

Sensomotorik, Tastsinn, Schmerz

Prof. Manfred Fahle
Human- Neurobiologie
Universität Bremen

Sensorische Integration I:

Rezeptoren-Ebene (S. 536-546)

- Rezeptoren transformieren äußere Reize (Druck / elektromagnetische Wellen / Schallwellen / chemische R.) in Nervenimpulse
- Transduktion durch Öffnen und Schließen von Membrankanälen
- Rezeptorpotential (ähnlich EPSP)
- genannt Generator-Potential (bei ‚faserlosen‘ Rezeptoren)
- Erregung des afferenten Neurons
- Adaptation über die Zeit -> Anpassung an Reizniveau

Peripheral
target (skin)

Periphere Mechanorezeptoren

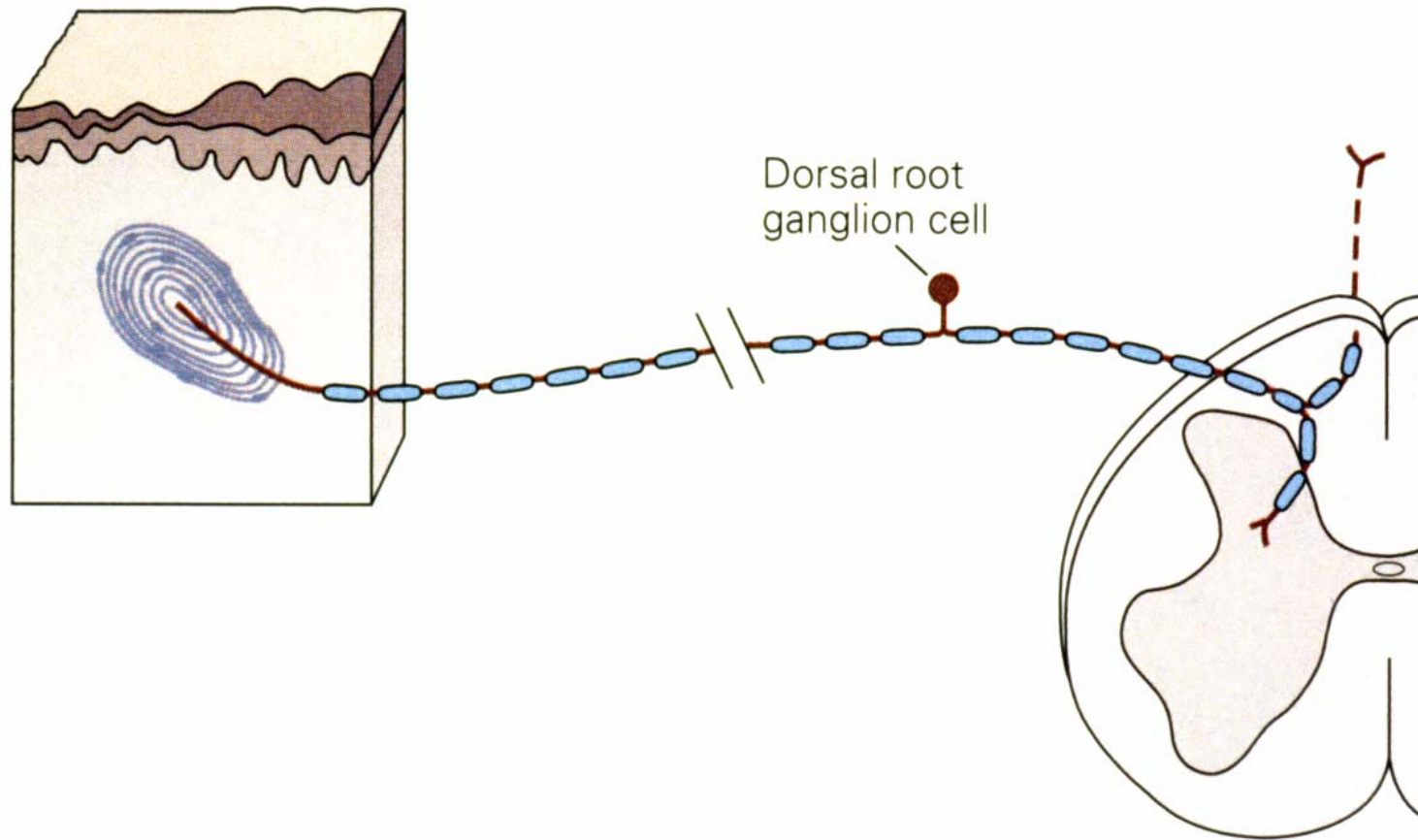


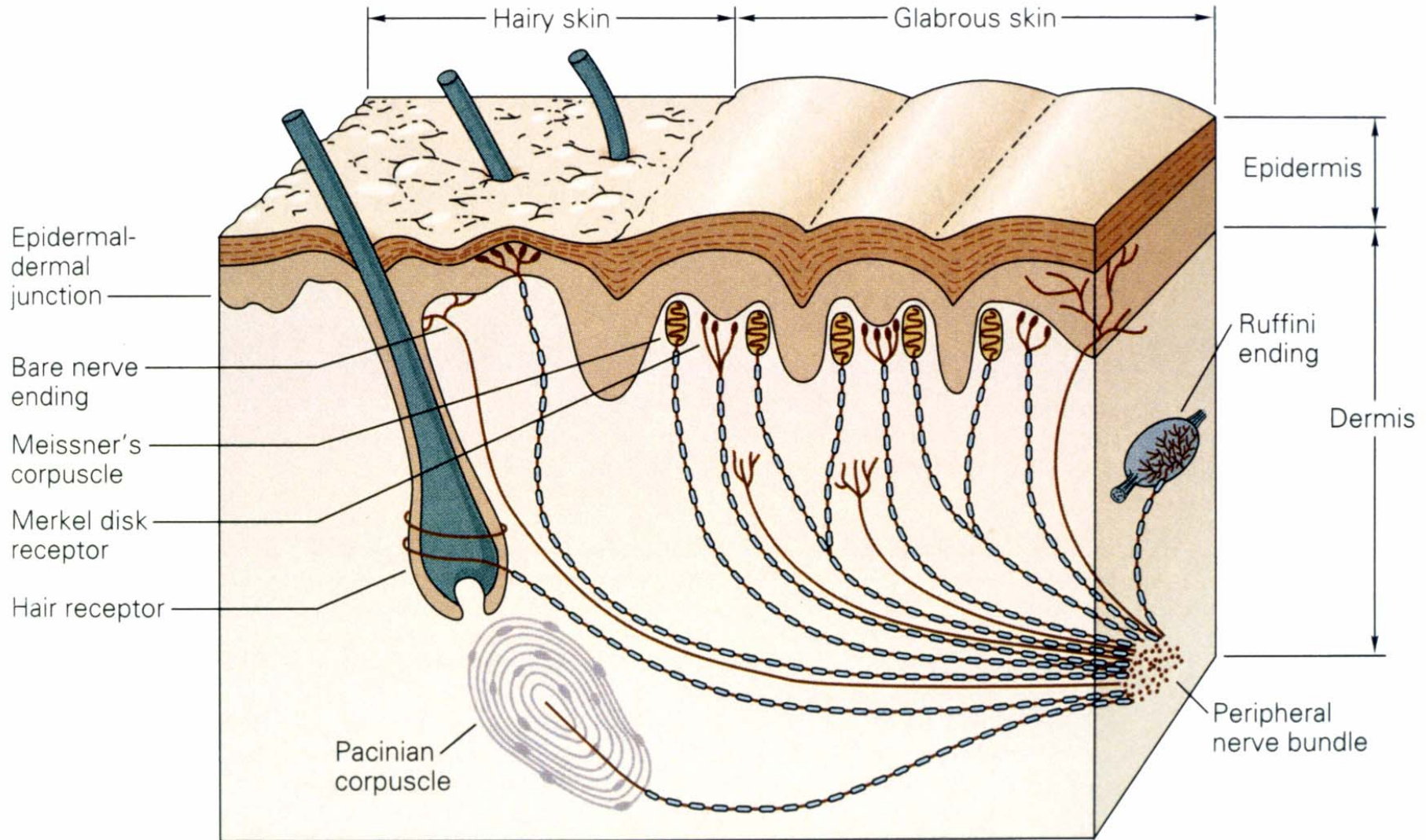
Figure 22-1 The morphology of a dorsal root ganglion cell.

The cell body lies in a ganglion on the dorsal root of a spinal nerve. The axon has two branches, one projecting to the periphery, where its specialized terminal is sensitive to a particular form of stimulus energy, and one projecting to the central nervous system.

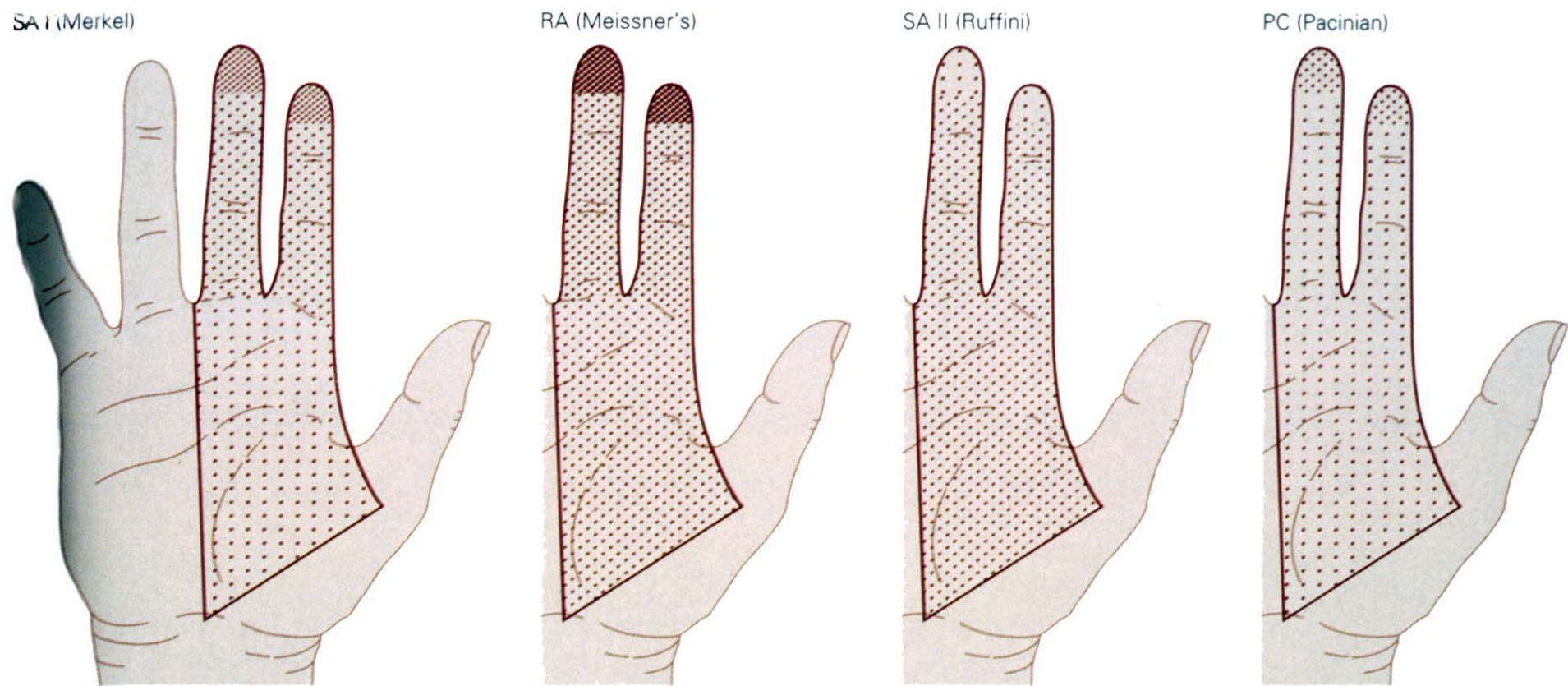
Periphere Somatosensorik: Rezeptoren

- **Mechanorezeptoren:**
 - tiefe: Pacini / Ruffini
 - oberflächliche: Meissner / Merkel
 - Dichte variiert stark
 - kodieren Druck über Entladungsfrequenz
- **Temperaturrezeptoren**
 - Kältefasern: ca. 5-40°C
 - Wärmefasern: ca 29-45°C
 - phasisch-tonisches Antwortverhalten
- **Schmerzrezeptoren:**
 - signalisieren (Gefahr der) Gewebeschädigung
 - schnelle (A)- und langsame (C)-Fasern
 - sind sensitivierbar

Mechanorezeptoren der behaarten und unbehaarten Haut



Dichte verschiedener Mechanorezeptor-Typen



Sensorische Integration IIa:

Verarbeitungs-Ebene

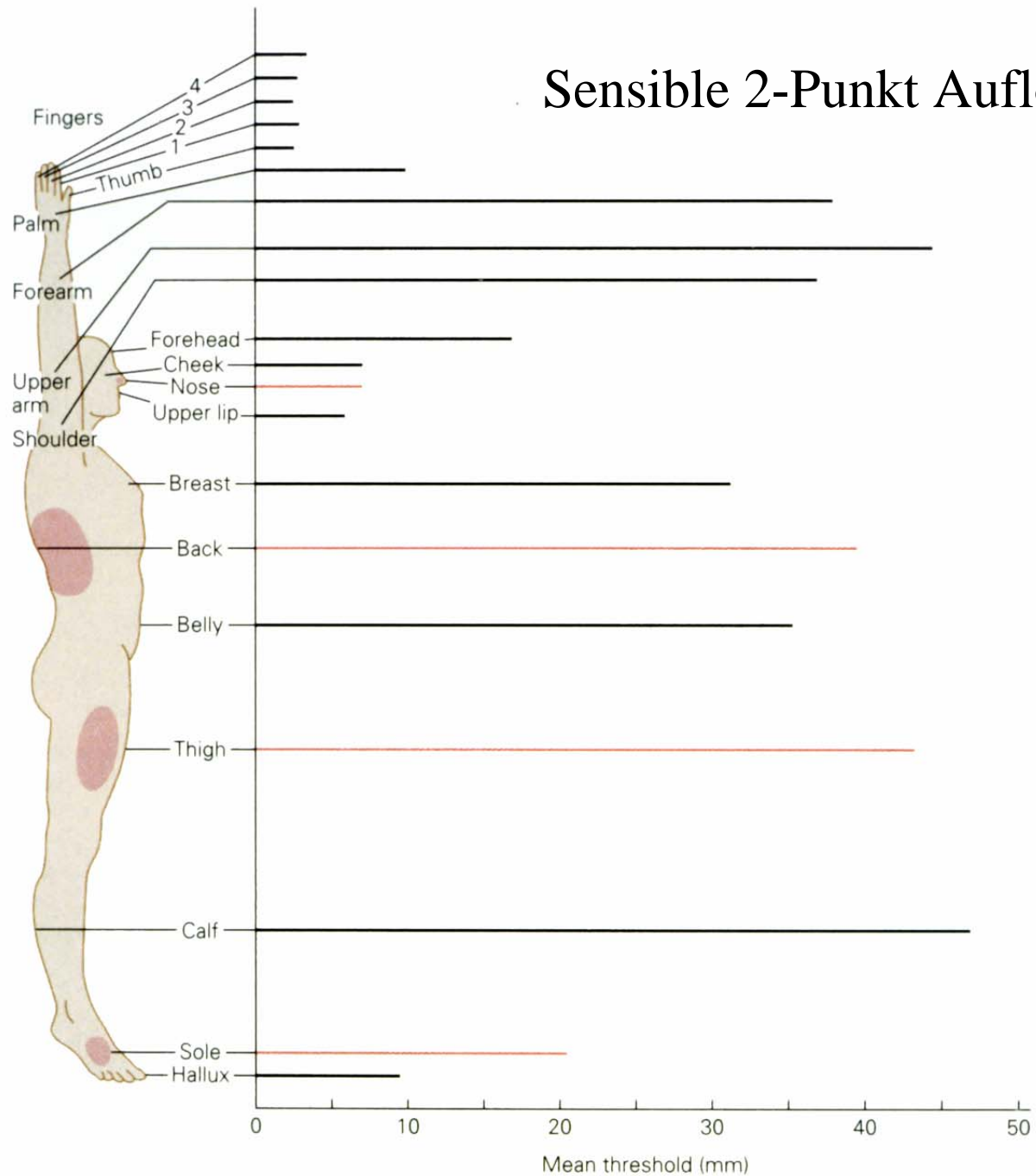
- afferente Leitung zum Gehirn über sensorische Fasern
 - **Neurone 1. Ordnung:** Zellkörper im Ganglion (Hinterwurzeln / Hirnstamm), leiten Information zum Rückenmark
 - **Neurone 2. Ordnung:** Zellkörper im Hinterhorn des Rückenmarks (oder in Kernen des Hirnstamms), leiten Information zum Thalamus
 - **Neurone 3. Ordnung:** liegen im Thalamus, leiten Erregungen zu (primären) Sinnes-Cortices (somatosensorisch / visuell / auditorisch)

Sensorische Integration IIb:

Verarbeitungs-Ebene

- Drei wesentliche sensorische Bahnen im Rückenmark:
 - spezifische aufsteigende Bahn zum somato-sensorischen Cortex (präzise Druck- und Vibrationsempfindung sowie Körperposition mit hoher Auflösung)
 - unspezifische Bahn zum Cortex, ebenfalls gekreuzt (li <-> re; Schmerz / Temperatur / grobe Berührung / Emotionale Komponente)
 - spinocerebelläre Bahn zum Kleinhirn; ungekreuzt! (von Propriozeptoren = Muskel-; Gelenk- und Sehnenorganen)

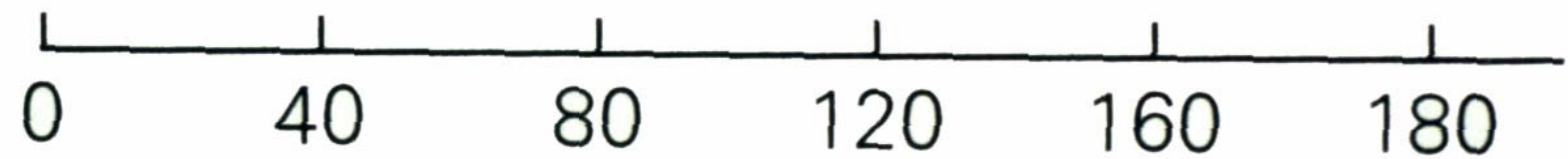
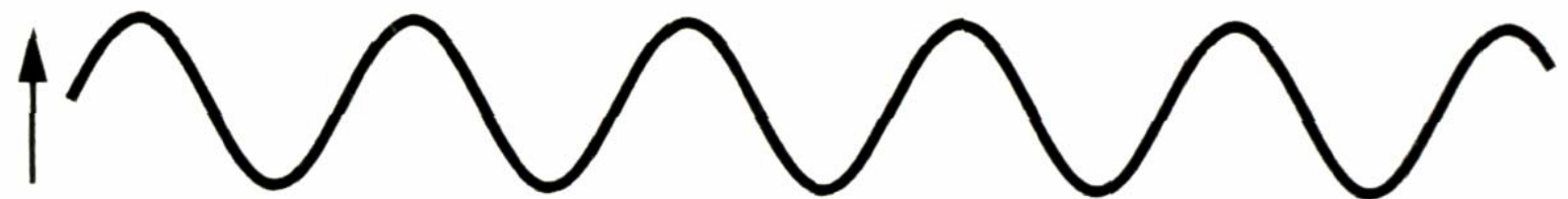
Sensible 2-Punkt Auflösung



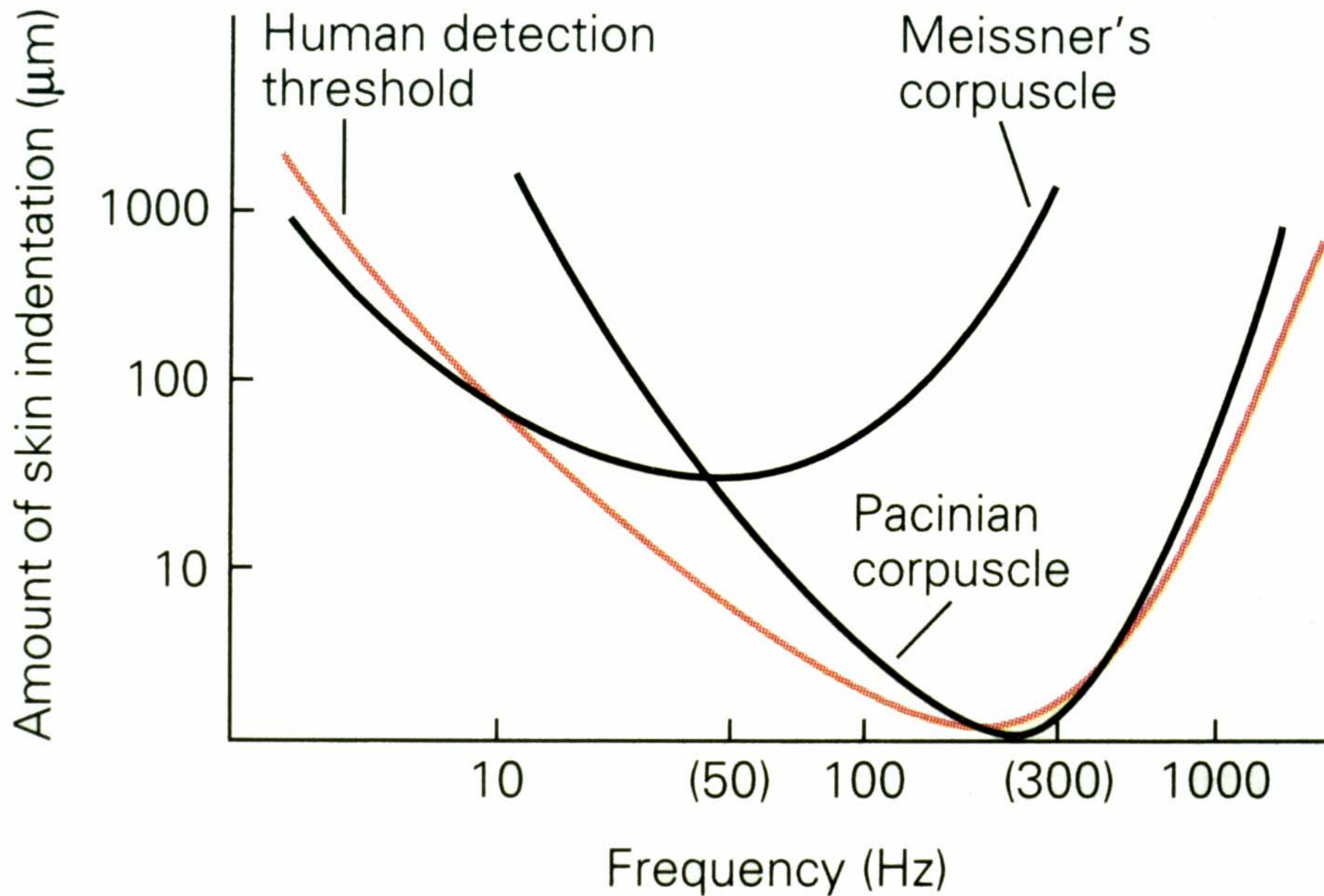
Action potential

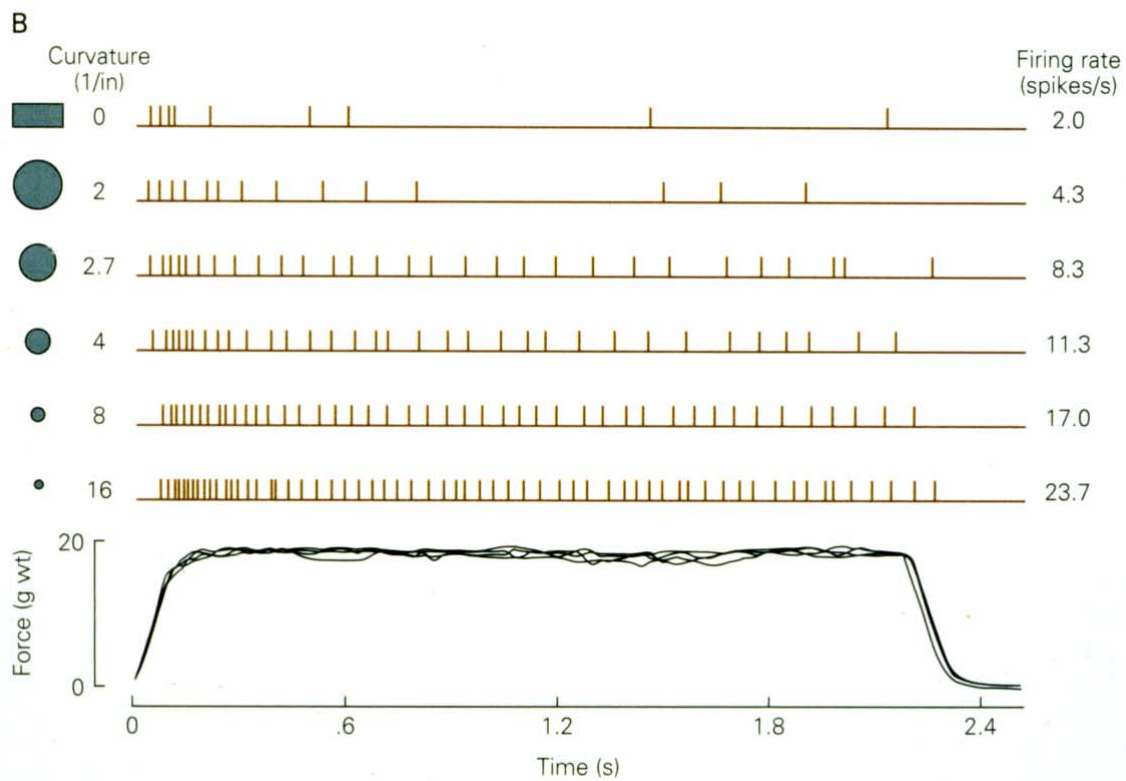
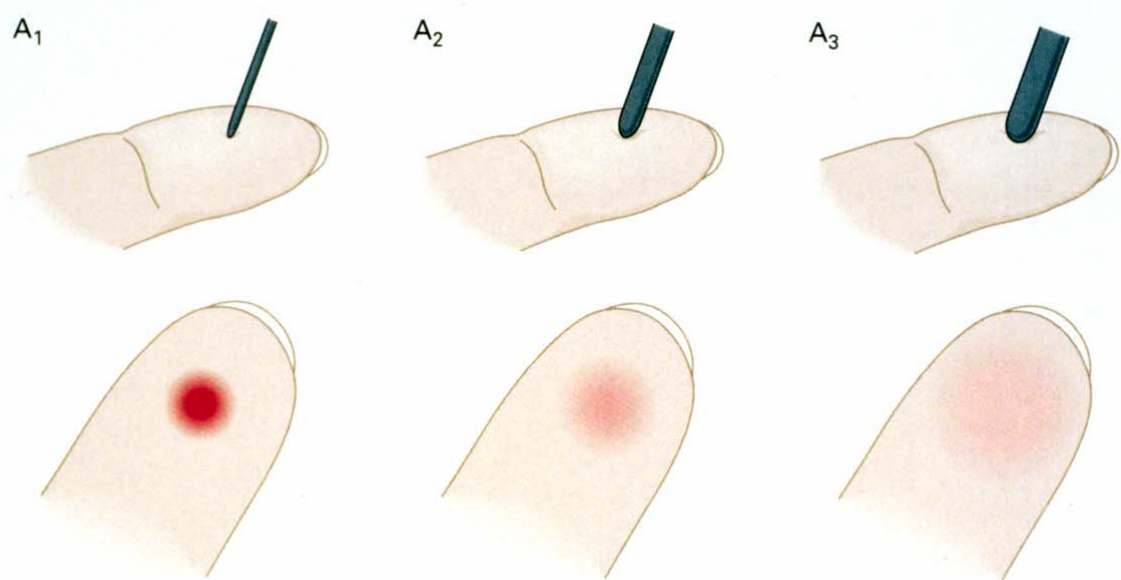


Skin indentation

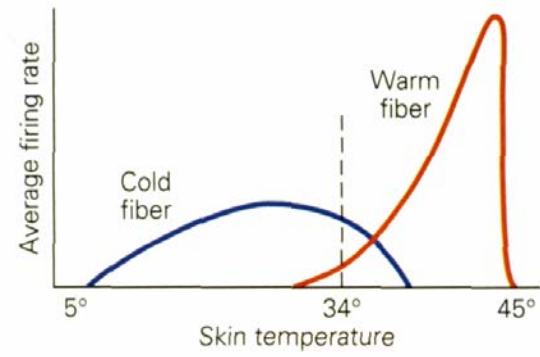


Time (ms)

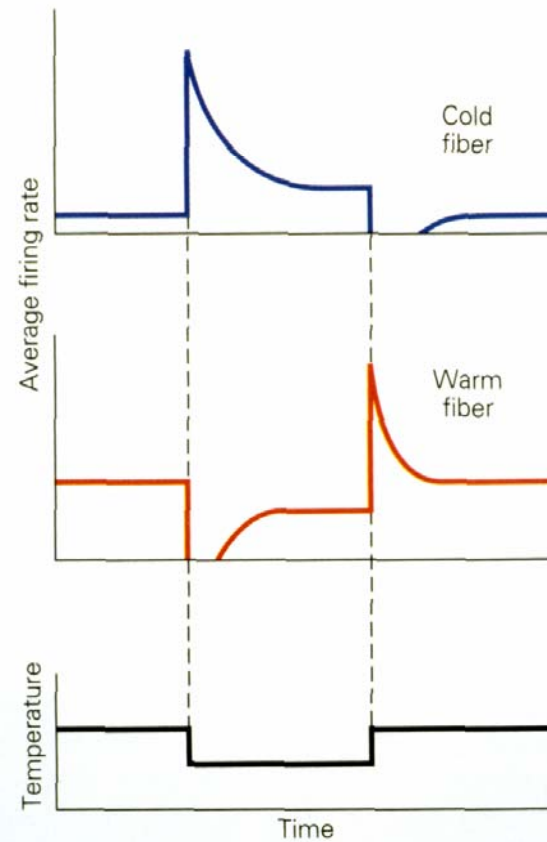


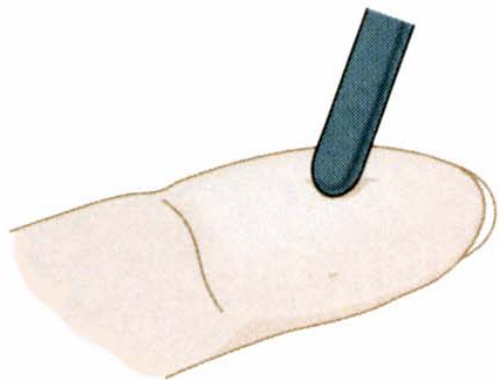


A Static temperature

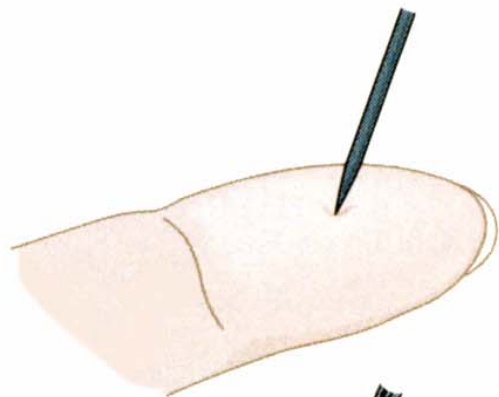
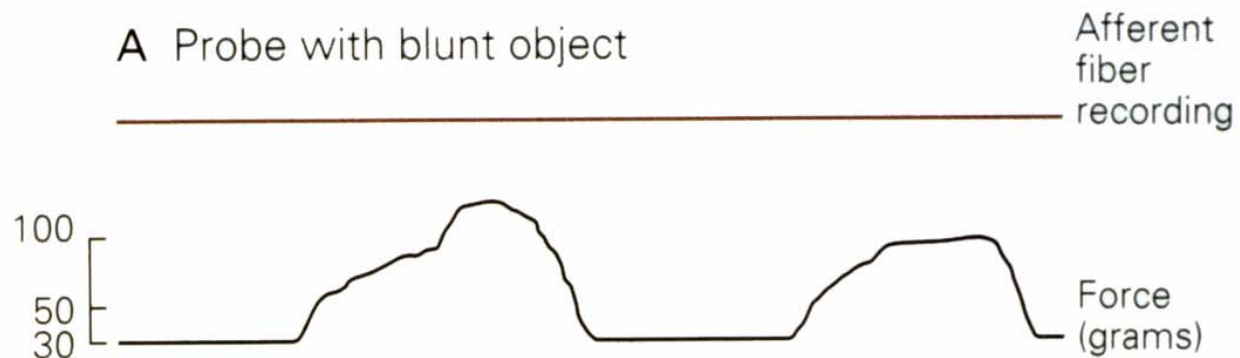


B Dynamic temperature

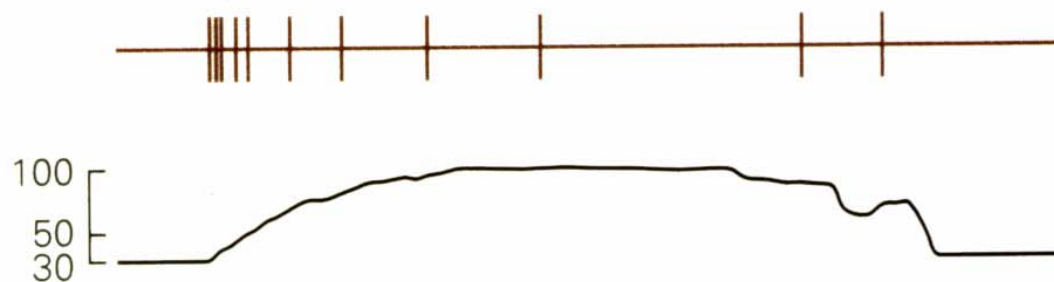




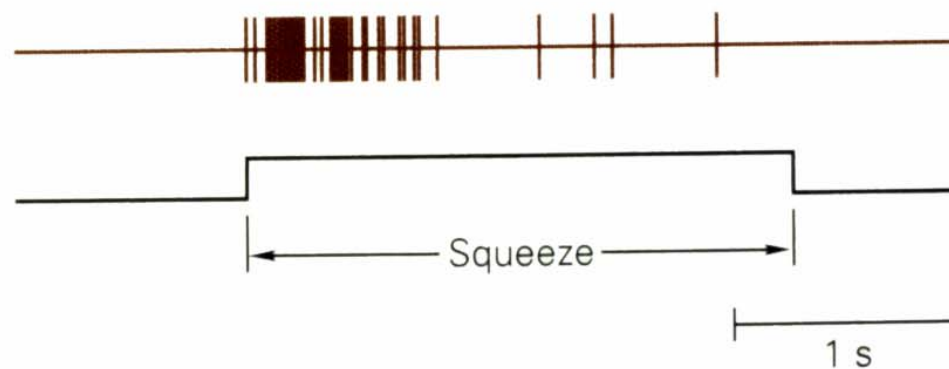
A Probe with blunt object



B Pinprick



C Pinch with serrated forceps

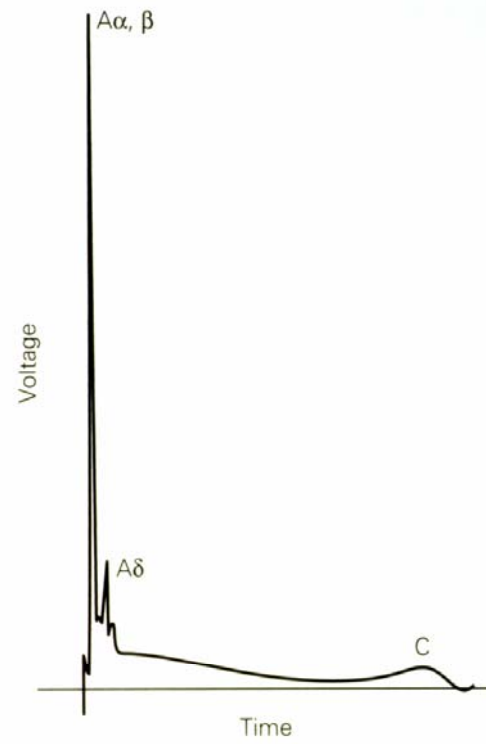


Sensorische Integration III:

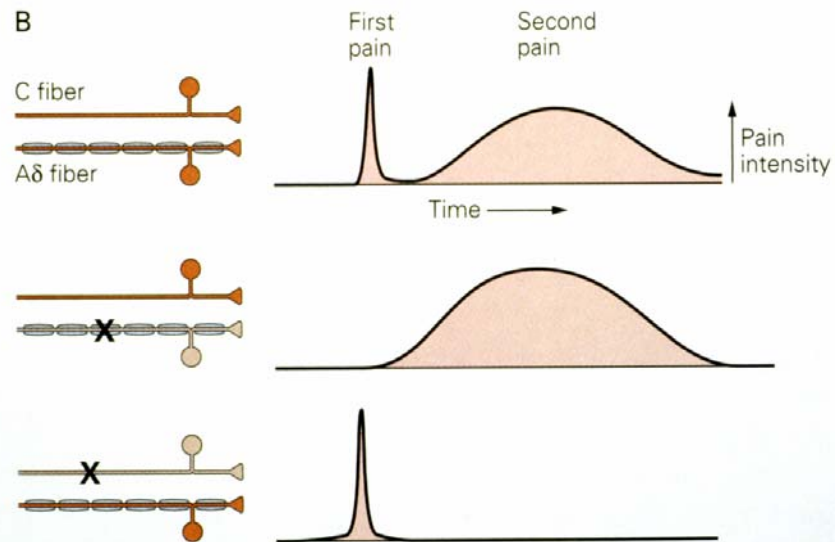
Wahrnehmungs-Ebene

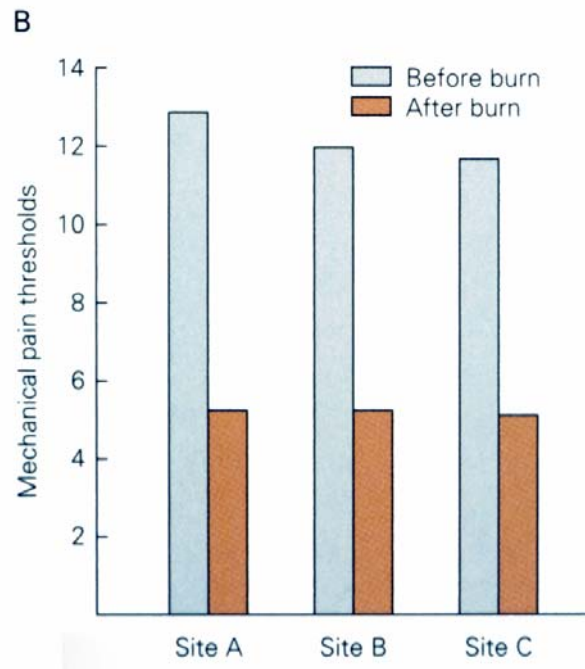
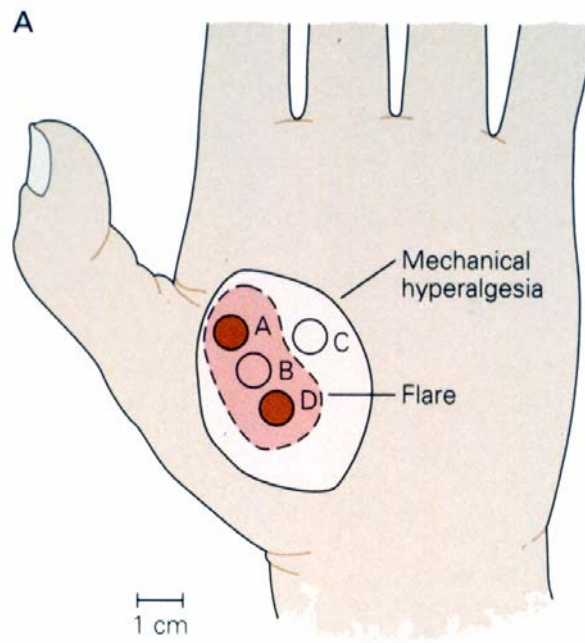
- Thalamus scheint eine grobe Reizlokalisierung und -Analyse zu ermöglichen
- genauere Diskrimination aber erst im (somatosensorischen) Cortex (von Thalamus parallel zu primärem und Assoziations-Cortex)
- Analyse der Eingangsreize anhand bestimmter Kriterien
 - Reiz-Detektion: Existenz wird wahrgenommen (Absolut-Schwelle)
 - Reizstärken-Einschätzung: Subjektives Maß für objektive (physikalische) Reizintensität
 - Räumliche Auflösung und Zuordnung
 - Merkmals-Extraktion (glatt / kühl / hart / ect.)
 - Objekt-Erkennung (Stein / Schwamm / Schlüssel / ect.)

A

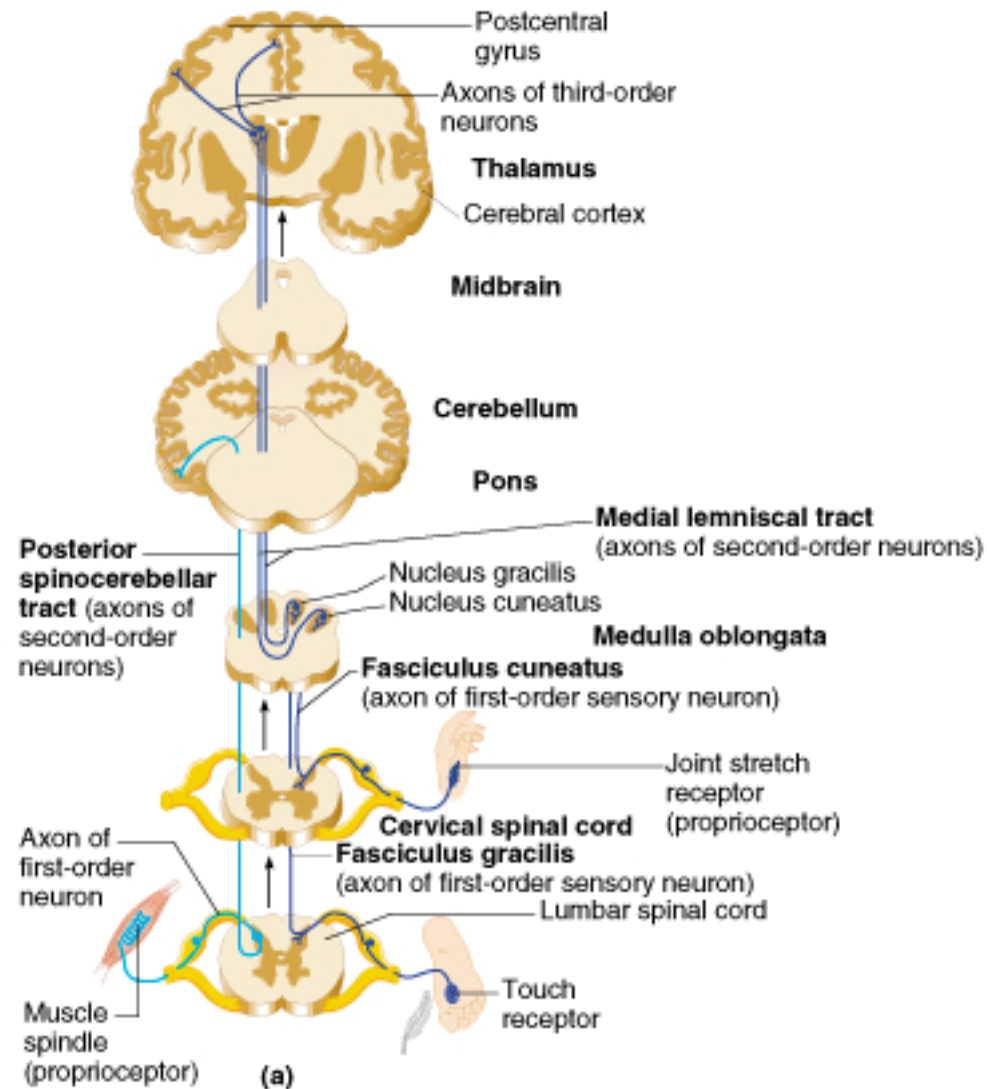


B

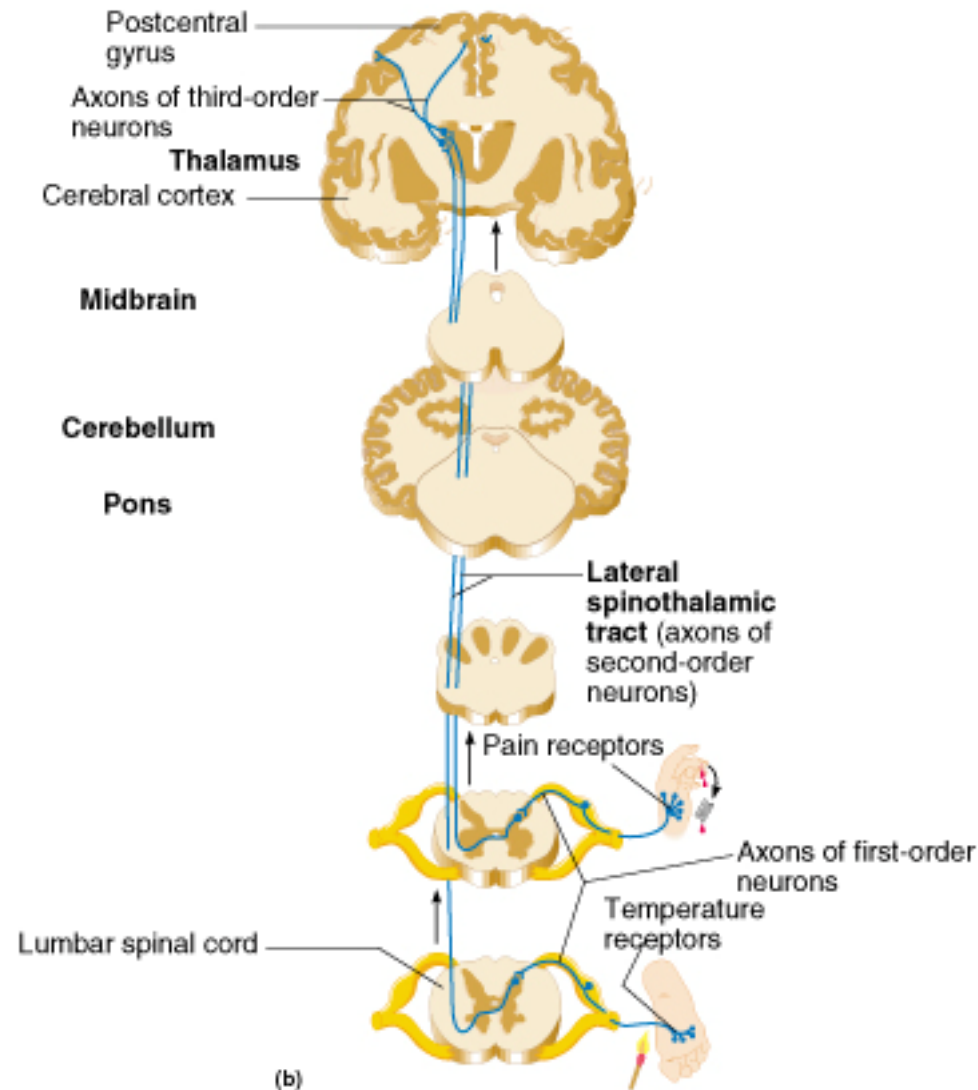




Somatosensorische Afferenzen: Berührung



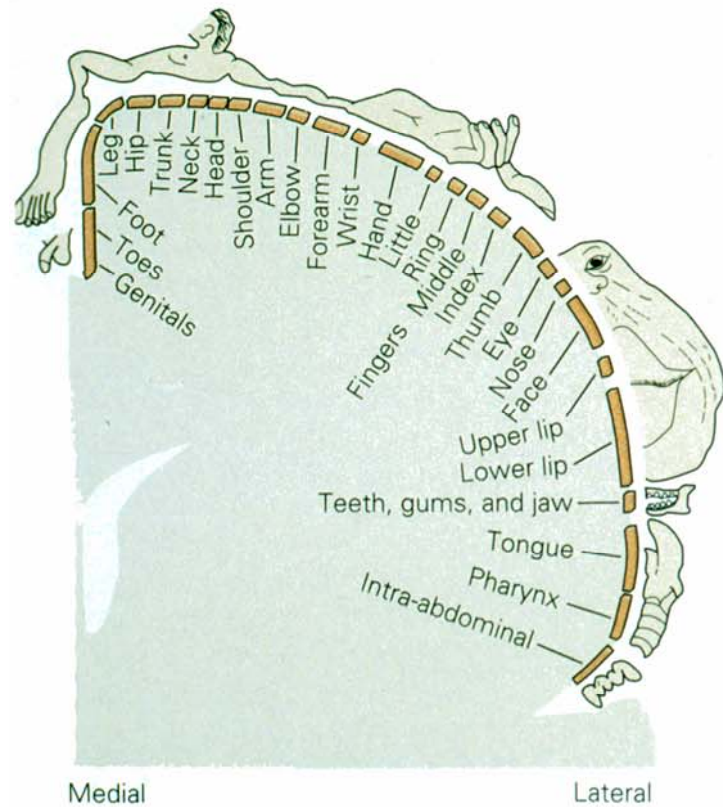
Somatosensorische Afferenzen: Temperatur/ Schmerz



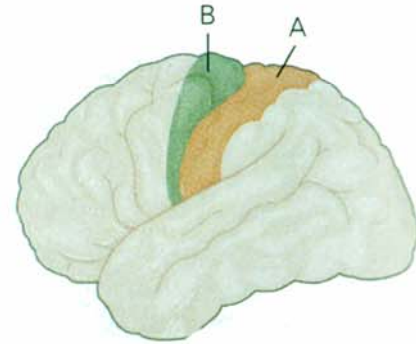
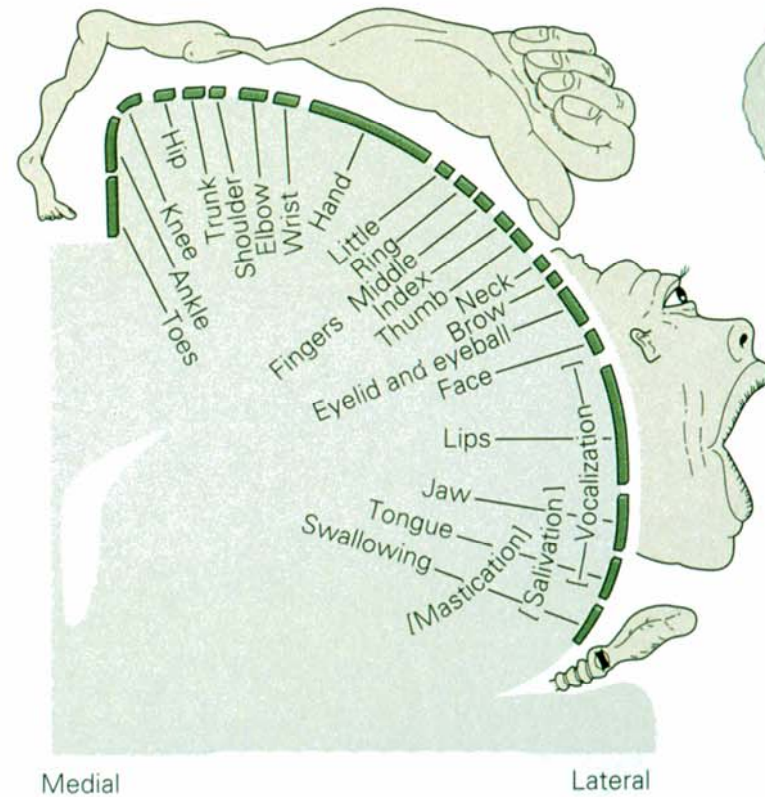
Cortikale Repräsentation der Somatosensorik (A)

- sensorischer und motorischer ‚Homunkulus‘ ähneln einander
- Größe der Projektionsgebiete im Cortex ist abhängig von Dichte der Rezeptoren bzw. Präzision der Bewegungen, nicht von Größe der Bereiche.
- Es bestehen hier erhebliche Differenzen zwischen Spezies.
- mehrere getrennte Hirnareale sowohl für Sensorik als auch für Motorik -> Parallel- und Sequenz-Verarbeitung
- Orientierungsspezifität der **cortikalen** Mechanorezeptoren

A Sensory homunculus

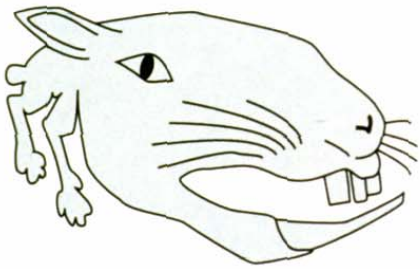


B Motor homunculus

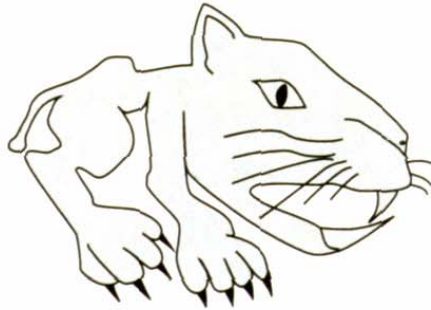


„Homunculi“ verschiedener Tierspecies

Rabbit



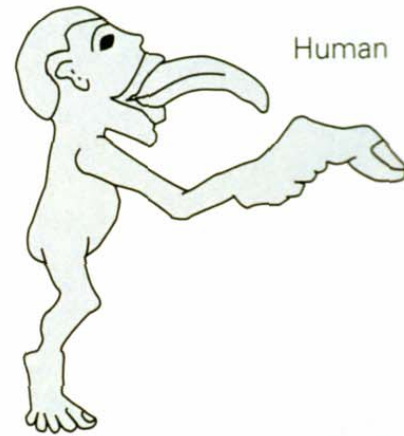
Cat



Monkey



Human

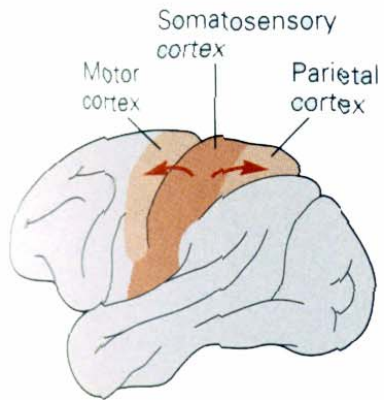


Corticale Somatosensorik (B)

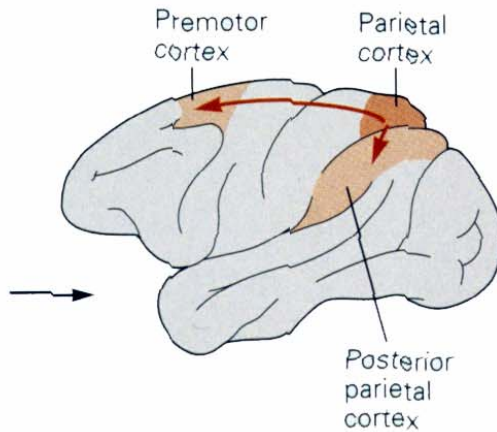
- sehr genaue Topografie der somatosensorischen Projektionen im Cortex
- Projektionen auch bei Erwachsenen plastisch -> Phantomschmerz
- nicht alles, was die Rezeptoren erregt, wird (bewusst) wahrgenommen;
starker Einfluss von Aufmerksamkeit (vgl. Neglect)

Assoziations-Cortices

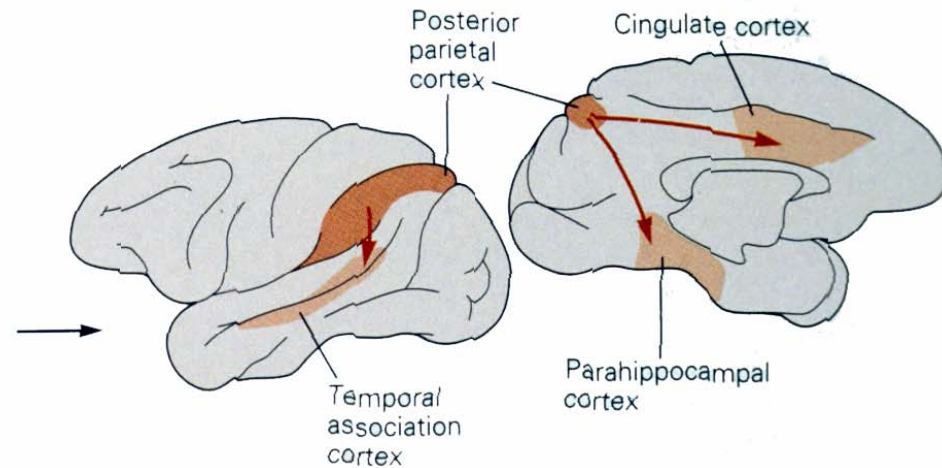
Primary somatic sensory cortex



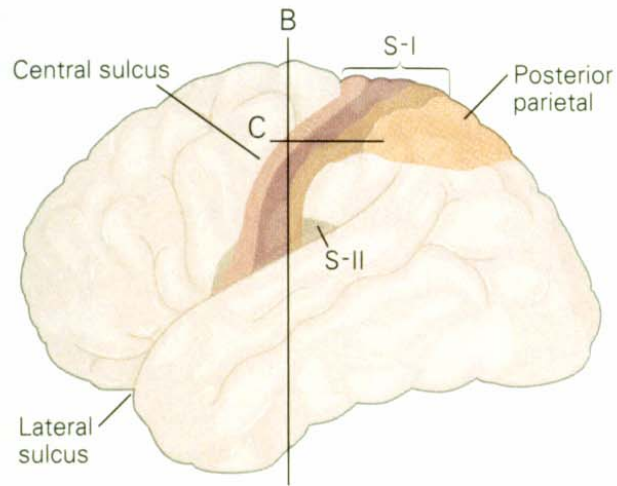
Unimodal association cortex



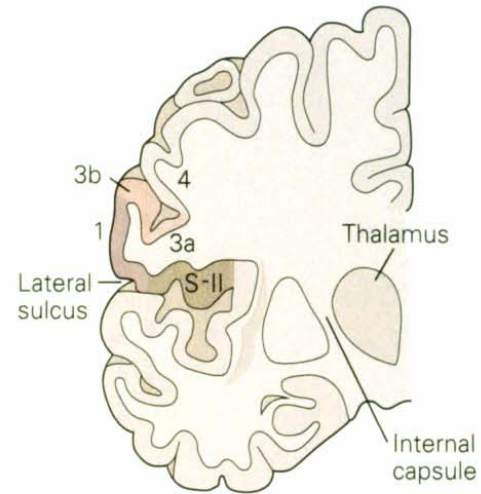
Multimodal association cortex



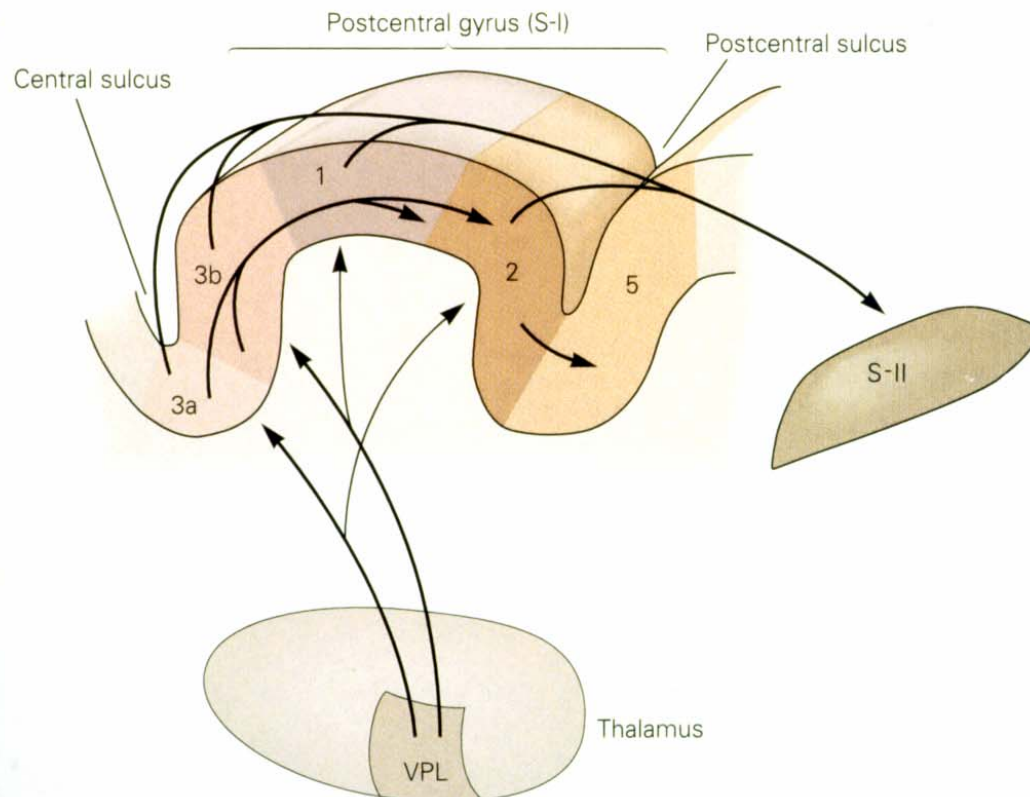
A The somatosensory cortex



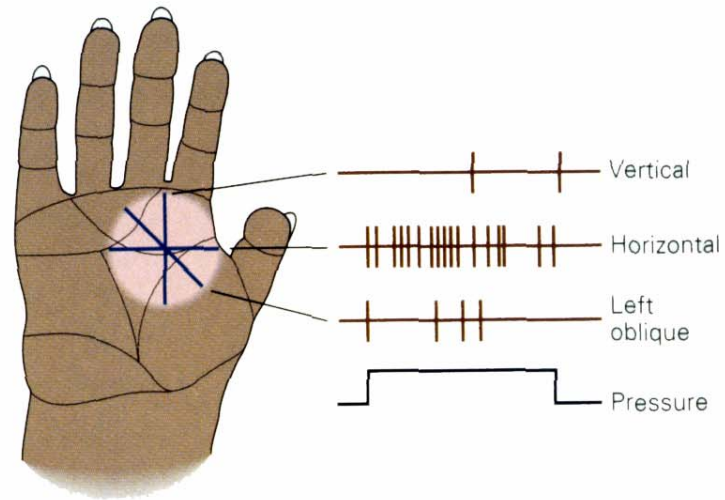
B Coronal section



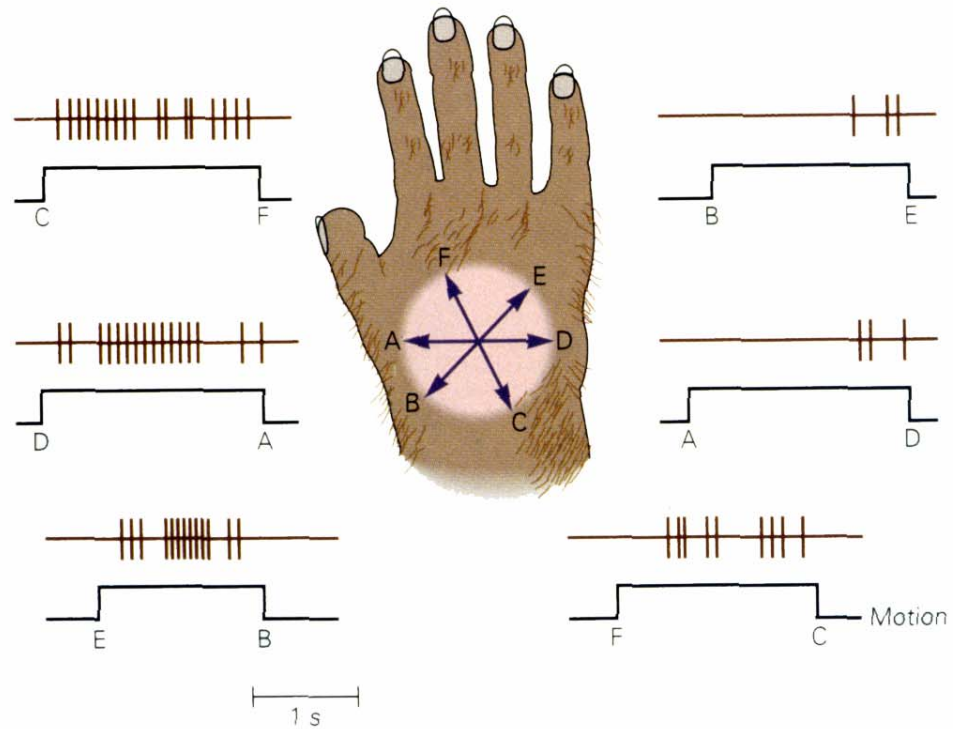
C



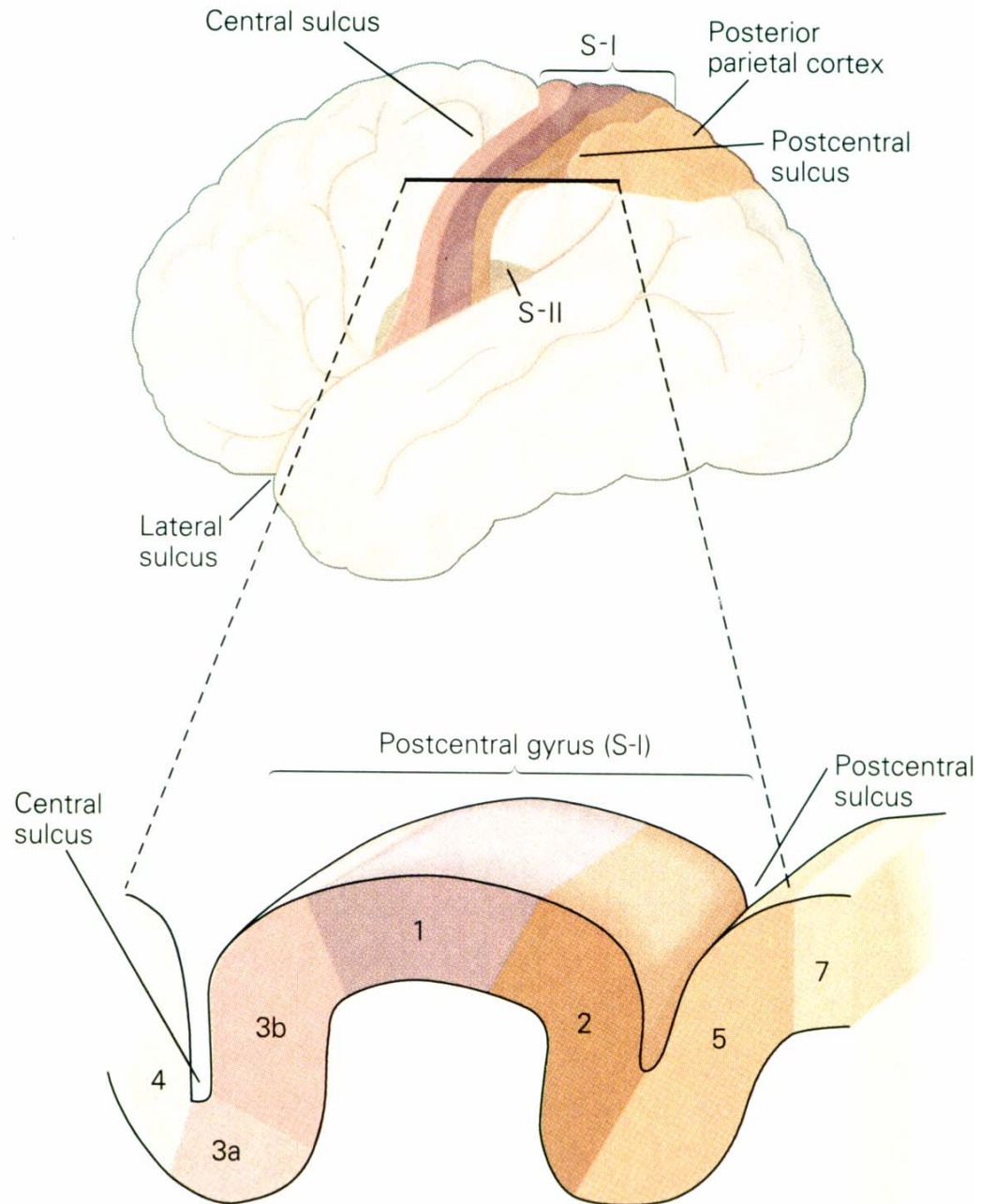
A Orientation-sensitive neuron



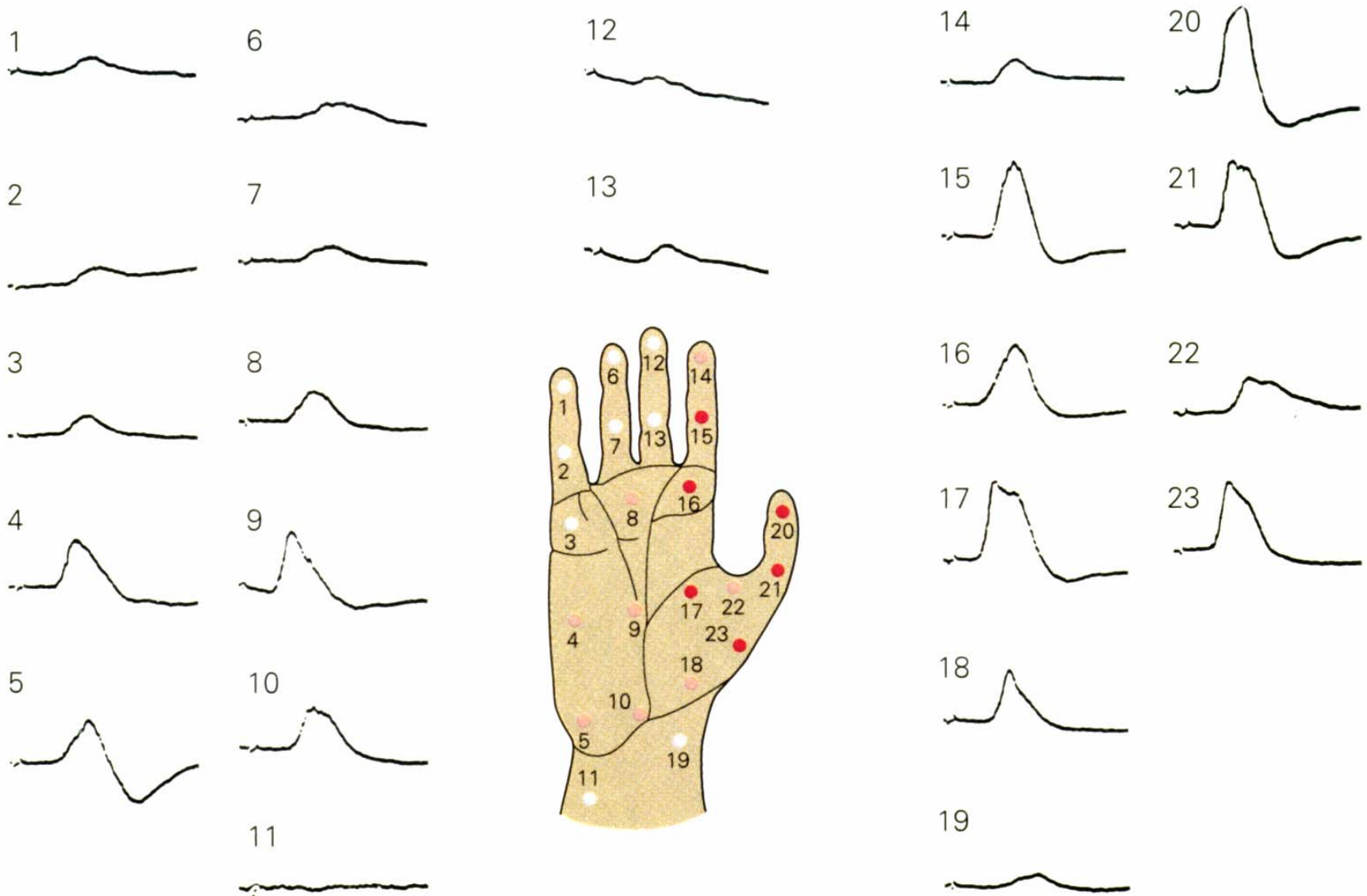
B Direction-sensitive neuron



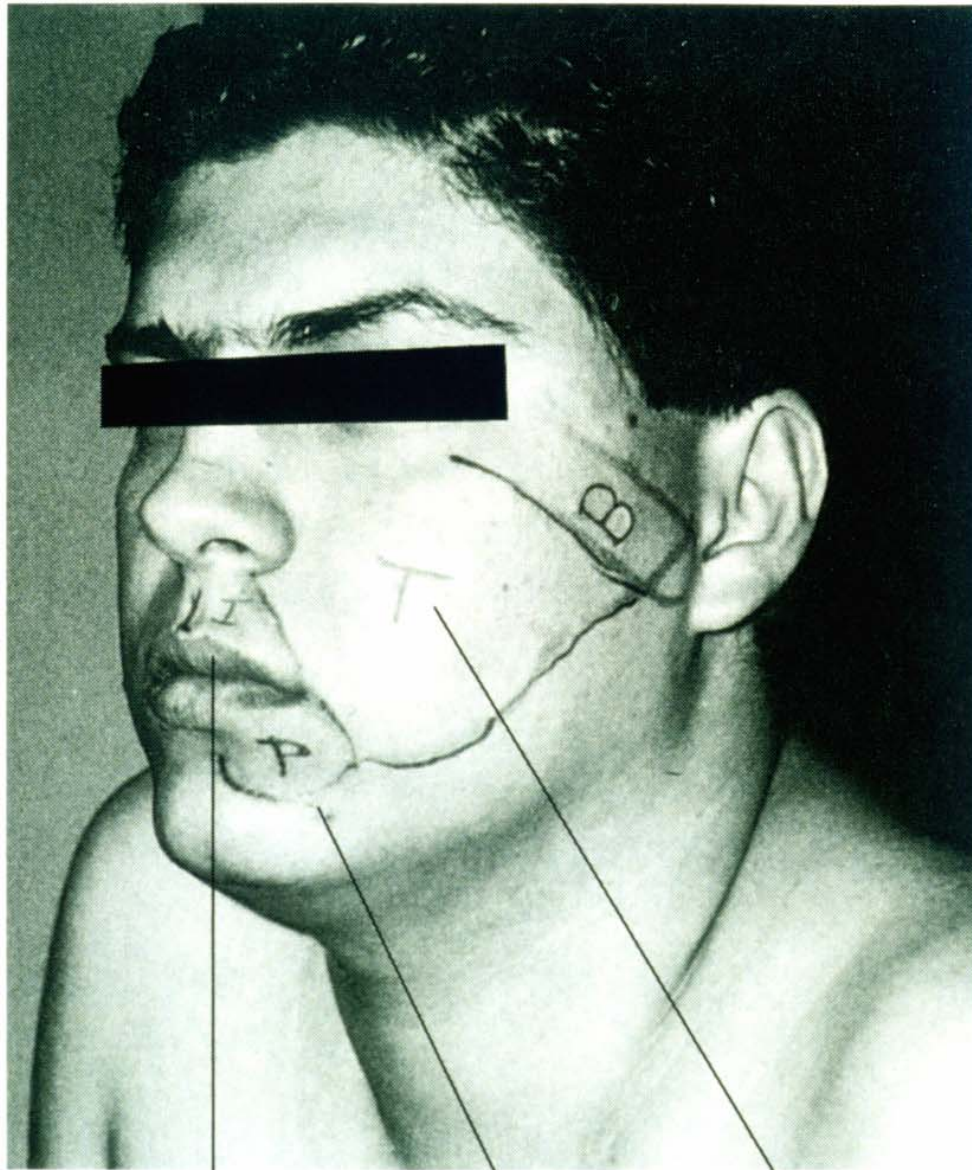
The somatosensory cortex



Evoked potentials in the somatosensory cortex



A

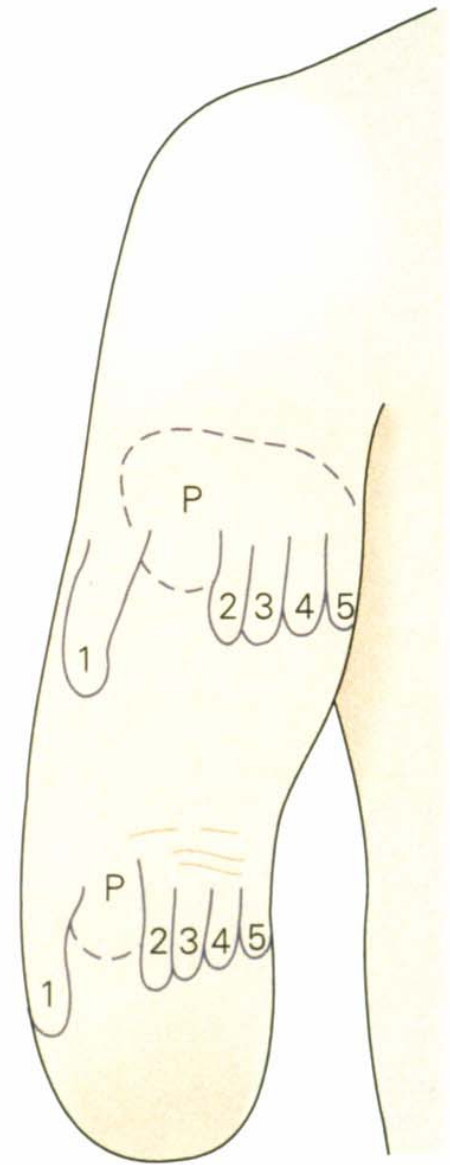


Index
finger

Fifth
digit

Thumb

B

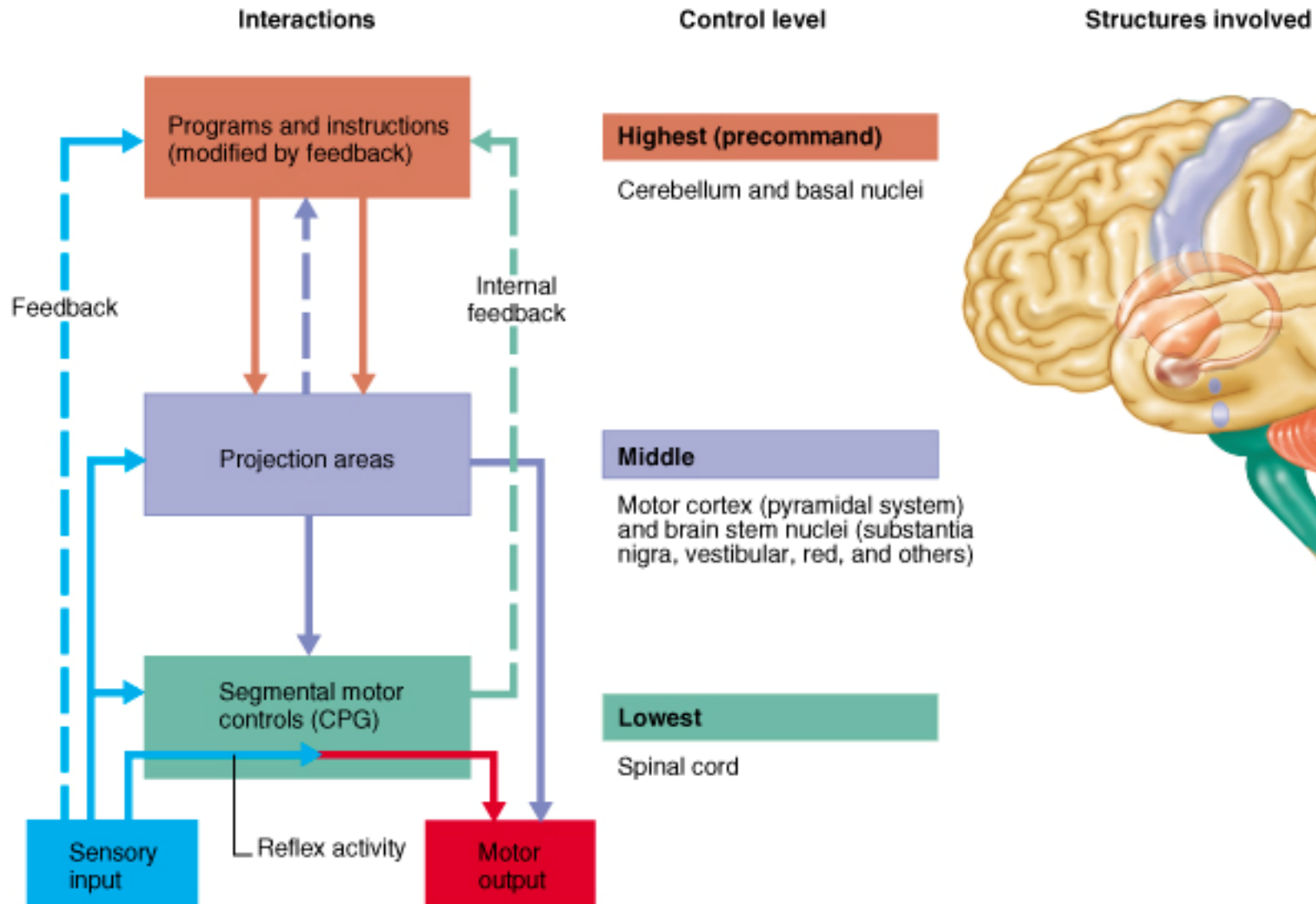




Motorische Integration

- drei Ebenen der motorischen Kontrolle:
 - segmentale Ebene (unterste) = einzelne Segmente des Rückenmarks: Stereotype Reflexe // alles-oder-nichts // schnell // z. B. rhythmische abwechselnde kreuzweise Erregung und Hemmung von Beuge- und Streckmuskeln -> Laufen (unter zentraler Kontrolle)
 - Projektions-Ebene: Rückenmarks-Segmente stehen unter Kontrolle höherer motorischer Areale
 - motorischer Cortex: wirkt über direkte Pyramidenbahn zu Vorderhornneuronen (+ Tract. corticobulbaris -> motor. Hirnnerven)
 - Hirnstammkerne (Substantia nigra / Vestibularis-Kern / Nucleus niger etc.): über indirekte (extrapyramidale) Bahnen
 - ‚Programm‘-Ebene: Kleinhirn und Basalganglien
- Ablauf: Frontale motor. Assoziations-Areale entscheiden über Bewegung -> Programm-Ebene (Kleinhirn / Nuc. Caudatus / Putamen) planen Bewegungsablauf -> Befehle an Rückenmark unter Beteiligung des motor. Cortex, der die relevanten Muskelgruppen innerviert

Drei Ebenen der motorischen Steuerung



Bahnen des Rückenmarks: Funktionelle Gliederung

Ascending tracts

Dorsal white column
[Fasciculus gracilis
Fasciculus cuneatus

Posterior
spinocerebellar tract

Anterior
spinocerebellar tract

Lateral
spinothalamic tract

Anterior
spinothalamic tract

Anterior white
commissure

Descending tracts

Lateral
reticulospinal tract

Lateral
corticospinal tract

Rubrospinal tract

Medial
reticulospinal tract

Anterior
corticospinal tract

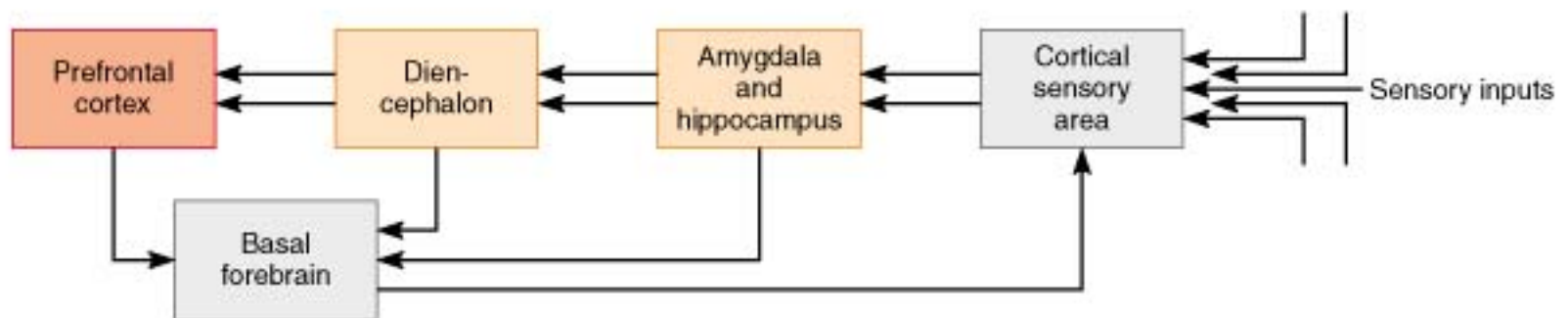
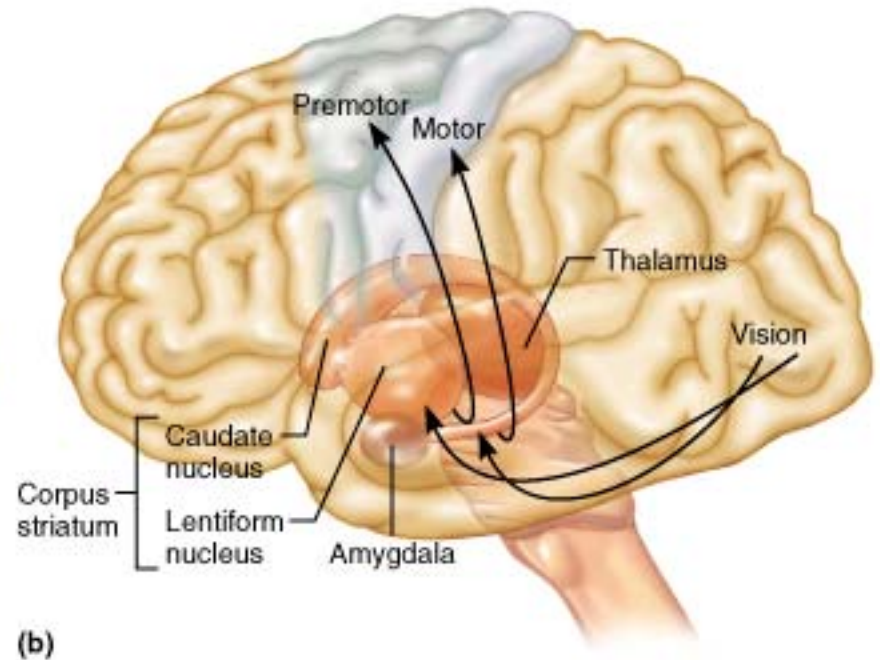
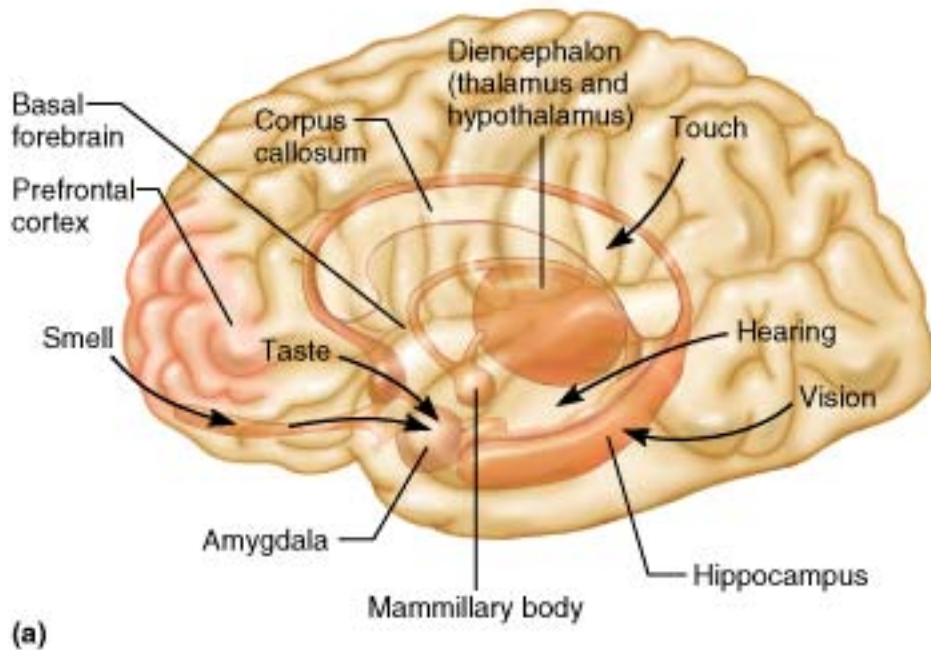
Vestibulospinal tract

Tectospinal tract

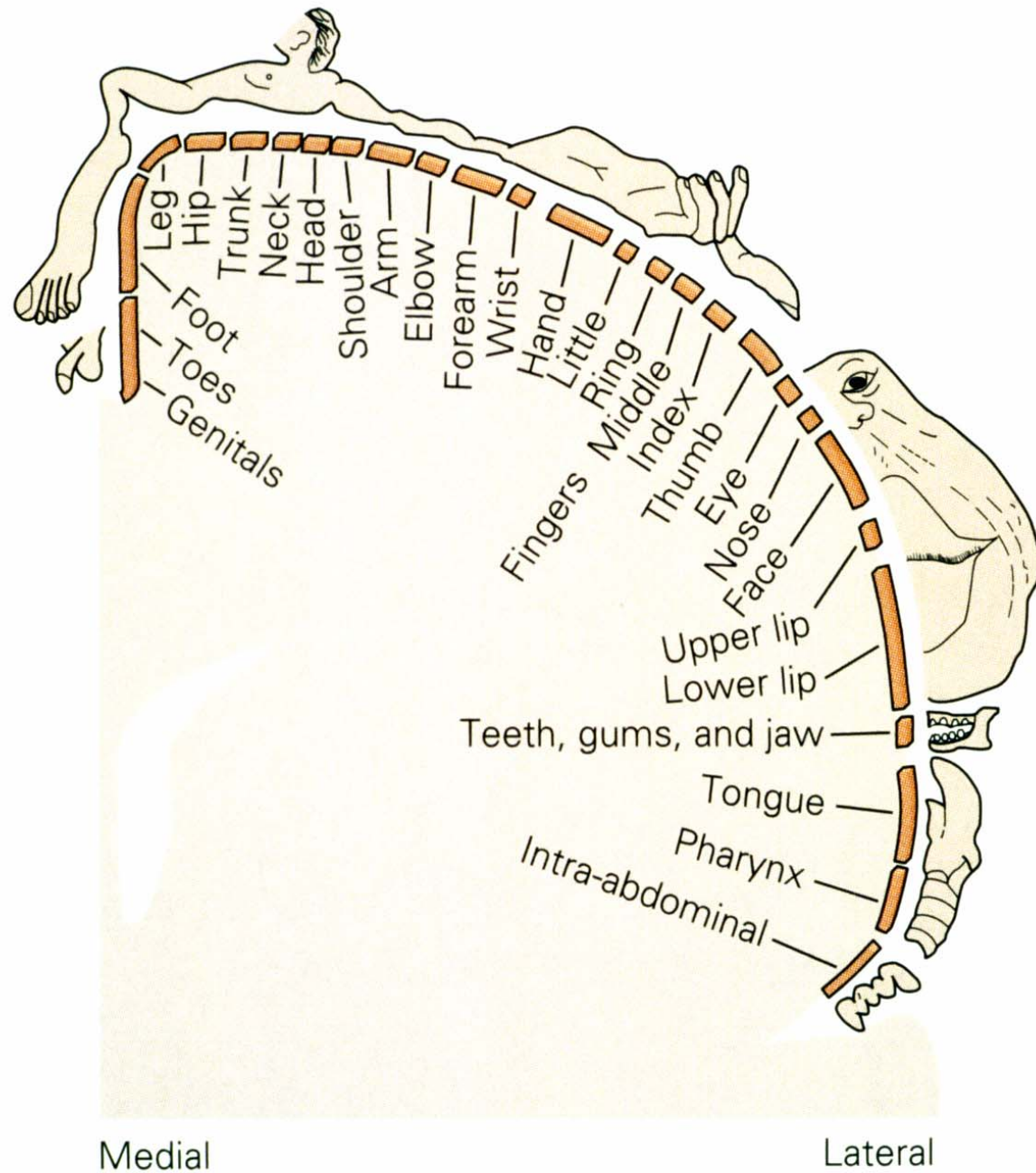
Key:

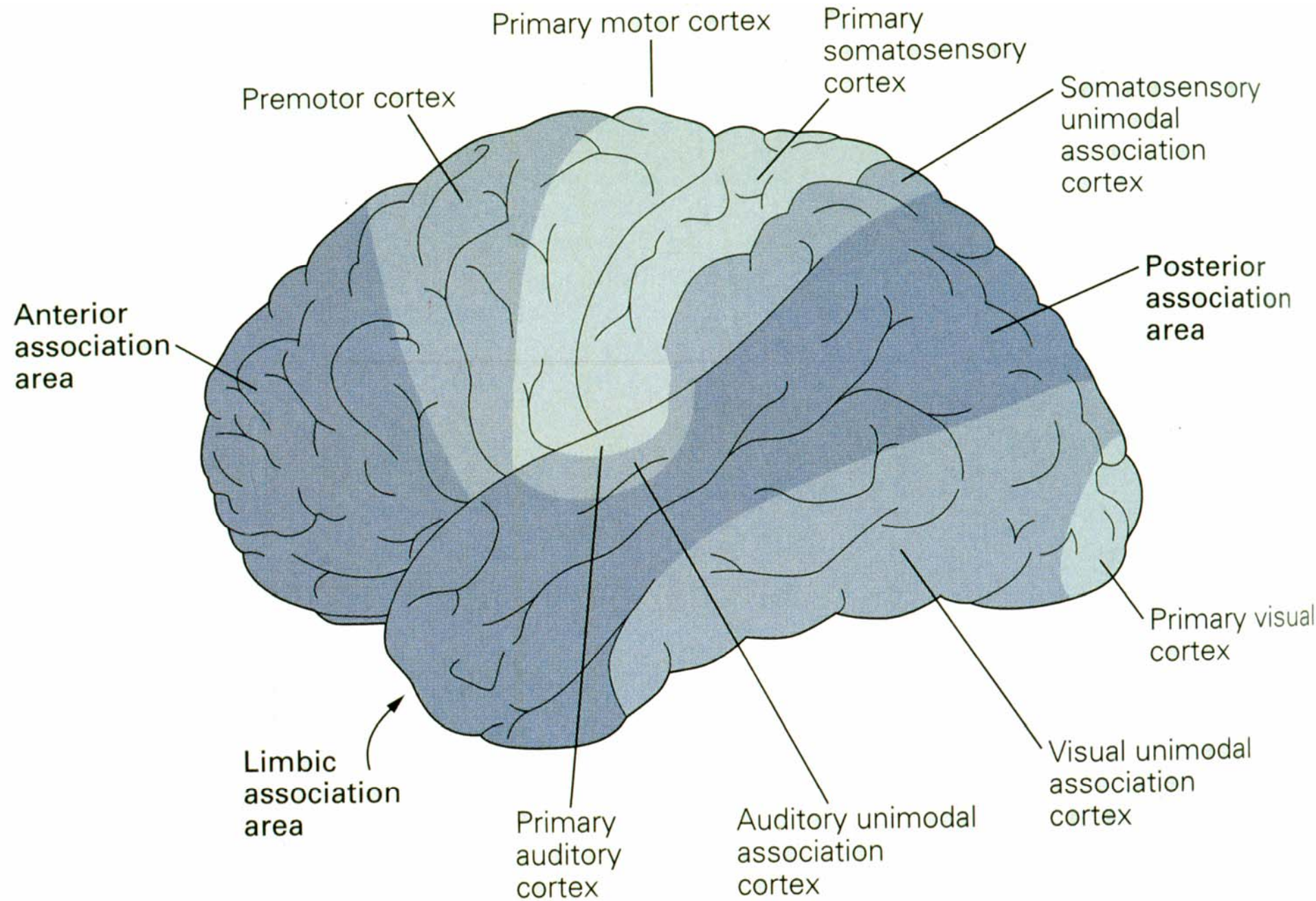
■ Descending tracts
■ Ascending tracts

Allgemeine Hirnfunktion



Sensory homunculus

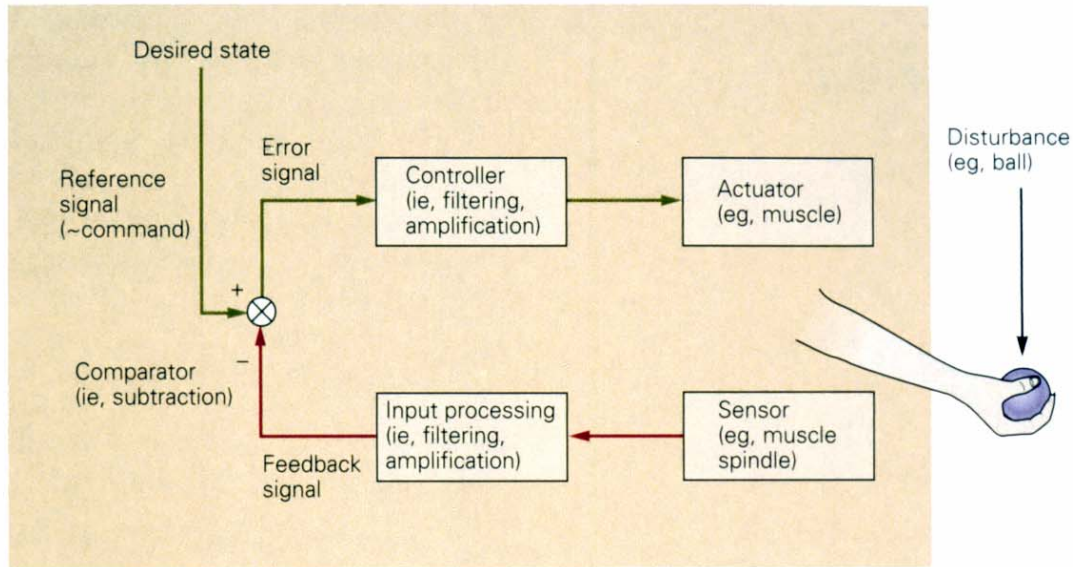




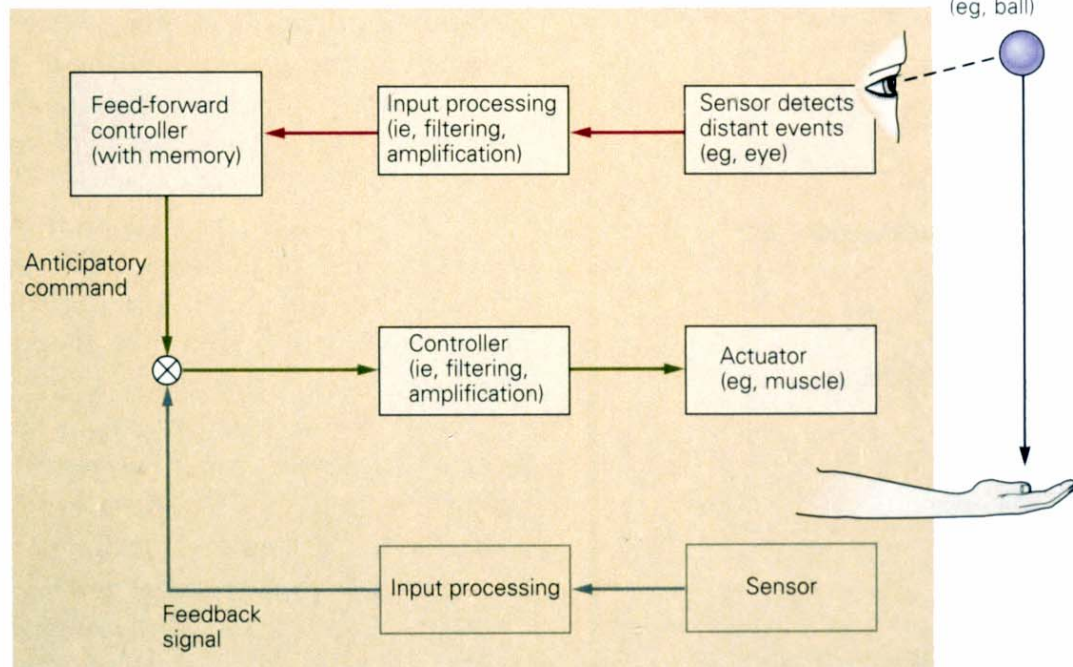
Steuerung von Bewegungen

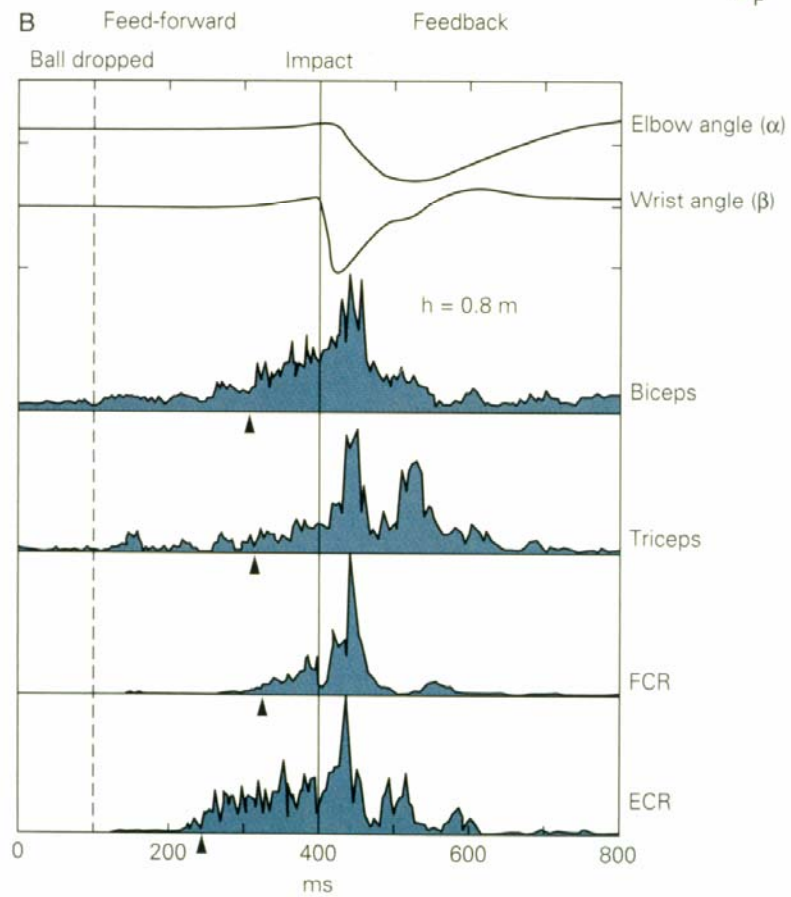
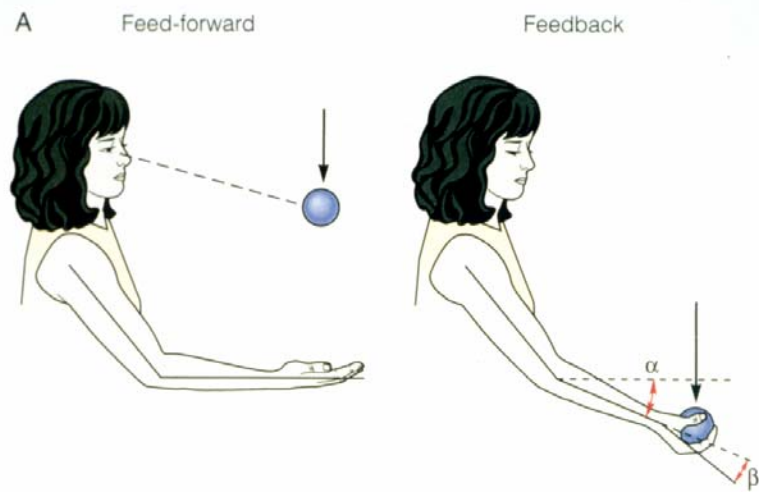
- **Feedback-System**
 - Abweichung zwischen Ist- und Soll-Zustand wird durch Sensor detektiert, an ZNS gemeldet
 - Steuerzentrum gibt Befehl zur Veränderung
 - Muskelkontraktion erfolgt
- **Feedforward-System**
 - korrekter Soll-Wert und mögliche Störungen werden vorausberechnet
 - Steuerzentrum steuert den gesamten Bewegungsablauf ohne Berücksichtigung von Rückmeldung
 - schneller als Feedback-System

A Feedback control: command specifies desired state



B Feed-forward control: command specifies response





Charakteristika der Willkür-Motorik

- Bewegungsmuster können und müssen erlernt / trainiert werden
- an (fast) jeder einfachen Bewegung ist eine Vielzahl von Muskeln beteiligt
- erlernte Bewegungsmuster können auf andere Bewegungsamplituden / Bewegungsrichtungen / Muskelgruppen übertragen werden
- Dauer von Richtungsänderungen ist relativ konstant, unabhängig von der Bewegungsgeschwindigkeit
- Genauigkeit von Bewegungen nimmt mit kürzerem Bewegungsumfang zu