze was het niet mogelijk geweest een zinnige interpretatie van de computerreconstructie te maken. De informatie die we hieruit konden putten, kon de leemten opvullen die ontstaan waren door de geringe detaillering van de MRI's.

Dit identificatieproces heeft meer dan drie maanden in beslag genomen. Op een MRI zijn de verschillende zenuwen bijzonder moeilijk te onderscheiden, ondanks het feit dat we de contrasten konden aanpassen. Na het nodige opzoekwerk met behulp van allerlei anatomische atlanten en de bijbehorende anatomische coupes, kon ik de verkregen informatie in de computer invoeren. Met behulp van het programma Amira is er op elke MRI afzonderlijk aan de verschillende structuren een contour gegeven. De contouren van de grote zenuwbundels werden op de MRI's in de symboolkleur geel gemarkeerd (fig. 2.5). Door de contouren van de, voor mij, belangrijke anatomische structuren op elkaar te stapelen, geeft het programma een driedimen-

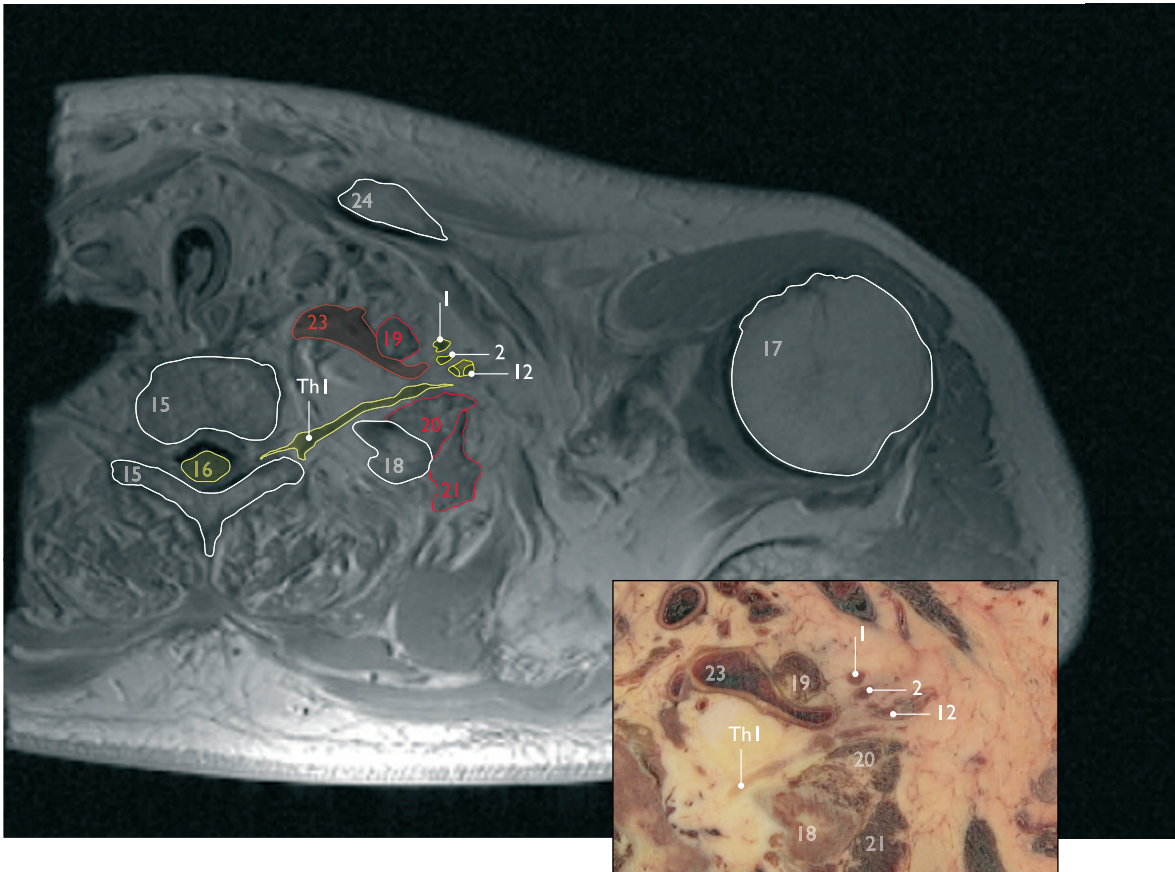
*After making the MRI's we made anatomical slices of the same specimen. Those were 6 mm thick and they were essential for the identification process. Without them it would have been impossible to give a correct interpretation of the computer overview. The information we got from them, allowed us to fill in the gaps due to the MRI's lack of detail.*

*The identification of the different structures took more than three months. The different nerves are very difficult to distinguish on MRI images despite the fact that we adjusted the contrast. After the necessary research in anatomical guides and with the help of the anatomical slices, I could feed the obtained data into the computer. We used the Amira software to give a contour to each structure on each MRI. We opted for the rather symbolic yellow colour to outline on each MRI the important nerve bundles (fig. 2.5). By stacking up the outlines of the important anatomical structures, the program gives us a 3D image of those structures and of the whole plexus like found in the real specimen. This way we were able to design and colour every structure we needed. Once the outlines were defined,*

**Fig. 2.4**

Eén van de MRI-scan's waarop de verschillende anatomische structuren geïdentificeerd moesten worden.

*One of the MRI-scan's on which different anatomical structures had to be identified.*



**Fig. 2.5**  
 Dezelfde MRI- scan als fig. 2.4 aangevuld met contouren van de nodige anatomische structuren. De inzet toont hetzelfde op de anatomische coupe.

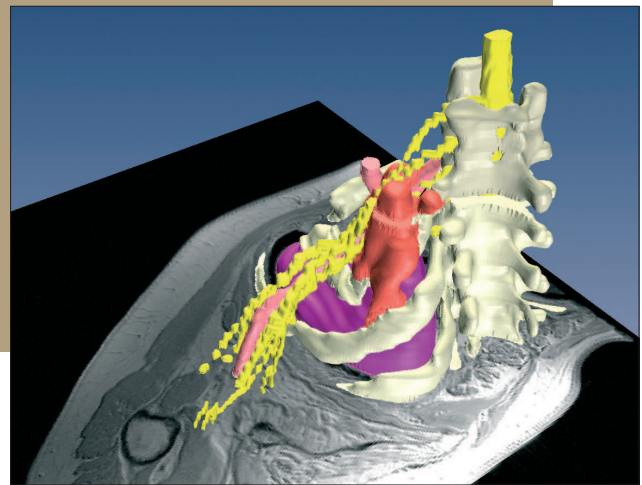
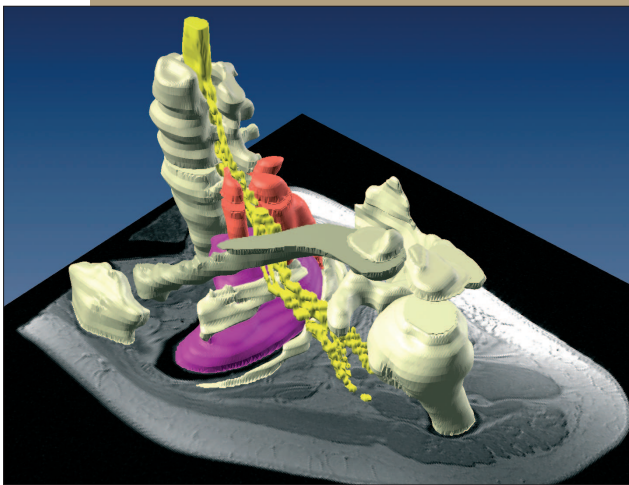
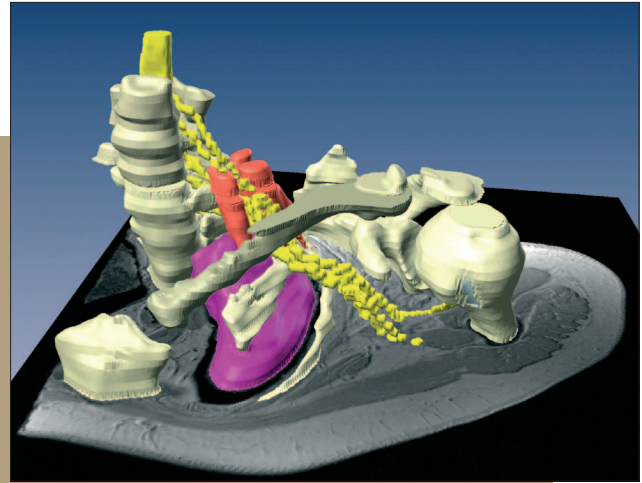
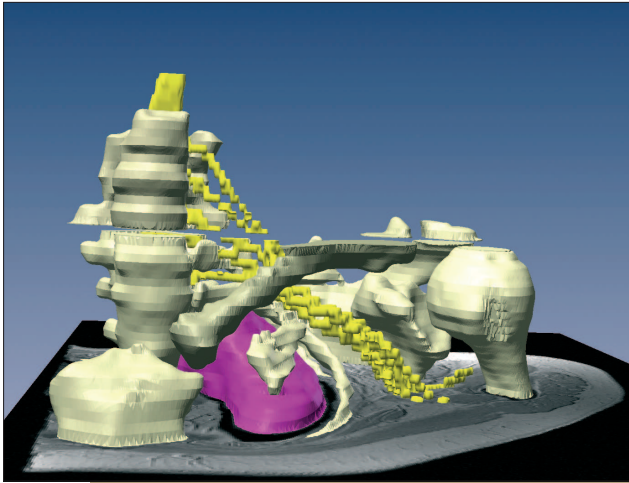
*The same MRI-scan as fig. 2.4 with the outlines of the necessary anatomical structures. The inset represents the same in the anatomical slice.*

sionaal beeld weer van deze structuren evenals van de volledige plexus zoals die in het preparaat aanwezig waren. Op die manier werd elke structuur vorm gegeven en een kleur toegewezen. Eenmaal de nodige structuren op deze manier gedefiniërd, konden we overgaan tot het kiezen van verschillende aanzichten. Om de plexus zo duidelijk mogelijk in beeld te krijgen, hebben wij gekozen voor vier verschillende illustraties. Eén frontaal beeld en drie onder een hoek waarvan één vanaf de rug bekeken (dorsaal aanzicht). Op deze manier kwam elk deel van de plexus goed in beeld. Het frontale beeld aan het begin van de serie doet dienst als inleiding waaruit de anderen logischerwijs vloeien. Een frontaal beeld geeft de toeschouwer de kans zich te oriënteren. Het is een herkenbaar beeld zoals we die uit anatomische atlassen kennen. De vier tekeningen worden in grijs waarden uitgewerkt.

Het driedimensionale beeld dat de computer genereerde, is op zich niet bruikbaar als illustratie. De computerreconstructie geeft, tengevolge van de afstand tussen de MRI's, eerder een globaal beeld van de werkelijkheid. Er zijn te weinig details aanwezig om als bruikbare illustratie te kunnen dienen. Men mag niet vergeten dat

*the next step was to choose the necessary points of view. We opted for four different illustrations to give a clear view of the plexus: one frontal and three under an angle, one of those is a view from the back (dorsal view). That way each part of the plexus was displayed to the best. The frontal image at the beginning serves as an introduction, the others follow quite naturally. A frontal image allows the reader to orientate her/himself. It's quite similar to the ones we see in anatomical atlases. The images were elaborated in grey tones.*

*The three dimensional image, generated by the computer, cannot be used as an illustration. The reconstruction by the computer gives only a global image of the structure, due to the thickness of the MRI slices. Too many details are missing to be useful as an illustration. After all, the image is only a calculation by the computer in combination with*



het verkregen beeld maar een berekening is van de computer in combinatie met onze interpretatie. Het is vooral in dit stadium dat het inzicht en de anatomische kennis van een wetenschappelijk illustrator van kapitaal belang blijkt. Het is zijn taak om onregelmatigheden op te sporen en realisme aan het computermodel toe te voegen. Zo heeft de computer bij de reconstructie onbestaande verbindingen gemaakt tussen de verschillende zenuwbundels in de plexus. Het programma Amira heeft als opdracht de gele cirkels, die ik op elke MRI heb gedefiniëerd, op elkaar te stapelen en logisch met elkaar te verbinden. Daar waar de gele cirkels elkaar overlappen, verbindt hij ze. Het programma doet dit blindelings, het kan niet weten welke cirkels nu precies met elkaar verbonden moeten worden. De computer kan enkel berekeningen maken. Beslissingen nemen is de taak van de anatomisch en tekenkundig onderlegde wetenschappelijk illustrator. Hij kan de computer opleggen wat het moet doen.

*our interpretation of the data. This is the moment where the perception and the anatomical knowledge of the illustrator pays off. He has to detect all irregularities and to add realism to the computer model. For example: during the reconstruction the computer added non-existing links between different nerve bundles. It is the task of the Amira software to pile the different yellow circles on the successive MRI's and to connect them logically. When such circles overlap, the computer automatically makes a connection, not knowing if this corresponds with reality. The computer only makes calculations, decision making is the task of the skilled scientific illustrator. He tells the computer what to do.*

**Fig. 2.6**

Uit de computer-reconstructie werden vier aanzichten gekozen die als basis voor de tekeningen dienen.

*From the computer-reconstruction four views were chosen. They served as the basis for the drawings.*

Fig. 2.7

Uitwerking van het computerbeeld tot een begrijpelijke vorm. Voorstudie op calqueerpapier

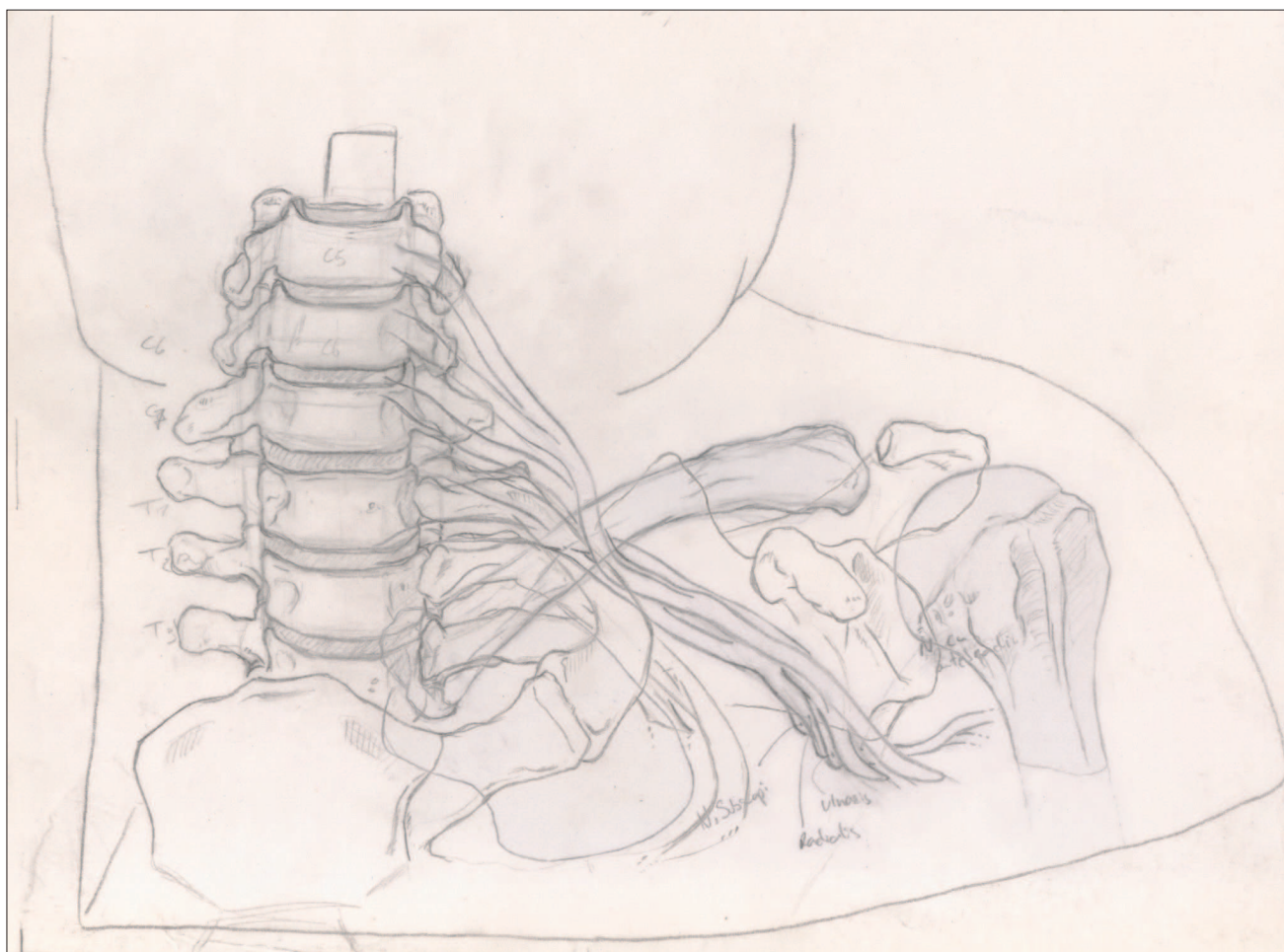
*The elaboration of the computer image into a comprehensible form. Preliminary drawing on tracing paper.*

Alleen als wetenschapper en illustrator samenwerken, kunnen zij er een coherent beeld van maken. Aan de hand van verschillende anatomische preparaten en delen van het skelet zijn we erin geslaagd, met het computermodel als uitgangspunt, om tot een begrijpelijk beeld te komen. Het computermodel is daarvoor eerst uitgeprint en met calqueerpapier en verschillende stiften is het verloop van de plexus ontrafeld.

Uit de computerreconstructie is enkel het skelet, de plexus brachialis, de longtop en de onderste coupe geselecteerd om weergegeven te worden in de illustraties. Meer structuren zoals spieren en vetweefsel werken contraproductief tot onze doelstelling. Het verloop van de plexus zou door een teveel aan structuren gedeeltelijk aan het oog onttrokken worden en dit zou voor teveel afleiding zorgen.

*Only a close collaboration between scientist and scientific illustrator allows them to obtain a coherent image. Based on the computer model and using different anatomical specimens and skeletal models, we were able to achieve a comprehensible image. We started by printing the computer model, then we used tracing paper and some felt pens to unravel the plexus.*

*From the computer reconstruction only the skeleton, the brachial plexus, the top of the lung and the lower slice were reproduced in the illustrations. Showing more structures such as muscles and adipose tissue would blur our objectives. Drawing too many structures would block out parts of the plexus and distract the eye from the main objective.*



De longtop en de onderste snede hebben teken-technische waarde. Zij hebben o.a. als functie het geheel met elkaar te binden. De illustratie bestaat uit veel losse onderdelen en neigt anders uit elkaar te vallen. De ruimte wordt ook beter gedefinieerd en het komt de oriëntatie ten goede.

Als werkwijze zijn vooreerst de skeletstructuren van de reconstructie uitgeprint. Op een calqueerpapier heb ik dit beeld met potlood uitgewerkt tot een begrijpelijke vorm. Zo was het uitzoeken van de wervelkolom veel puzzel- en denkwerk, maar wel een leuke uitdaging. Op basis van de eerste schetsen werd besloten welke elementen dienden geïllustreerd te worden en welke delen eventueel een transparantie vereisten. (fig. 2.7)

Nadat de definitieve compositie was bepaald, werd er overgaan tot het uitwerken in grijs-waarden. Voor de uitwerking is er gebruik gemaakt van Schoellershammer 4R, 250 grams, tekenpapier en het hele gamma aan potloodhardheden: van H9 tot 3B.

Bij de verdere uitwerking, hielpen de anatomische preparaten en de verschillende skeletstructuren me bij de stofuitdrukking. Een oppervlaktestructuur is bij de computerreconstructie afwezig. Om toch zo realistisch mogelijk te kunnen werken, geeft het bestuderen van preparaten het beste resultaat.

Het onderwerp van elke tekening is de plexus, daarom werd besloten om deze een gele tint te geven. Op deze manier is de complexe vorm duidelijker naar voor gebracht en wordt men niet snel door de omgeving afgeleid.

Het grote voordeel van dergelijke reconstructies is de mogelijkheid een beeld te krijgen van structuren die zich binnen in een preparaat bevinden, zonder deze eerst te hoeven prepareren. Daarbij gaat de continuïteit niet verloren. Vooral bij MRI's van levende personen blijven alle structuren intact en ongeschonden in hun anatomische stand. De wetenschappelijk illustrator beslist daarop in samenspraak met de wetenschapper wat er moet te zien zijn. Op deze manier verkrijgt men beelden die de werkelijkheid nog dichter benaderen.

*However the lung top and lower slice do have a technical value. They unite the different structures. The illustration consists of many loose parts and would otherwise fall apart. Now space is better defined and the orientation also benefits from it.*

*The mode of operation consisted first of all in printing the skeleton structure of the reconstruction. With tracing paper and pencil I developed this image to a comprehensible shape. Giving shape to the vertebral column for instance was puzzling but also challenging. Based on the first sketches we decided which elements had to be illustrated and which parts needed some transparency. (fig 2.7)*

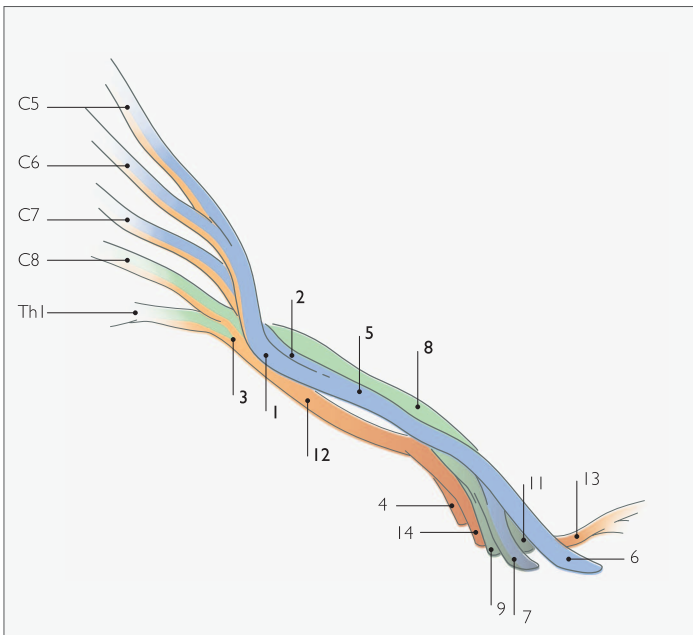
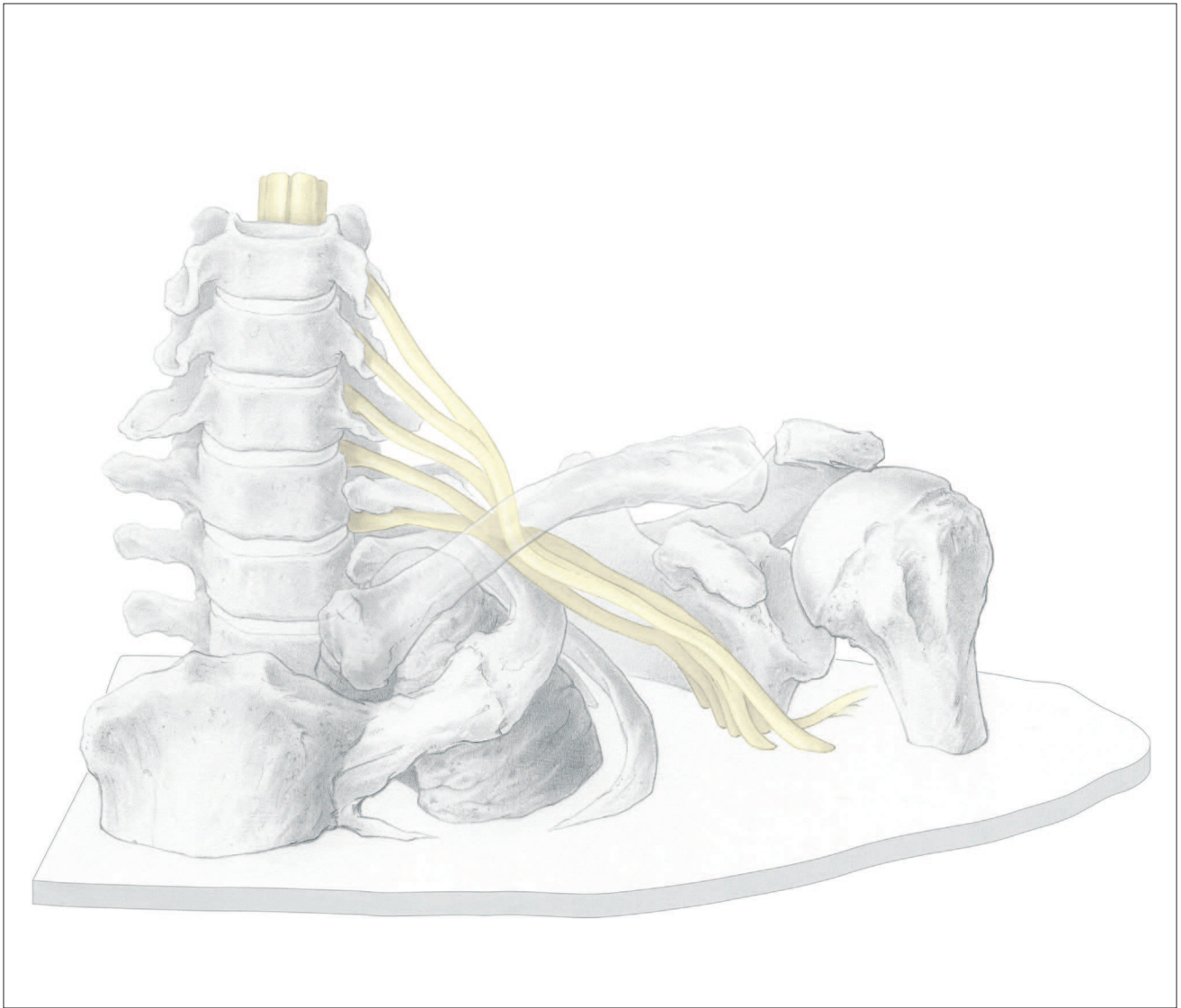
*After determining the final composition, we started with the elaboration in shades of grey. I used Schoellershammer 4R, 250grs, drawing-paper and the whole range of pencils: from H9 till 3B.*

*In a later stage the anatomical specimens and the skeleton structures helped me with the representation of each specific matter. The computer reconstruction is lacking structure on the surface. To obtain as realistic a result as possible, the study of anatomical specimens gives the best result.*

*The essence of every drawing is the plexus. For this reason we decided to colour it yellow. This way the complex outline can be accentuated and one will not easily be distracted by the surrounding structures.*

*The greatest advantage of this kind of reconstructions is the possibility to obtain an image of structures inside a specimen without having to do anatomic dissections. That way we avoid a loss of continuity. Especially with MRI's of patients all structures stay intact and undamaged in their original anatomic position. It is up to the scientific illustrator in consultation with the scientist what has to be visible. This way we obtain more realistic images.*

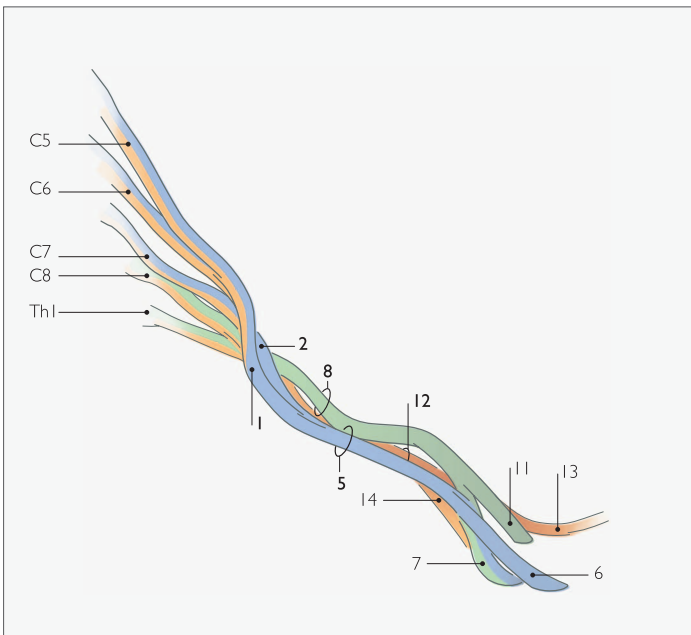
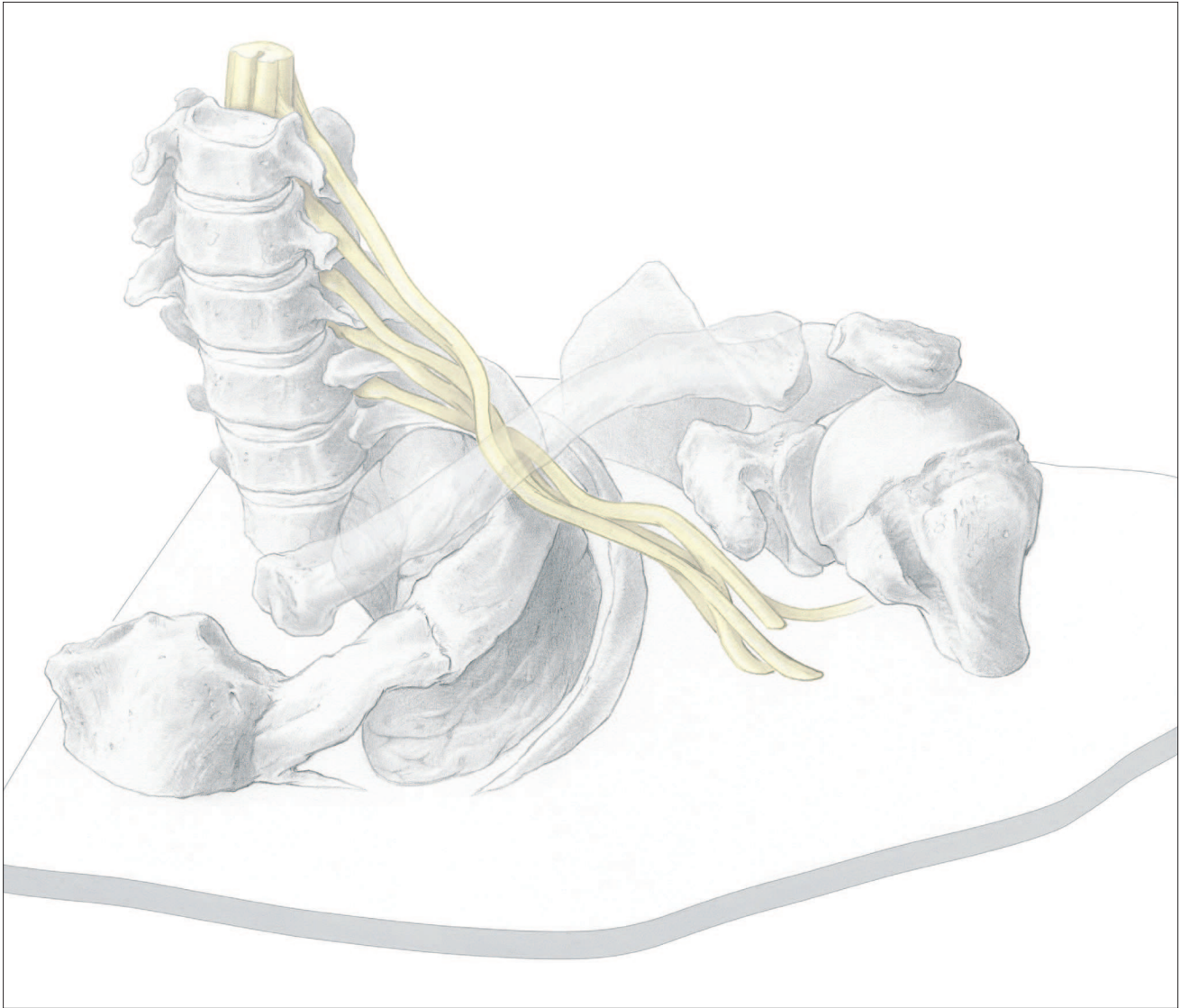




**Fig. 2.8**

De in potlood  
uitgewerkte tekening  
van het frontale  
beeld met schema ter  
identificatie.

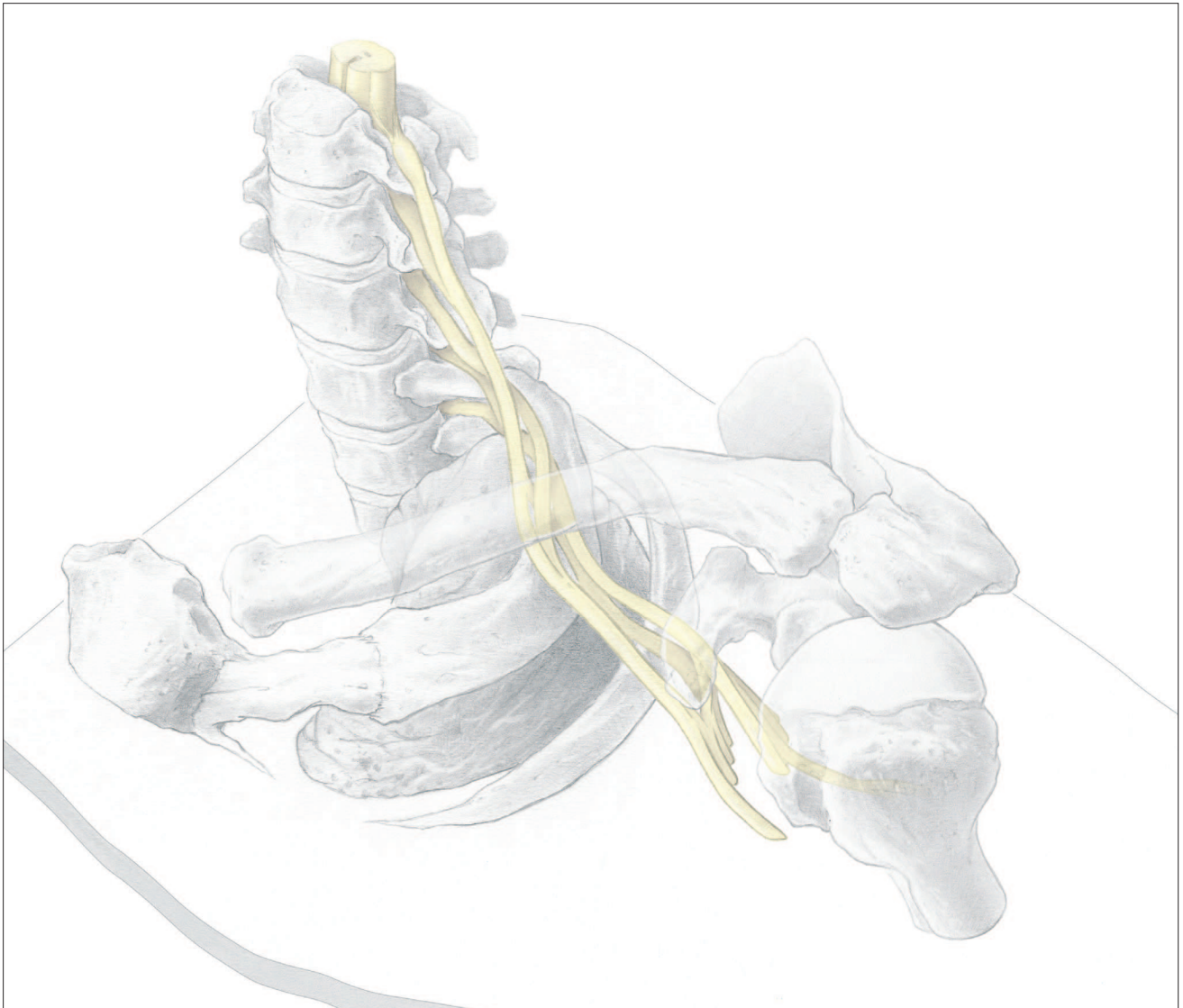
*The pencil drawing of  
the frontal image with a  
diagram for identification.*



**Fig. 2.9**

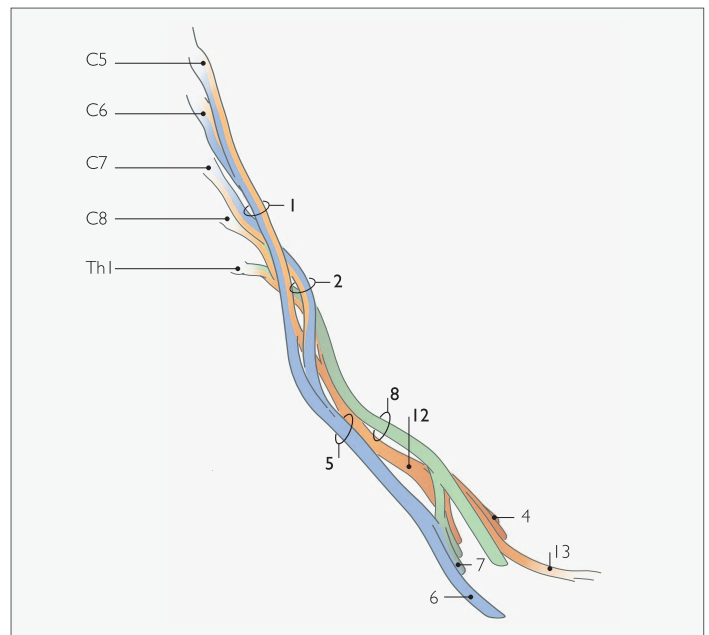
De in potlood  
 uitgewerkte tekening  
 van het tweede beeld  
 met schema ter  
 identificatie.

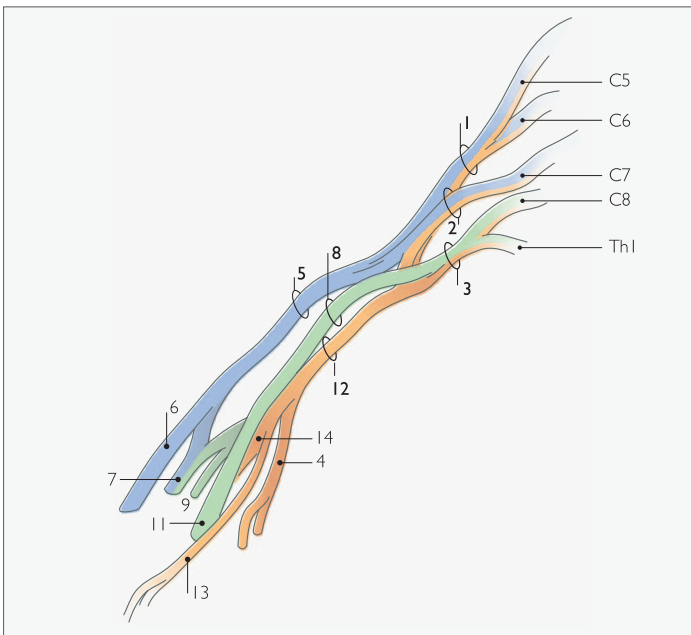
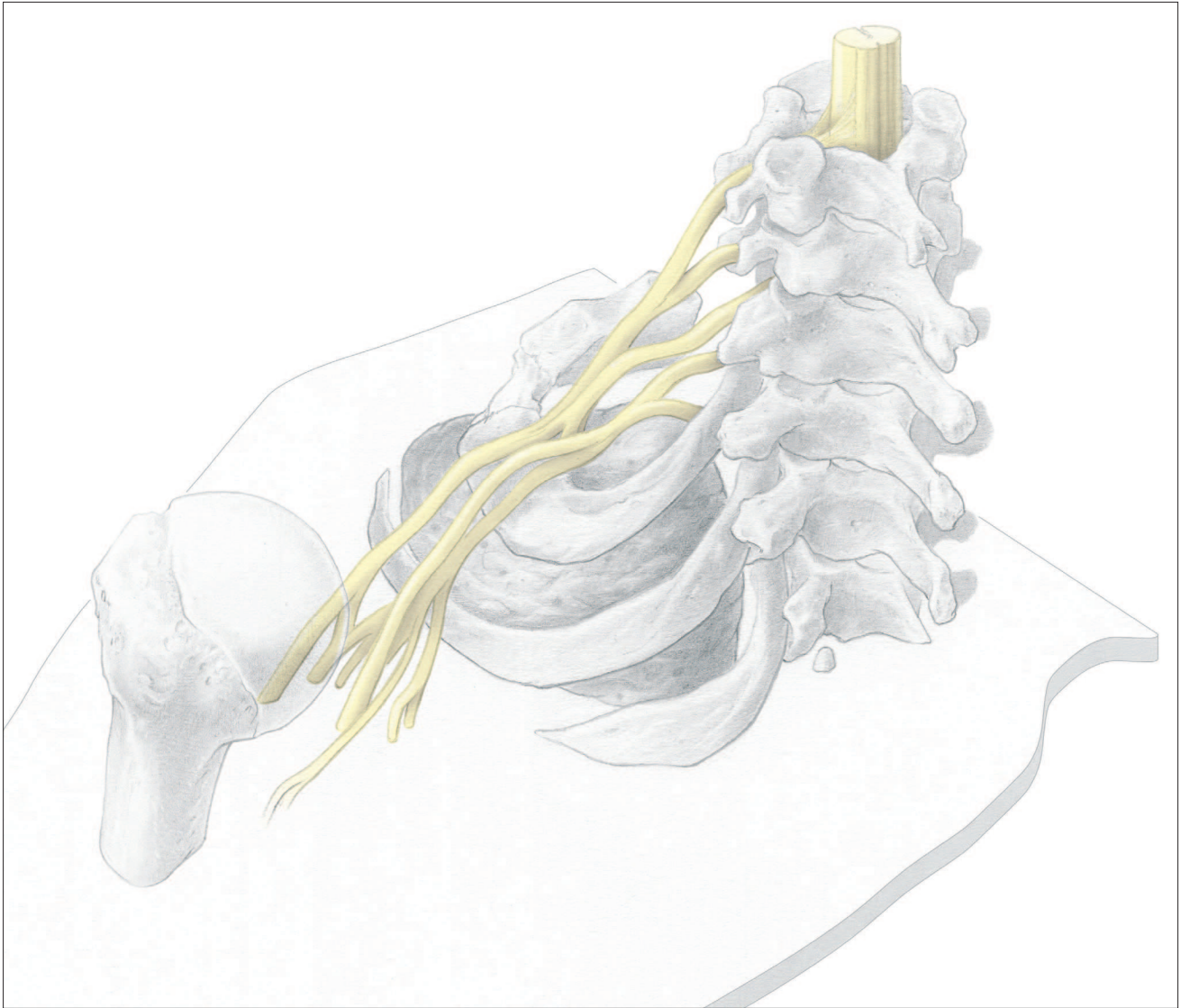
*The pencil drawing of  
 the second image with a  
 diagram for identification.*



**Fig. 2.10**  
 De in potlood  
 uitgewerkte tekening  
 van het derde beeld  
 met schema ter  
 identificatie.

*The pencil drawing of  
 the third image with a  
 diagram for identification.*





**Fig. 2.11**

De in potlood  
uitgewerkte tekening  
van het dorsale beeld  
met schema ter  
identificatie.

*The pencil drawing of  
the dorsal image with a  
diagram for identification.*

## Epiloog

Ondanks de recente computerontwikkelingen blijft wetenschappelijke illustratie hoofdzakelijk een ambachtelijk vak. Alles begint met een tekening, de computer blijft net als het potlood een instrument. Diegene die het met fotografie probeert, zal vreemd opkijken. Een foto kan onduidelijk zijn en is daarenboven louter een momentopname, terwijl een tekening de combinatie van impressies is van vele momenten. Met een tekening heb je de mogelijkheid om transparantie toe te passen, niet-relevante of afleidende informatie weg te laten en belangrijke informatie te accentueren. De illustrator laat zo objectief mogelijk datgene zien wat de wetenschapper op het oog heeft, niets meer, niets minder.

Bij een kwalitatief hoogstaande illustratie hoort vaak veel (op)zoekwerk. Een tekening kan daardoor soms heel veel tijd in beslag nemen. De wetenschappelijk illustrator hoort mee te denken met de wetenschapper, hij moet zich het onderwerp eigen maken en zich erin verdiepen, en dat kost tijd. Kennis van het onderwerp is van kapitaal belang om tot een verantwoord resultaat te komen.

Gelukkig constateren steeds meer medici en wetenschappers dat een kwalitatief hoogstaande illustratie de voorkeur wegdraagt. Men ziet terug de vele voordelen in van illustraties om efficiënter te communiceren. Het biedt een zekere meerwaarde aan hun werk, waarin ze zelf al zoveel tijd en energie hebben gestoken. Het professionele handwerk van een wetenschappelijk illustrator voegt een waardevolle dimensie toe aan het wat fletse en vlakke beeld dat de cameralens en de computertechniek bieden.

## Epilogue

*In spite of the recent developments in computer technology, scientific illustration is still a traditional craft. The total process starts with a drawing, the computer is only a working tool the same way a pencil is. Even photography is not a good tool: a picture may be very muddled and is only a picture at a given moment. A drawing is the combination of impressions at different moments and gives the opportunity to apply transparency, to drop non-relevant or distracting information and to emphasize important elements. The illustrator shows as objectively as possible what the scientist has in mind, nothing more, nothing less.*

*A qualitative illustration is always based on thorough research. It can take a lot of time to finish a drawing. The scientific illustrator has to think together with the scientist, he has to familiarise himself with the subject, even bury himself in it and this is very time consuming. Knowledge of the subject is of paramount importance to obtain a well-founded result.*

*Fortunately more and more physicians and scientists are convinced of the added value of qualitative illustrations. The advantages of illustrations for more efficient communication are appreciated again. The added value to their work in which they invested so much time and energy already is obvious. The professional work delivered by the craftsmanship of a scientific illustrator adds a valuable dimension to the pale and flat image offered by the camera lens and the computer technique.*



## Dankwoord

Ik heb deze publicatie gemaakt met het idee meerdere lezers te kunnen bereiken. Ze handelt over mijn afstudeerproject, maar ook over het vak wetenschappelijk illustratie, beide toegelicht aan de hand van, naar ik hoop, een begrijpbaar beeld van het zenuwstelsel.

Aan deze zware eisen, die ik mezelf had opgelegd, had ik nooit kunnen voldoen zonder de hulp van experts.

Mijn grootste dank gaat uit naar Rogier Trompert. Hij stond altijd klaar met gepast advies, zelfs op de meest drukke momenten. Een groots illustrator en een voorbeeld voor velen.

Mijn docenten Hans Rensema en Jacques Spee mag ik daarbij ook niet vergeten. Beiden meesters in hun vak, hebben ze me de waarde en het belang van de lijn bijgebracht. Met veel interesse heb ik op snijzaal de lessen kunnen volgen van Arno Lataster. De anatomie-colleges waren altijd bijzonder leerrijk.

Mijn internationale klasgenoten dank ik voor hun opbouwende kritieken en de vele goede herinneringen. We hebben veel van elkaar geleerd, nu en dan zelfs een vreemde taal...

Meer in het bijzonder voor dit eindproject, kreeg ik hulp van Prof. L. Leybaert. Hij hielp me met de cytologie en celfysiologie en introduceerde me tevens bij Prof. K. D'Herde en T. Vanhoof. Ik wil hen hierbij ook bedanken om me bij hun onderzoek te betrekken en tevens te begeleiden. Het geduld en de hulp die ik van T. Vanhoof gekregen heb, verdient hier ook een plaats. Met dank aan A. De Smet voor het beschikbaar stellen van skeletdelen en zijn anatomische kennis.

Deze publicatie en de studie waren niet mogelijk geweest zonder de steun van mijn ouders. Aansluitend wil ook mijn broer bedanken voor de relativerende kijk op de dingen. En zoals het hoort, worden de belangrijkste mensen meestal als laatst vermeld, Isabelle. Bedankt voor je steun in die twee lange jaren van huis, het was me zonder jou niet gelukt...

Bij deze kan ik weer een hoofdstuk in mijn leven met een goed gevoel afsluiten, het was me een waar genoegen.

## Acknowledgements

*I made this publication with the idea of reaching different categories of readers. This publication deals with my thesis, but also with the profession of scientific illustration. I tried to throw some light on both, using -hopefully- a comprehensible image of the nervous system.*

*I would never have succeeded in this rather demanding task without the help of some experts.*

*First of all I want to express my greatest thanks to Rogier Trompert who was always ready to give appropriate advice, even during the busiest moments. A great illustrator and an example for many of us.*

*I certainly may not forget my teachers Hans Rensema and Jacques Spee. Both are masters in their domain. They taught me the importance every single pen stroke may have. Many thanks for two pleasant and especially instructive years. The lessons in the dissecting room, given by Arno Lataster, were most interesting as were the lectures on anatomy.*

*I thank my international classmates for their positive critique and the many good memories. We learned a lot from each other, even sometimes a foreign language...*

*More specific for this project I got a lot of help from prof L. Leybaert. He helped me out with the cytology and the cell physiology and also introduced me to prof K. D'Herde and T. Vanhoof. I am also very grateful to them for involving me in their research and for supervising me. The patience and the help T. Vanhoof gave me deserves a special mention. Another special mention goes to A. De Smet for the use of the skeleton models as well as for his anatomical knowledge.*

*This publication and my study would not have been possible without my parents support. In the same way I want to thank my brother for putting everything into perspective. And as it happens the most important people are often mentioned last: Isabelle. Thank you for your support during those two long years away from home, I would not have made it without you ...*

*Hereby I can close another chapter in my life with good feeling, it has been a real pleasure.*

