



Obečná anatomie kosterního svalu, jeho inervace a cévní zásobení, vývoj kosterní svaloviny

Miloš Grim

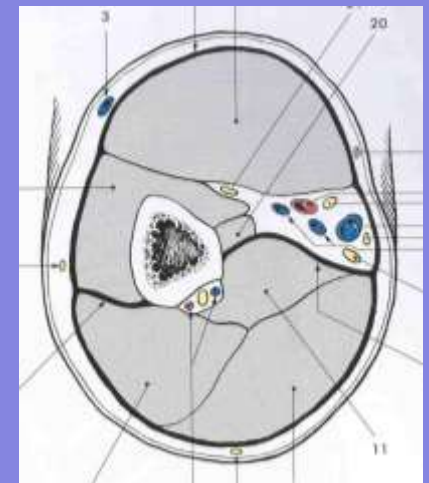
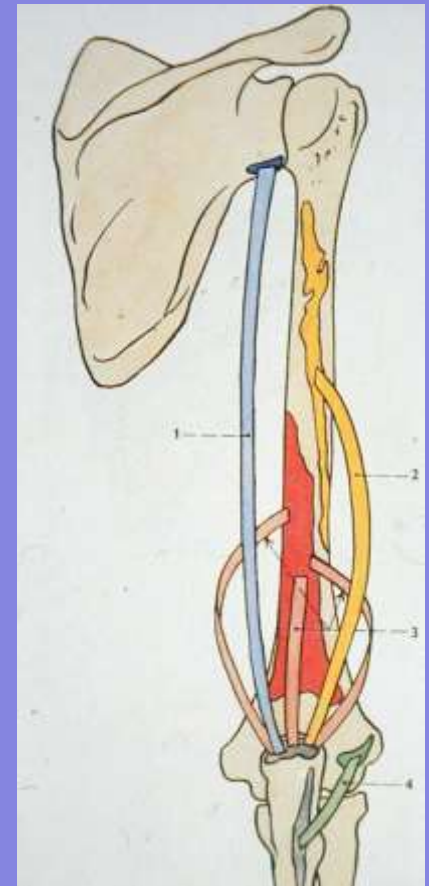
**Anatomický ústav 1. lékařské fakulty,
Univerzita Karlova**

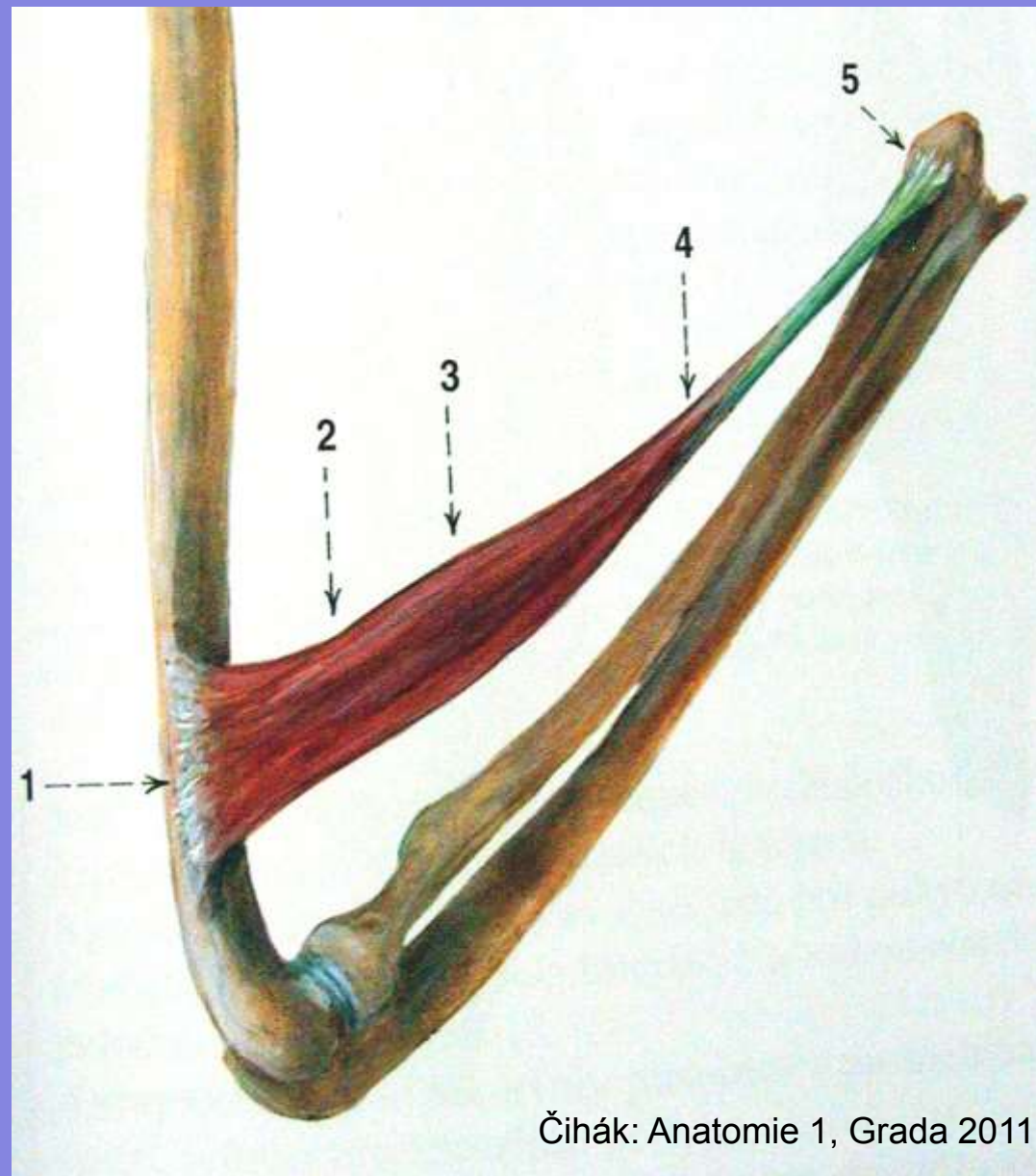
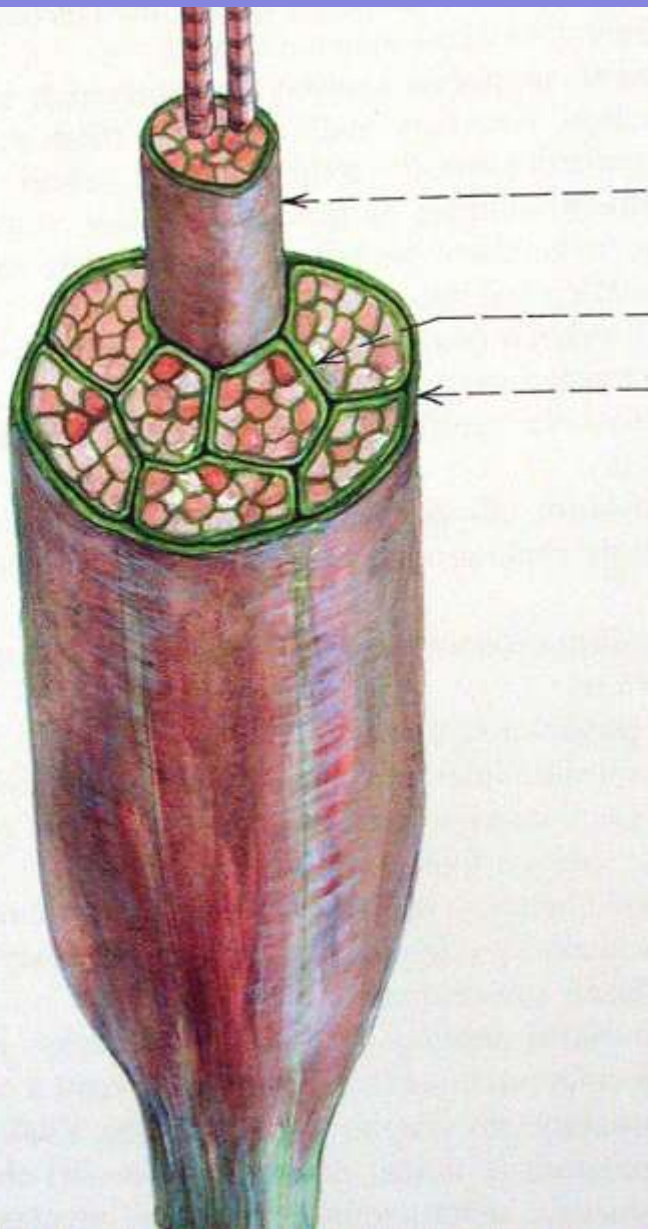
**všeobecné a zubní lékařství 1. roč. ,
zimní semestr 2017/2018**



Jak studovat svalový systém

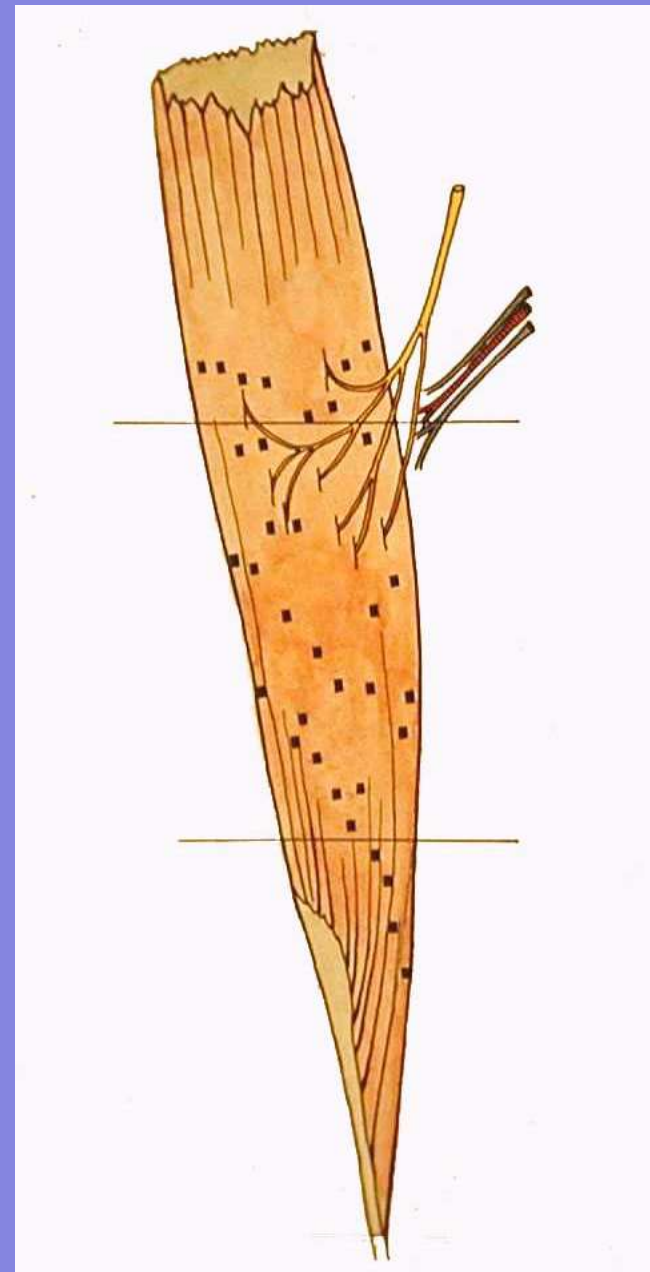
1. po svalových skupinách
2. kreslit schéma začátku, úponu a polohy svalu
3. inervace celých skupin svalů
4. zhotovit přehledné tabulky
5. kreslit osteofasciální prostory, jejich ohraničení a obsah na transversálních řezech
6. identifikace svalů na praktiku
7. detailní studium při pitvě



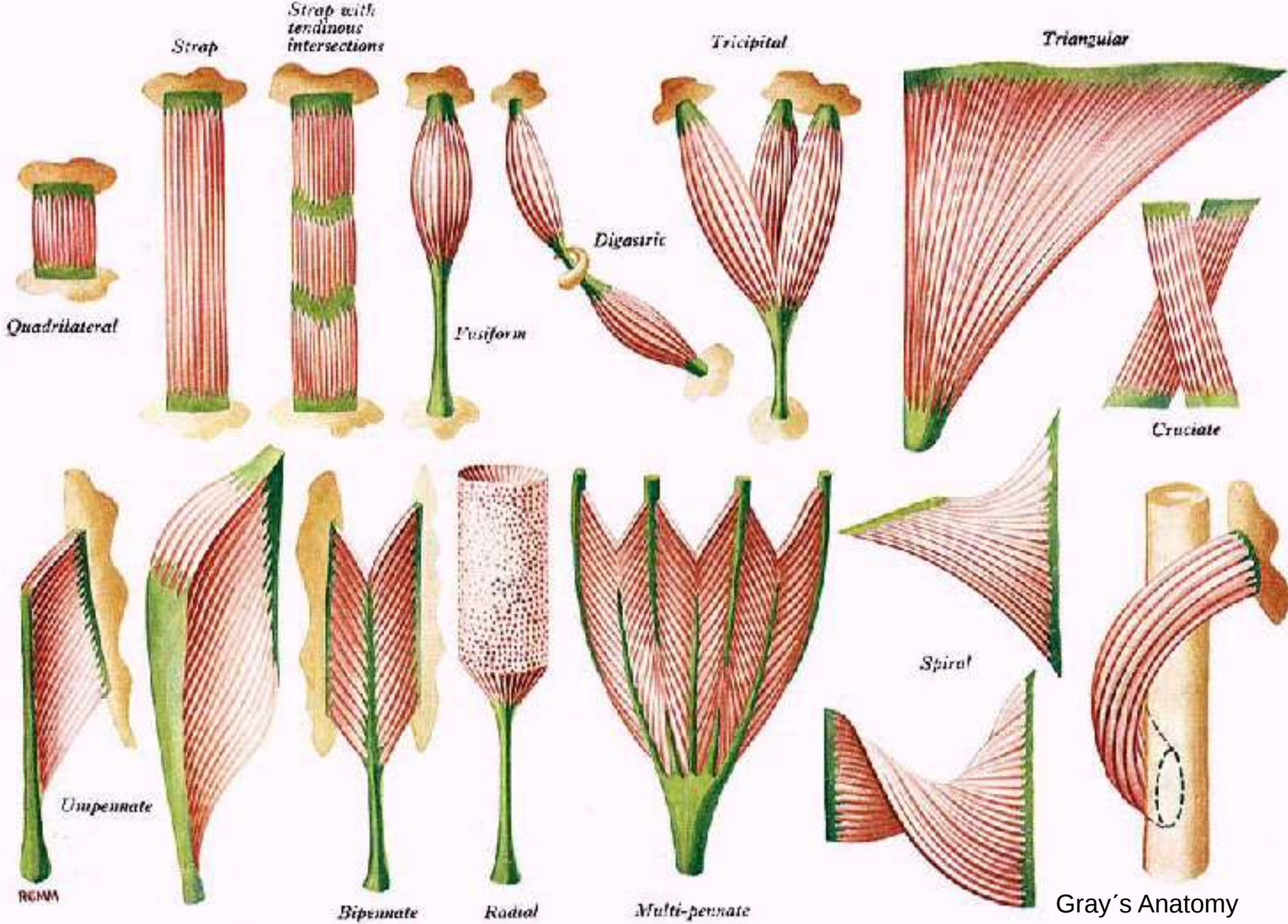


Čihák: Anatomie 1, Grada 2011

Musculus, caput, venter, origo, insertio, tendo, aponeurosis,
fascia, epimysium, perimysium, endomysium



Tendo, aponeurosis, neurovaskulární hilus (motorický bod)



Gray's Anatomy

Tvar svalu

Názvy svalů:

podle tvaru: deltoideus, quadratus, rhomboideus, teres, gracilis, rectus, lumbricalis

podle velikosti: major, minor, longus, brevis, latissimus, longissimus

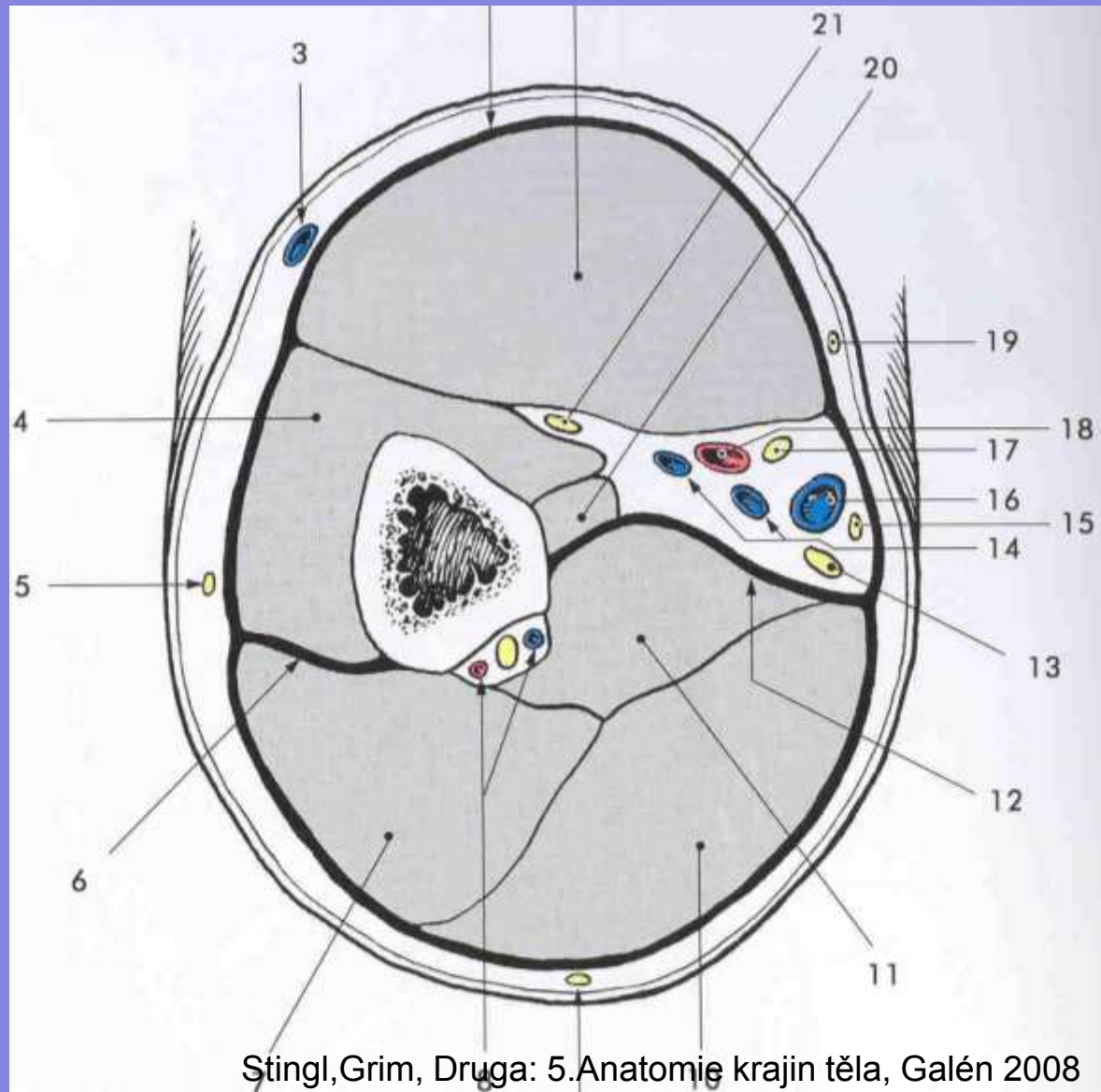
podle počtu hlav nebo bříšek: biceps, triceps, quadriceps, digastric, biventer

podle polohy: anterior, posterior, interosseus, supraspinatus, infraspinatus, dorsi, abdominis, pectoralis, brachii, femoris, oris, superficialis, profundus, externus, internus

podle začátku a úponu: sternocleidomastoideus, coracobrachialis

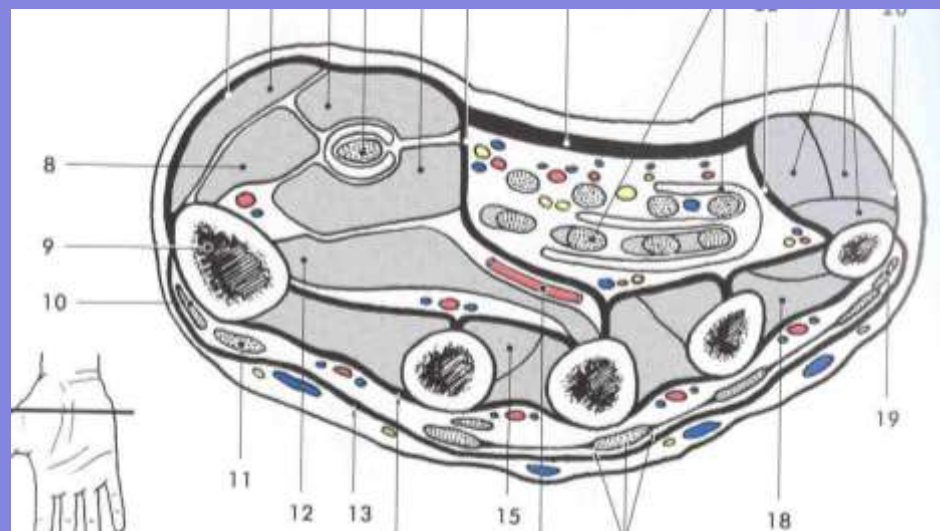
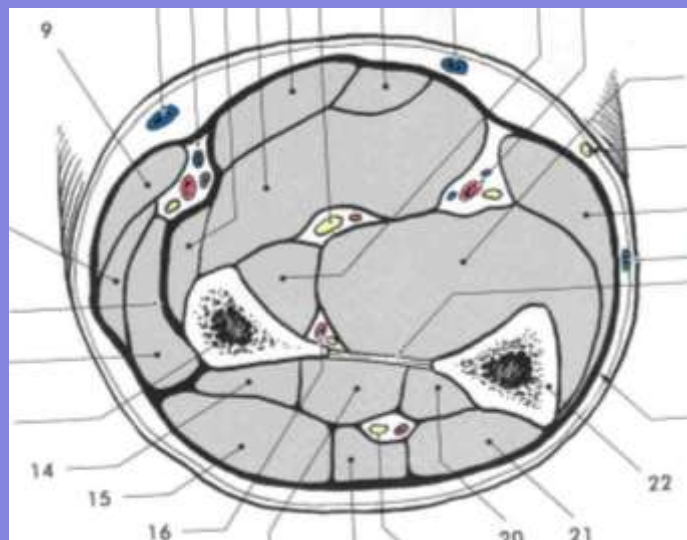
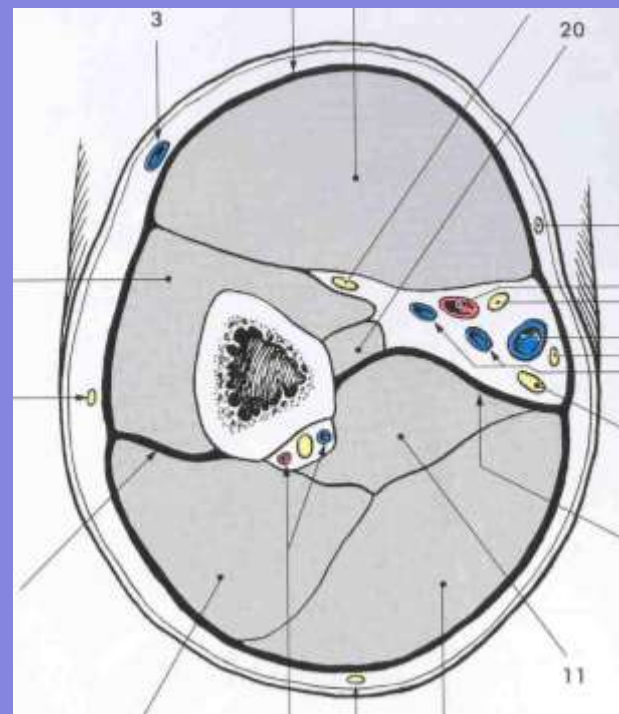
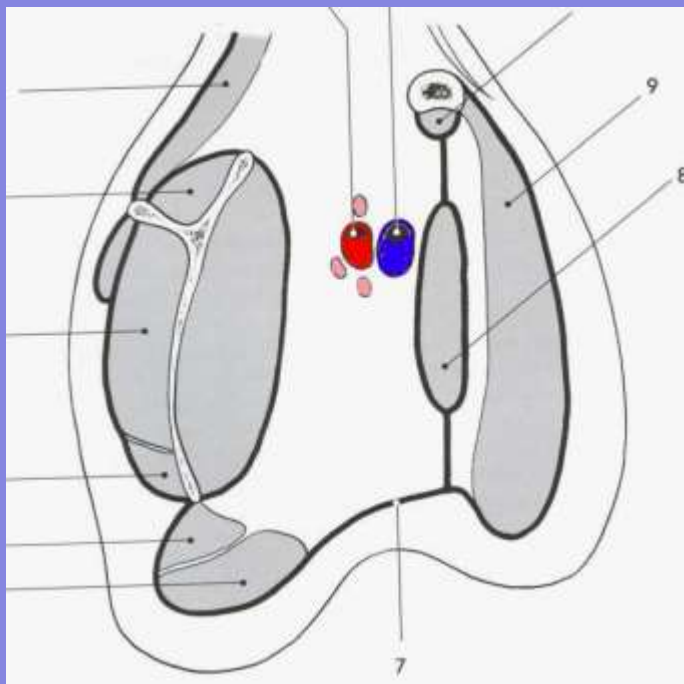
podle funkce: extensor, flexor, abductor, adductor, levator, depressor, supinator, pronator, constrictor, dilator

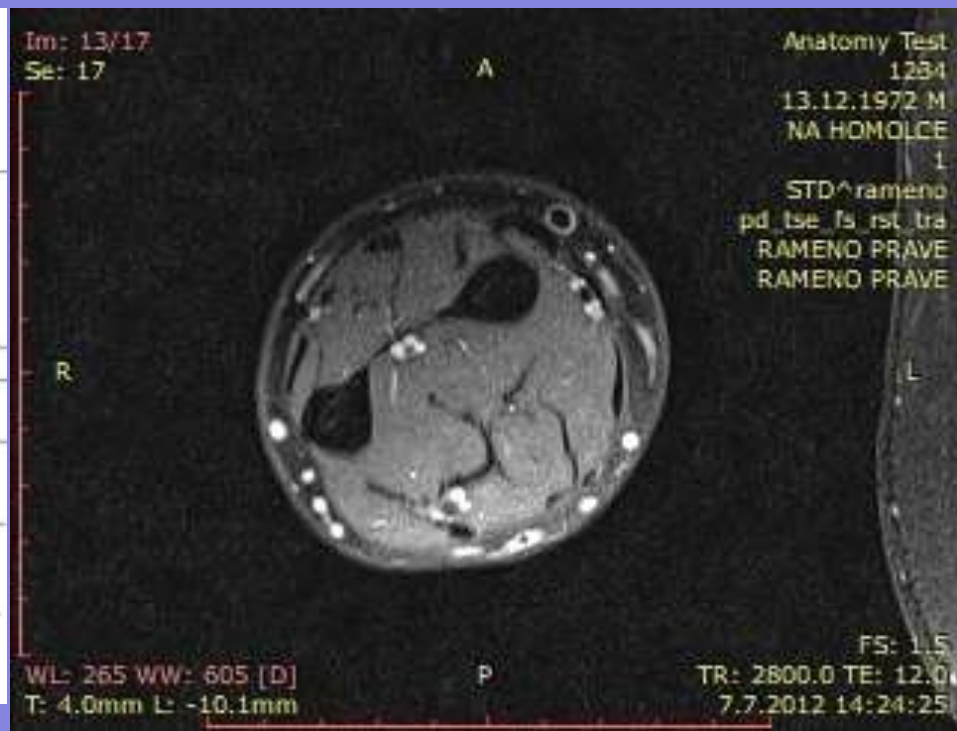
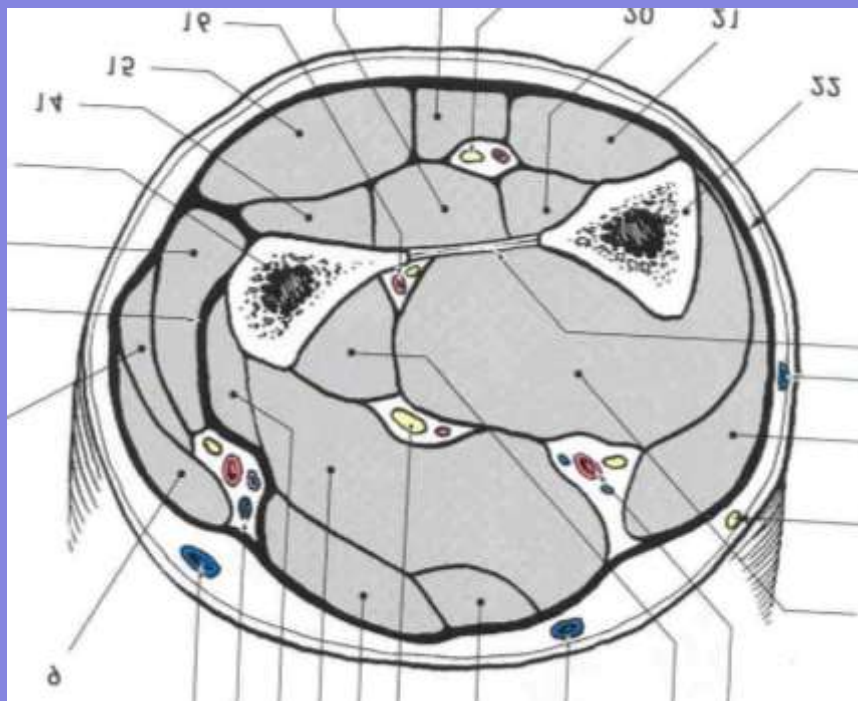
Fascia, septum intermusculare, compartimentum

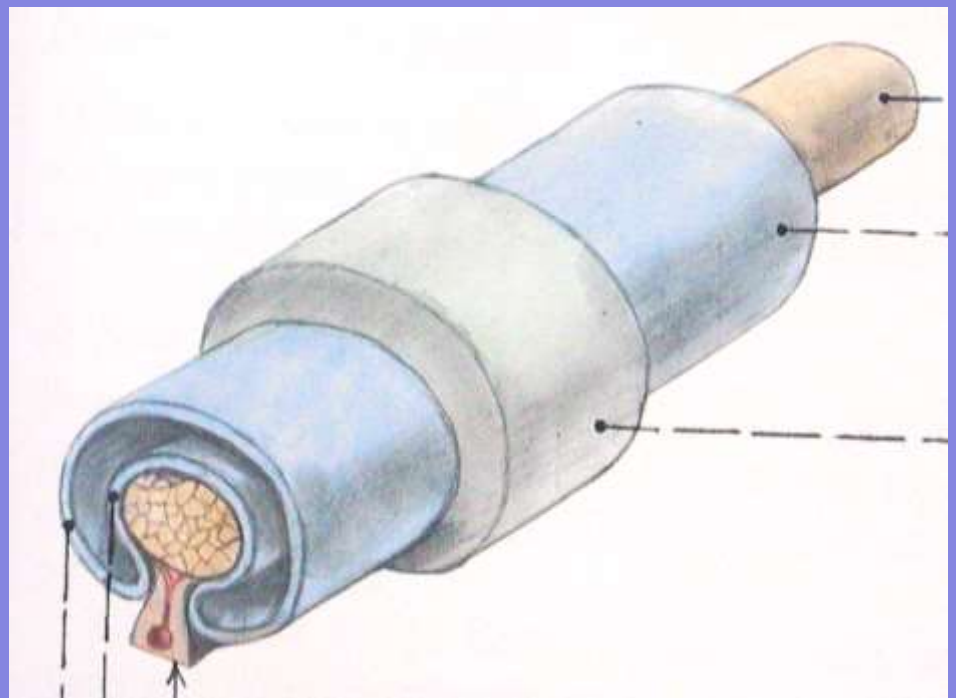
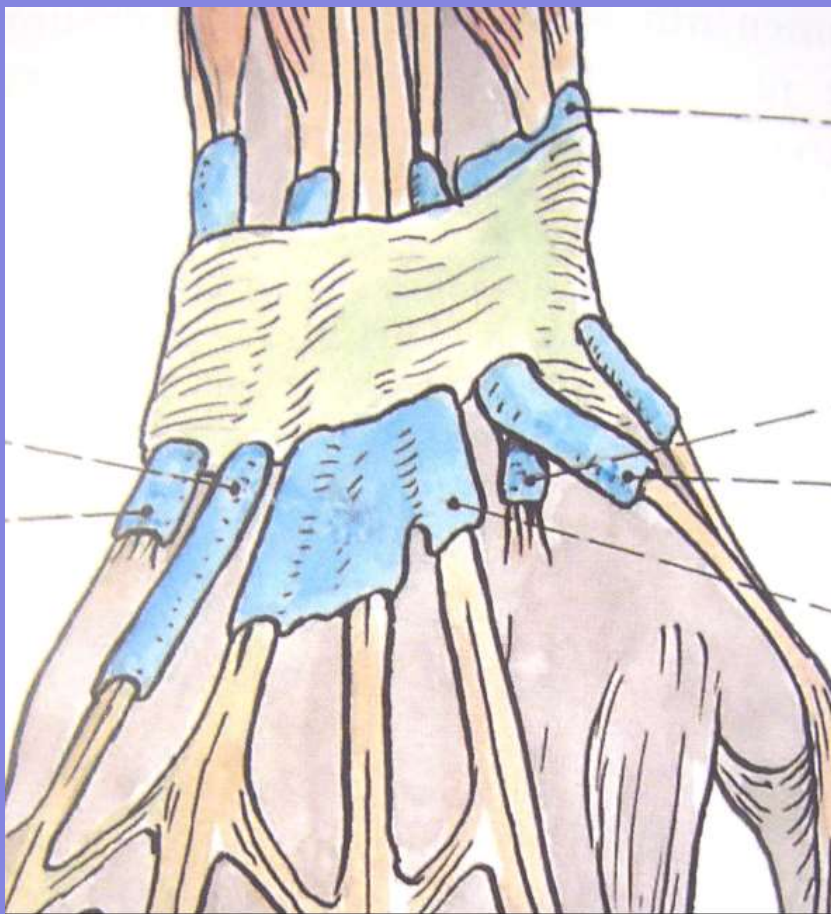


Stingl, Grim, Druga: 5. Anatomie krajín těla, Galén 2008

Osteofasciální prostory na horní končetině

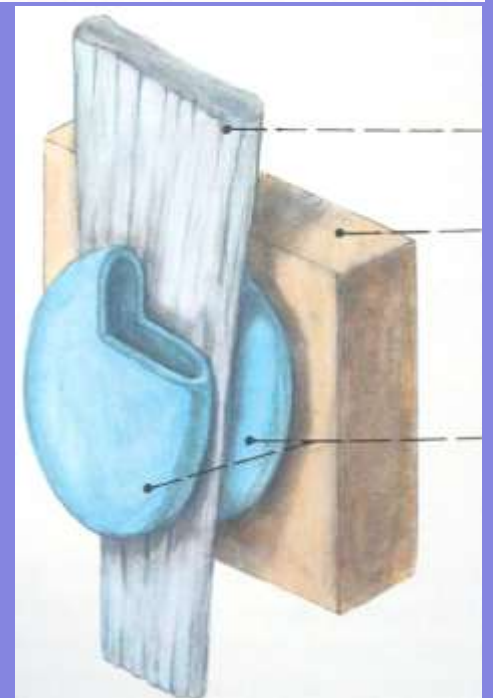


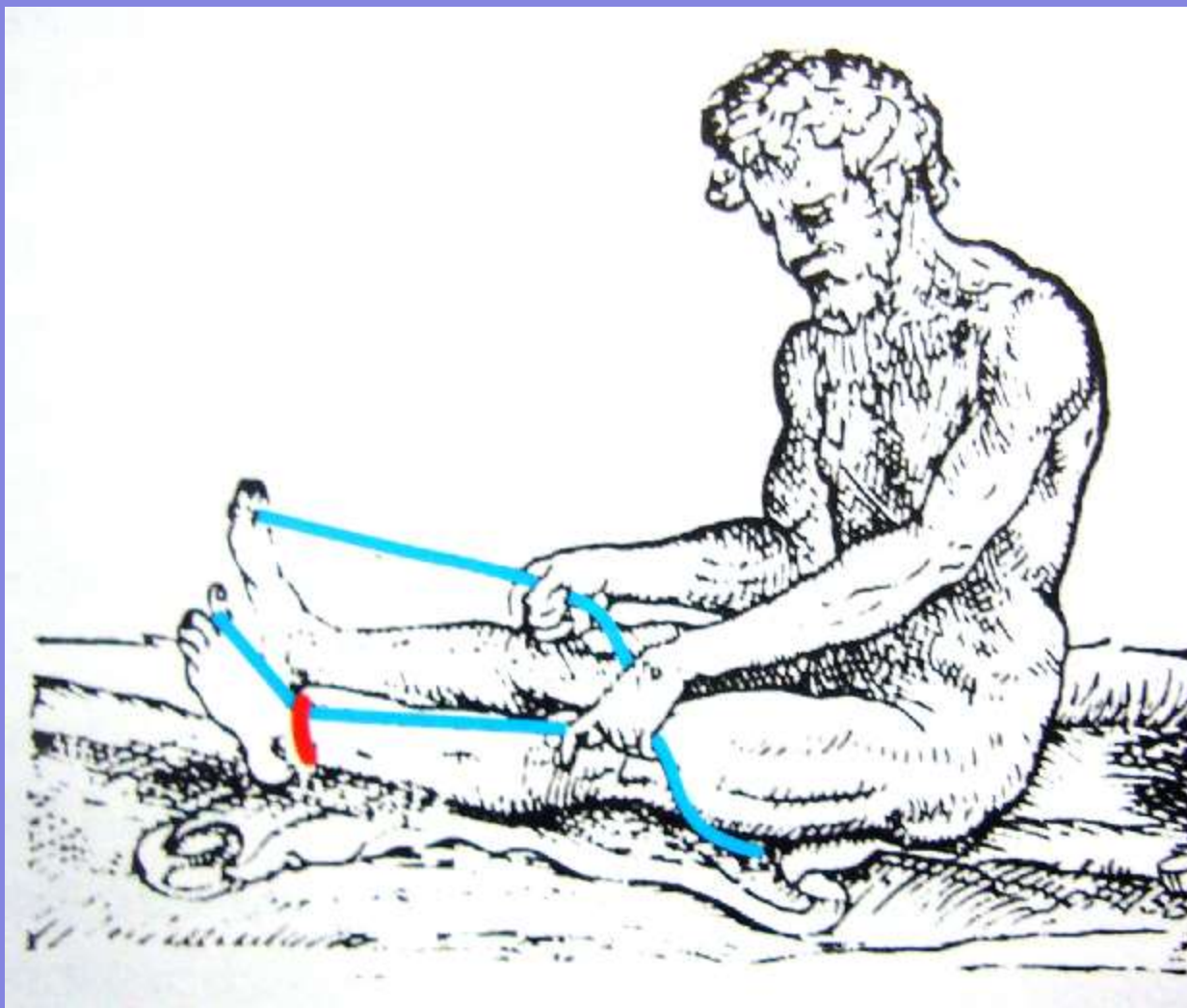




Čihák: Anatomie 1,
Grada 2011

Šlachové synoviální pochvy, vaginae synoviales (modře) v osteofibrosních kanálcích pod retinaculum musculorum extensorum na hřbetu ruky. Schéma fibrosní a synoviální pochvy a tíhových váčků, bursae mucosae.

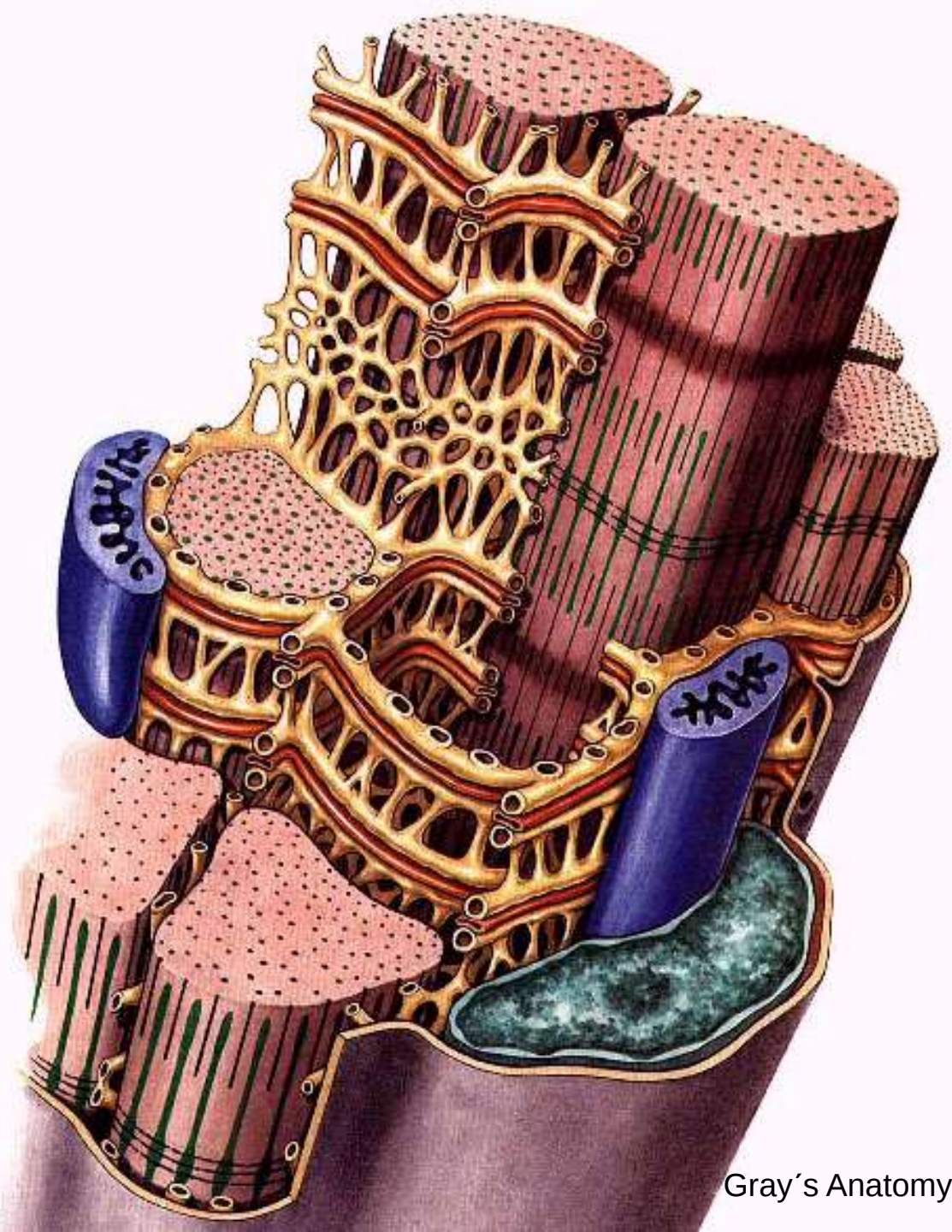
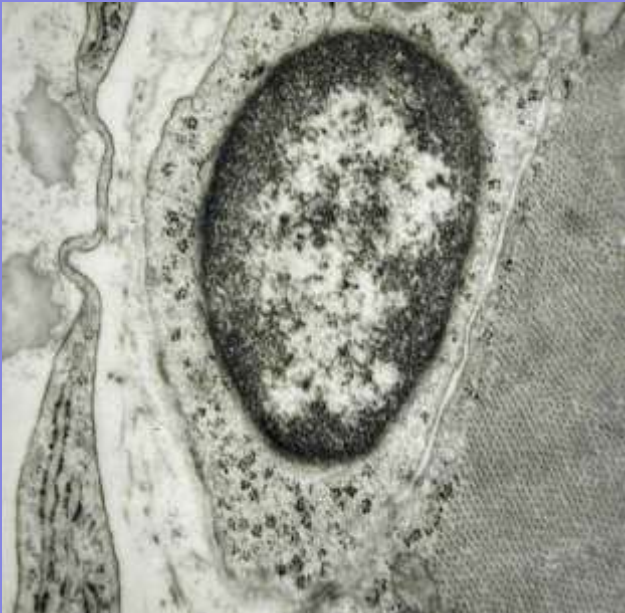


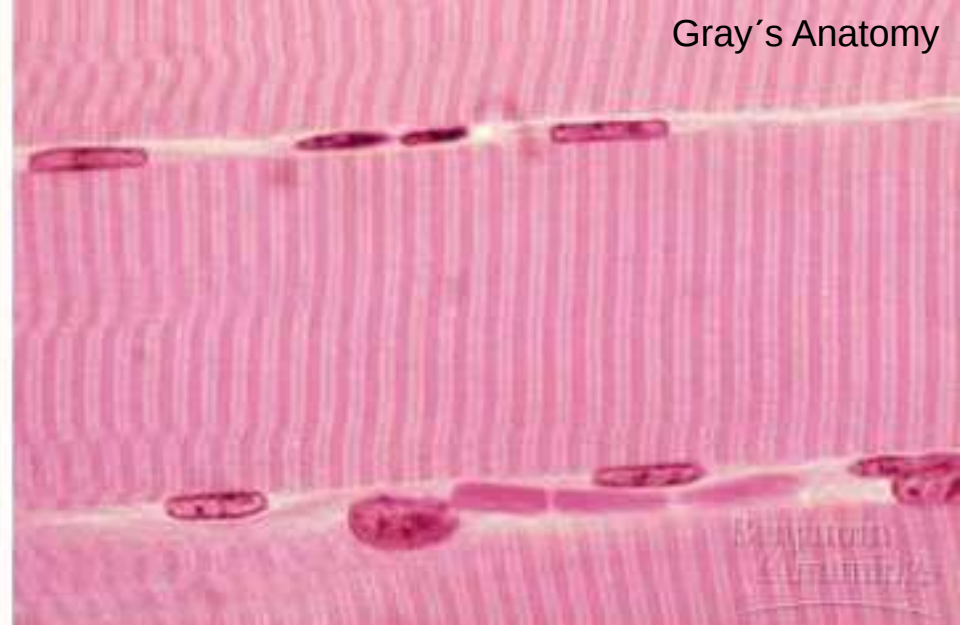
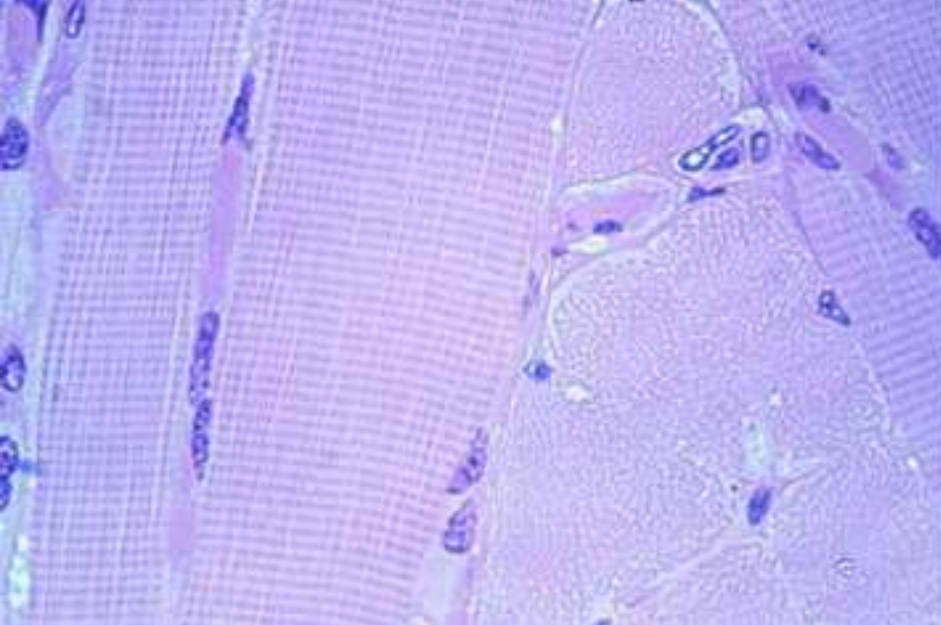


Působení retinaculum musculorum extensorum na šlachu m. extensor hallucis longus podle Vesalia, 1555

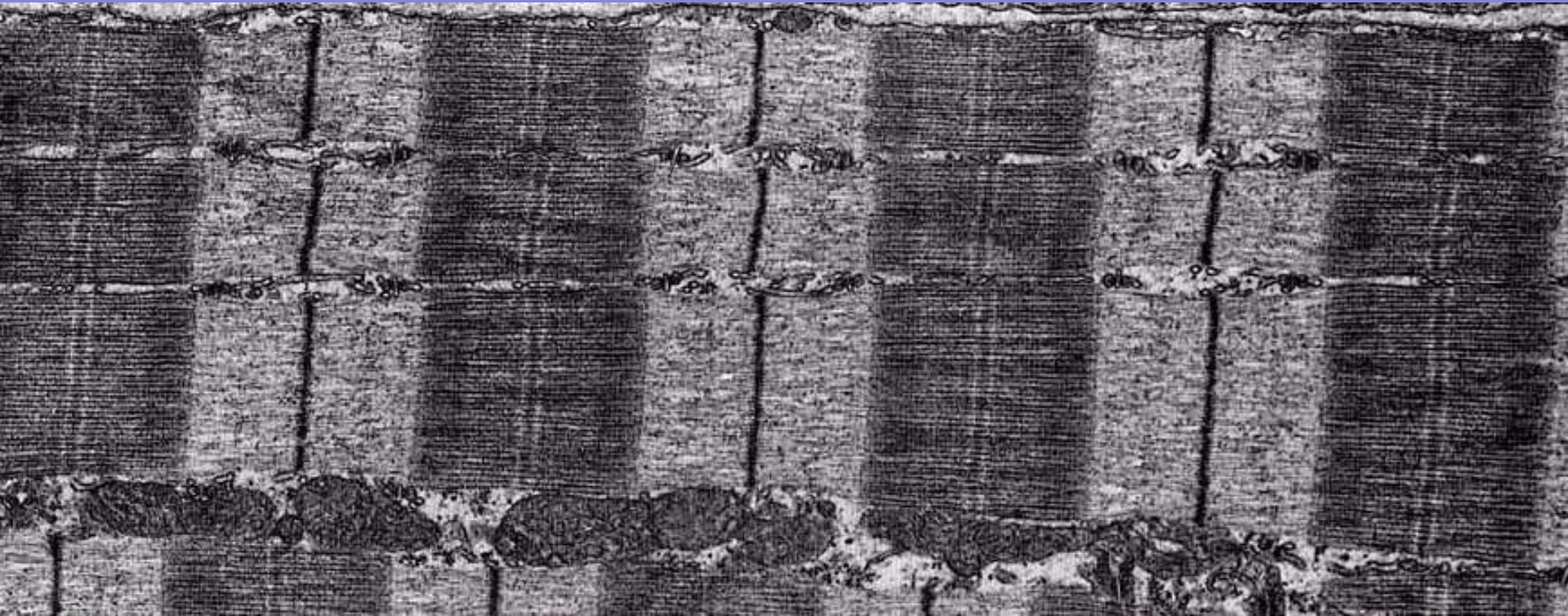


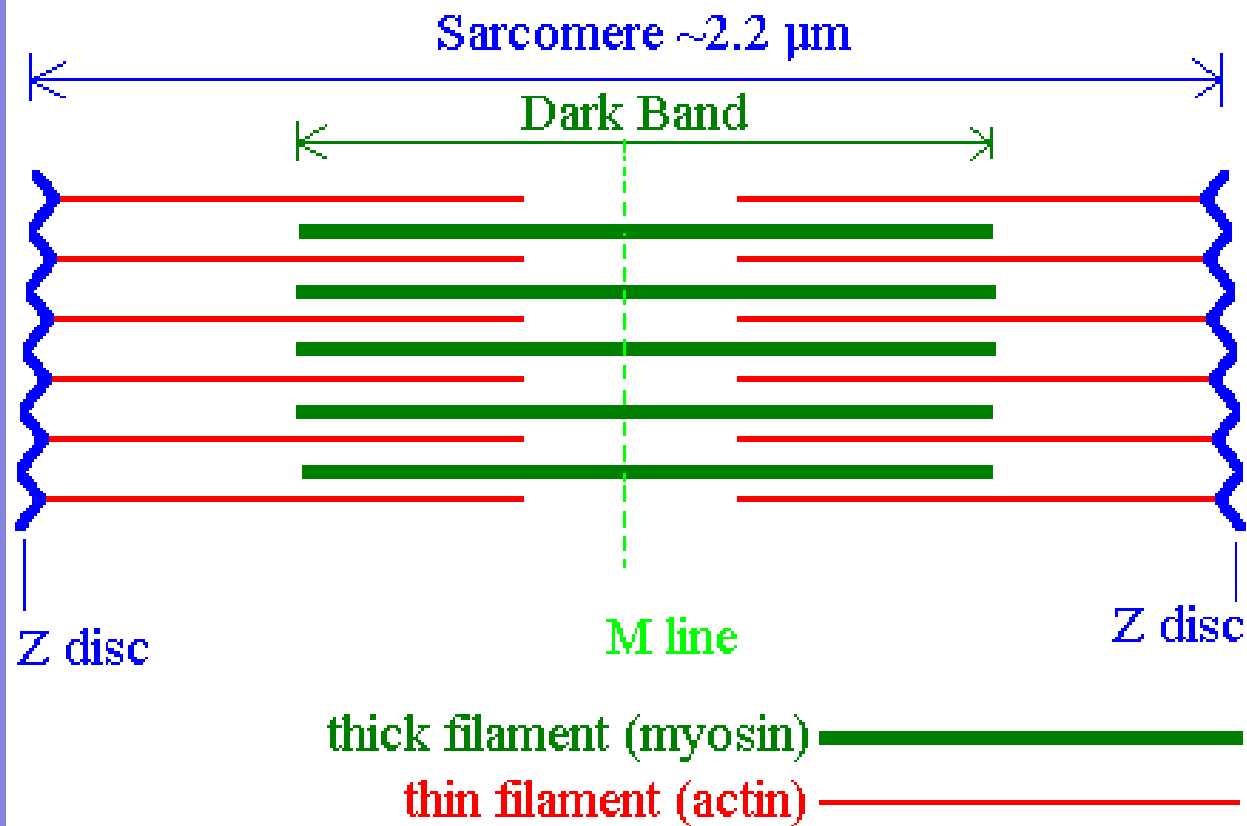
Svalové vlákno,
Myofibrily,
Sarkomery,
Sarkoplasmatické
retikulum,
T-tubuly,
Triady
Mitochondrie,
Sarkolemma,
Basální lamina



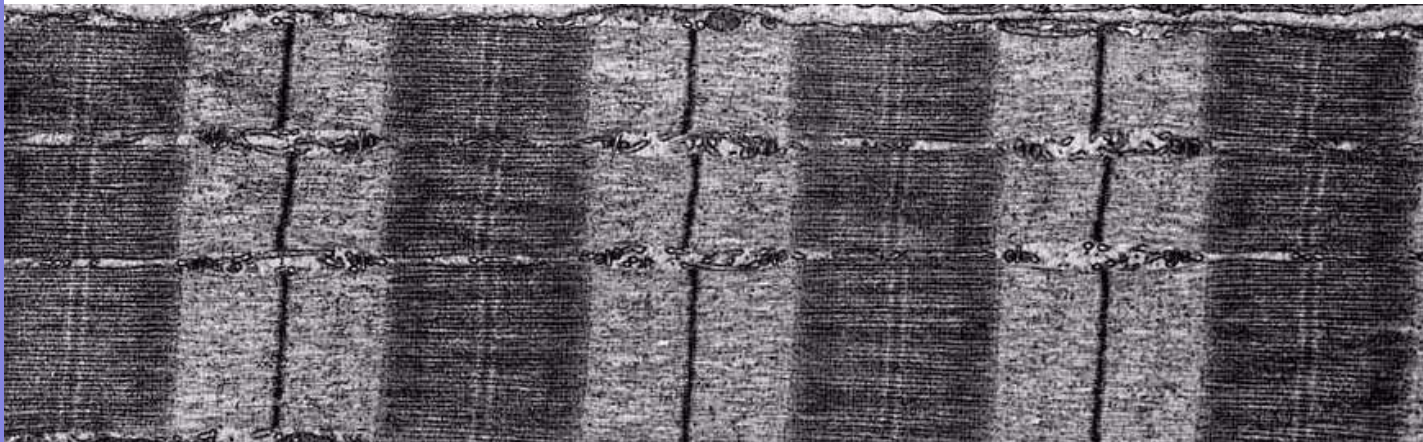


Svalová vlákna na podélném a příčném řezu v optickém a elektronovém mikroskopu



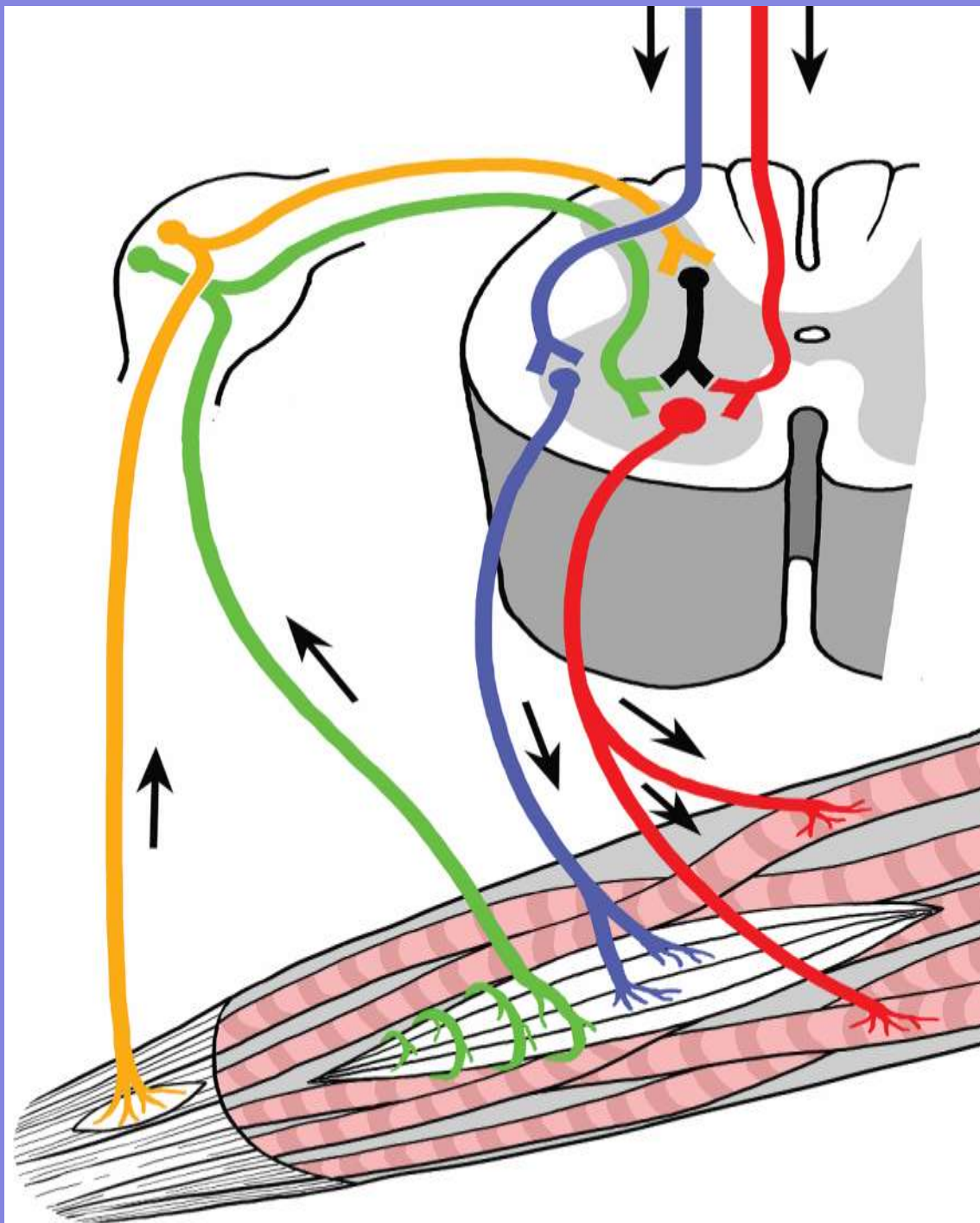


skluzný model svalového stahu



**Innervace
kosterního svalu:**
motoneurony,
motorické ploténky,
acetylcholin,
motorická jednotka,

Proprioceptivní
neurony, svalová
vřeténka
Golgiho šlachová
tělíska



Inervace svalu

neurovaskulární hilus

Motorická inervace svalu

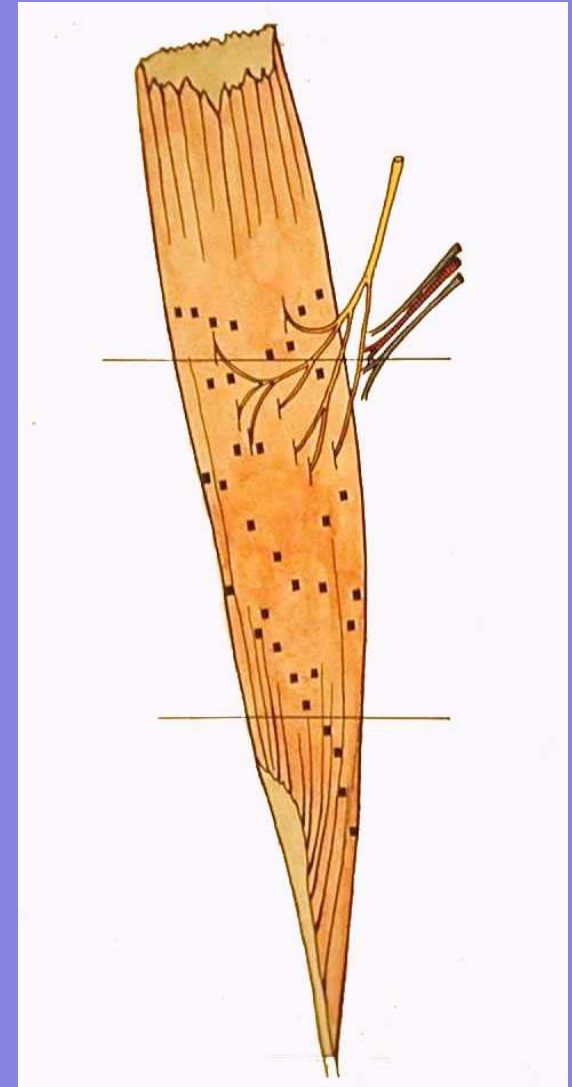
motoneurony: **pomalé a rychlé alfa motoneurony**,

gamma motoneurony

motorická ploténka, mediátorem přenosu ACh

zony motorických plotének, motorická jednotka, polyneurální inervace, segmentální inervace

Senzitivní (proprioceptivní) inervace svalu svalová vřeténka, **Golgiho šlachová tělíska**, proprioceptivní reflexy , gamma motoneurony

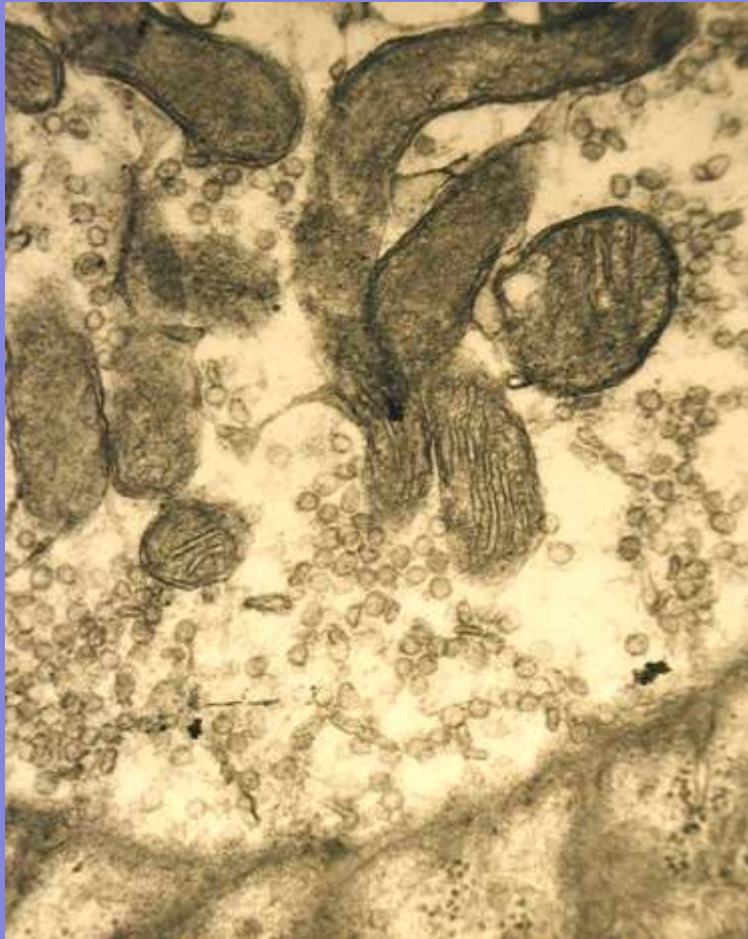




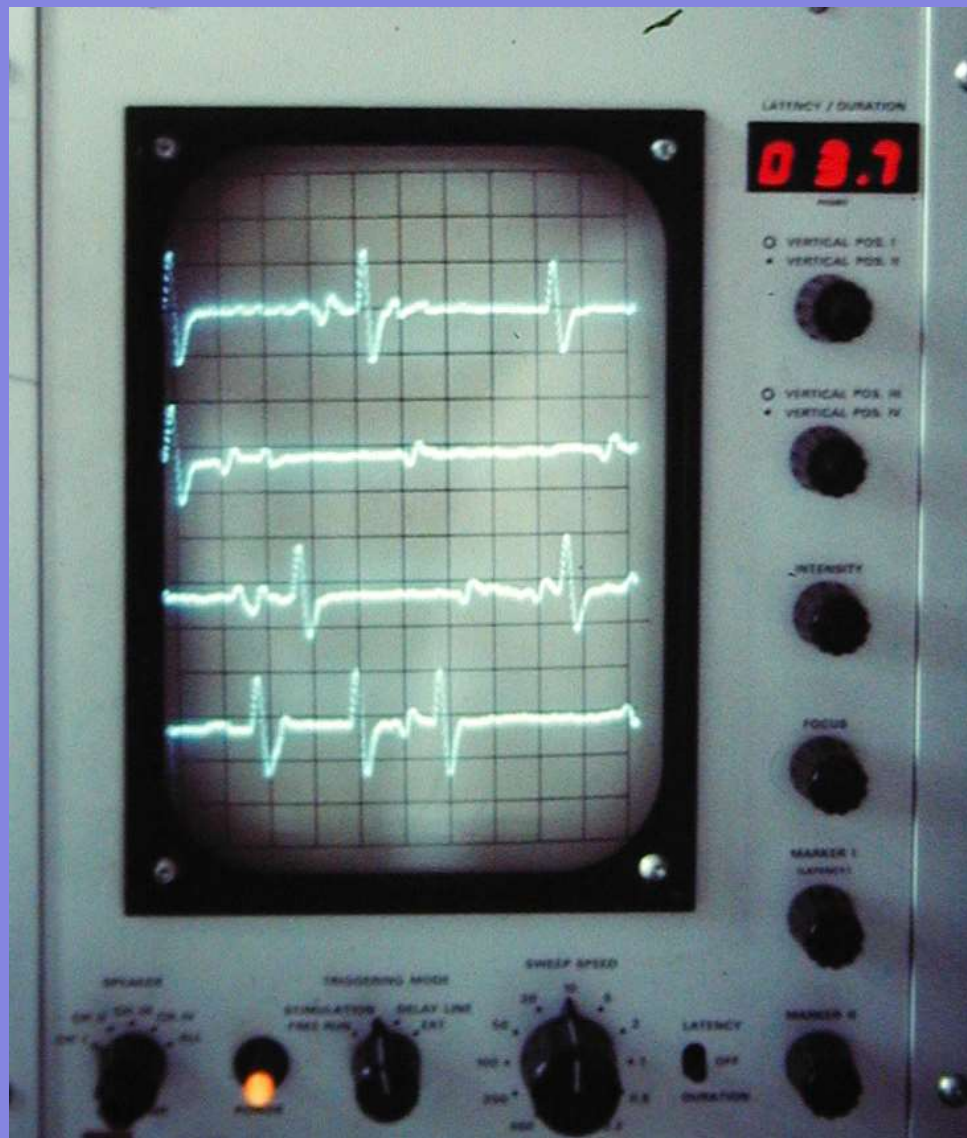
vizualization of motor end plates



znázornění esteráz (štěpí acetylcholin)
v subneurálním aparátu (SNA) motorických plotének



Motorická ploténka, synaptické vesikuly,
mediátor přenosu: acetylcholin
blokáda přenosu: kurare
myorelaxancia



Elektromyografie



Svalové vřeténko

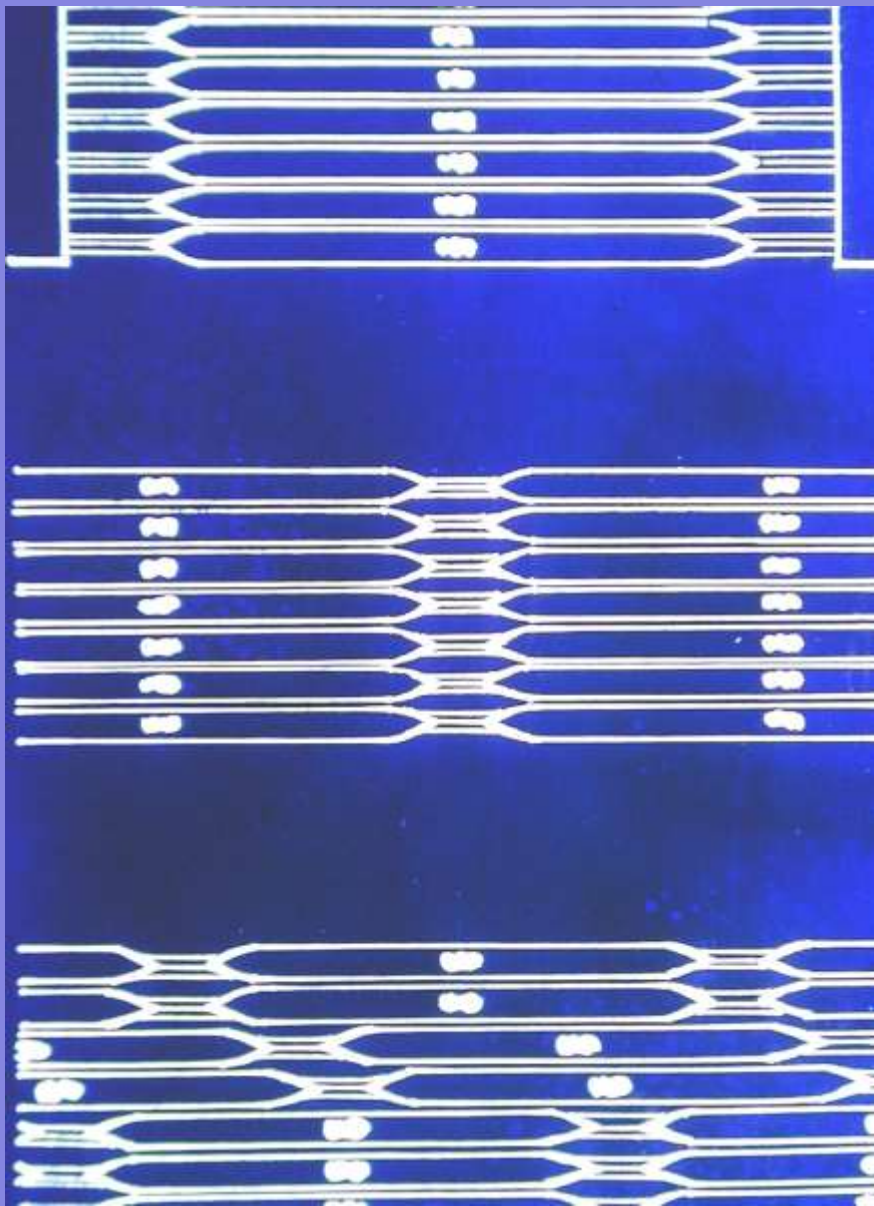
Golgiho šlachové
tělísko

KLINICKÉ PŘÍKLADY ZTRÁTY SOMATOSENSITIVNÍCH INFORMACÍ

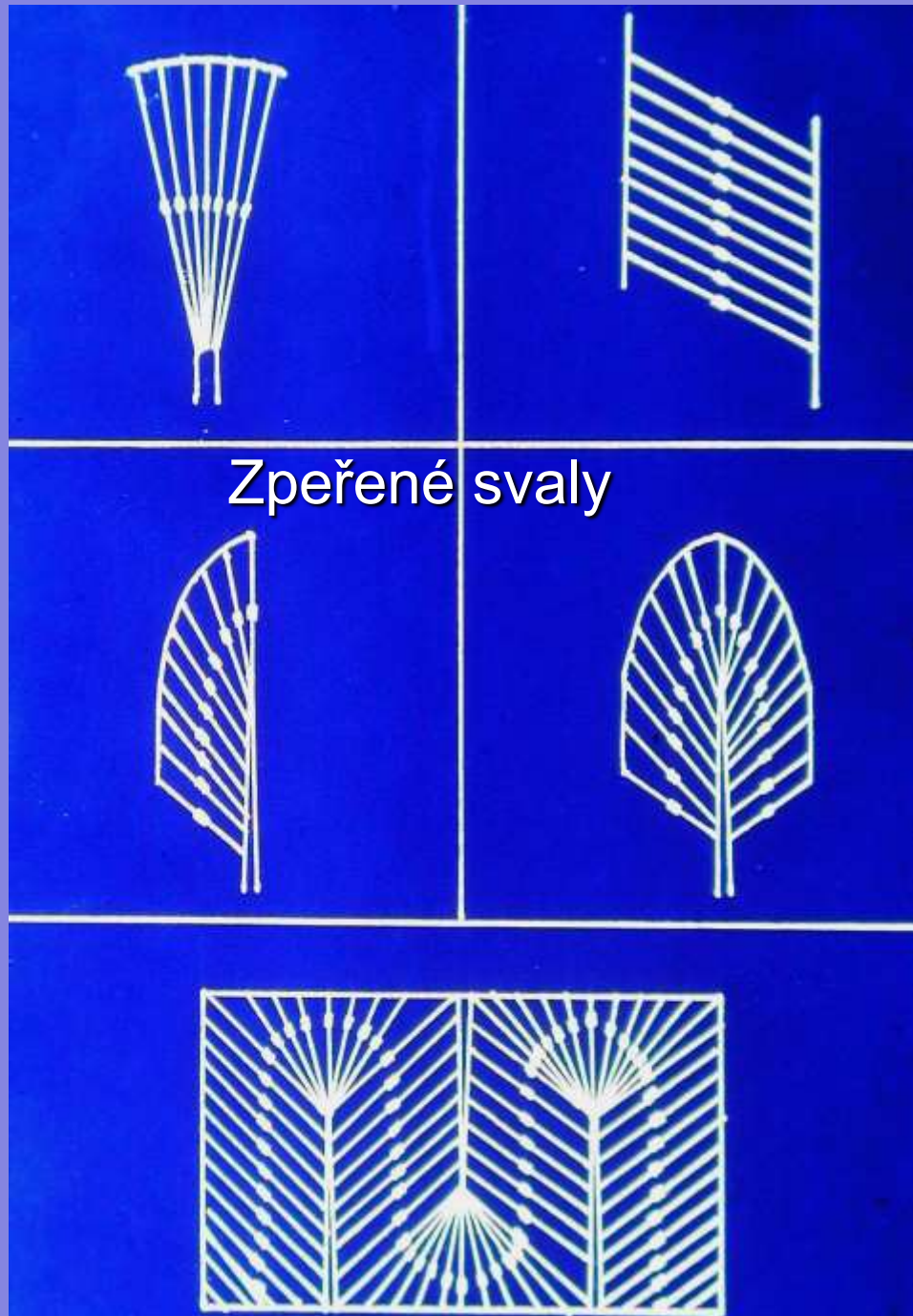
V knize „*Muž, který si spletl svoji ženu s kloboukem*“ uvádí neurolog Oliver Sacks popis reakcí mladé ženy, která kompletně ztratila proprioceptivní vnímání. Senzorická neuropatie neznámého původu ji zbavila prakticky všech proprioceptivních informací. Přitom bylo její kožní cití jen lehce oslabeno a motorické axony byly ušetřeny. Nicméně, nemohla stát, aniž by soustavně sledovala svá chodila, nemohla cokoliv udržet v rukách a těmi nevědomě klátila kolem sebe. Když je natáhla, aby uchopila nějaký objekt, obvykle ho minula. Zastavila pohyb příliš brzy nebo příliš pozdě.

„Stalo se něco hrozného, necítím své tělo. Cítím se příšerně, jako bych byla bez těla“ říkala, a „asi jsem ztratila své ruce. Myslím, že jsou na jednom místě a zpozorují je na jiném.“

Poté, co jí bylo vysvětleno, co je to propiocepce, řekla: „tahle **propriocepce** je jako oči těla, je to **způsob jakým tělo vidí samo sebe**. A když se stane, co se stalo mně, je to jako když tělo oslepne... takže ho musím pozorovat, musím být jeho očima.



Typy paralelního uspořádání svalových vláken





Myotendinosní spojení (MTJ)

Funkce svalu

isotonická a isometrická kontrakce,
reciproční inervace, synergisté, antagonisté,
klidové napětí, posturální svaly, elektromyografie,
postkontrakční relaxace

**Volní motorickou aktivitu řídí motorické systémy CNS
podle informací z mechanoreceptorů a proprioreceptorů
a podle motivací zpracovaných limbickým systémem**

Podkladem mimovolní motoriky je reflexní aktivita



Klidové napětí svalů (isometrická kontrakce) udržuje vzpřímenou polohu těla = antigravitační působení svalů, „posturální svaly“



Pohyb –
isotonická kontrakce
sval se zkracuje

Typy svalových vláken

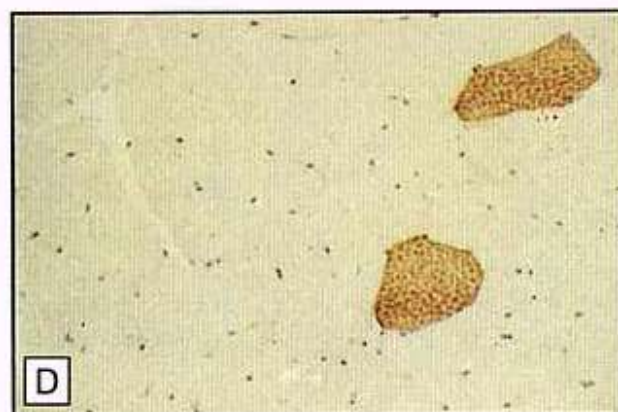
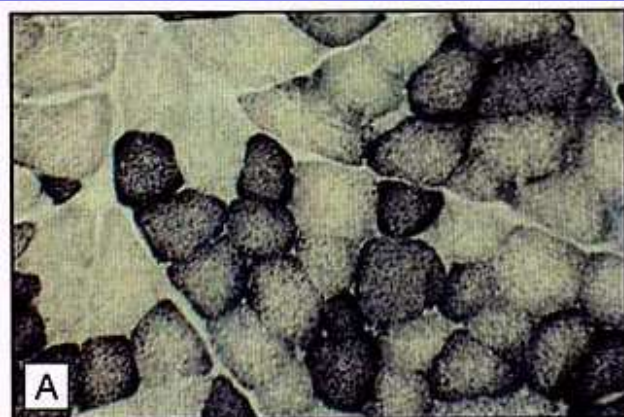
slow oxidative – SO – typ I

fast oxidative-glycolytic – FOG – typ IIa

fast glycolytic – FG - IIx

pomalé a rychlé isoformy těžkých řetězců myosinu,
myozinová ATPáza, dehydrogenáza,
glykogen fosforyláza,
Inervace pomalými a rychlými alfa motoneurony

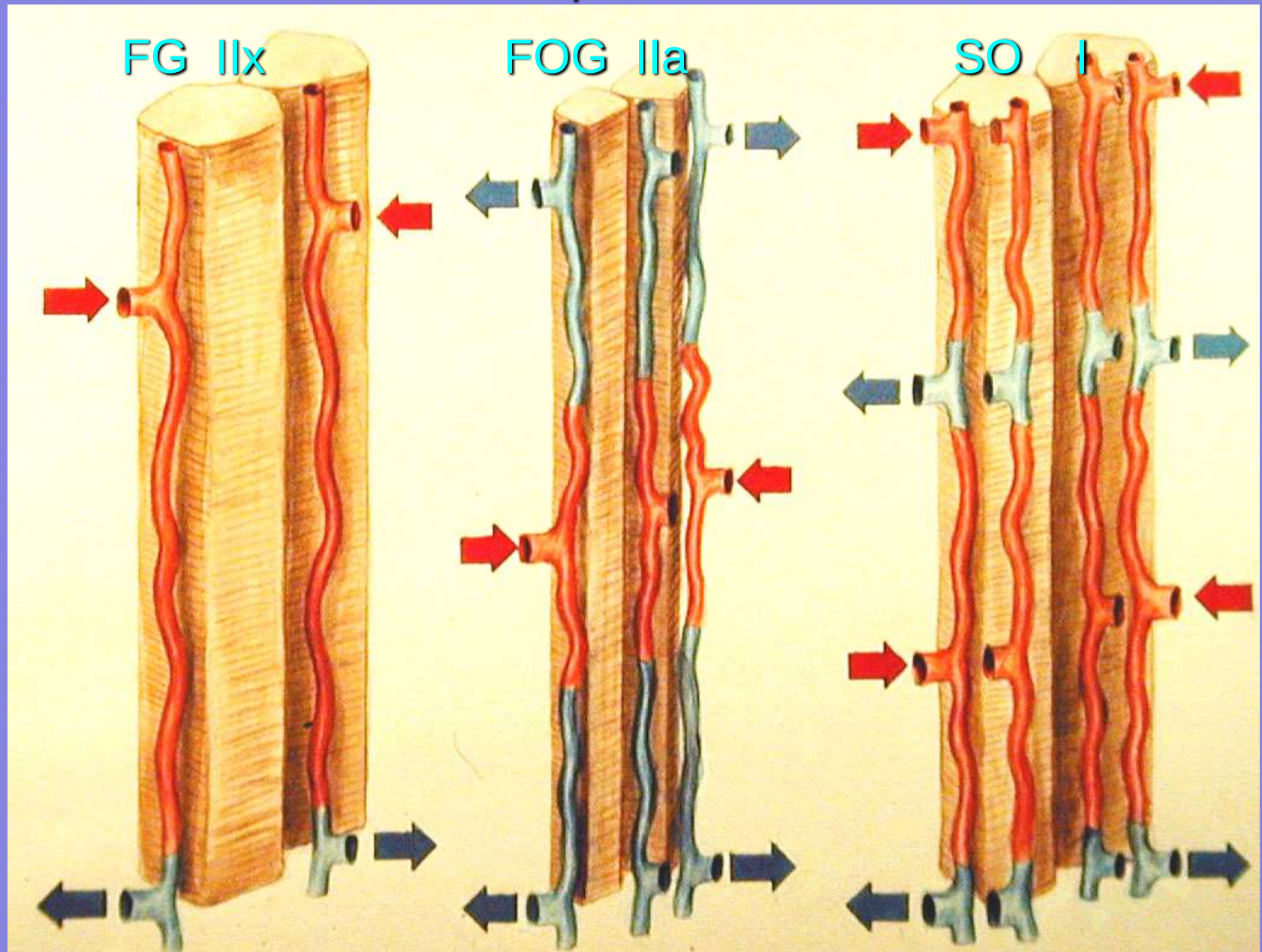
denervační atrofie svalových vláken,
atrofie svalu z inaktivity



Gray's Anatomy

Znázornění typů svalových vláken
histochemický průkaz katalytickou reakcí
na myozinovou ATPázu a dehydrogenázu

Schéma kapilárního řečiště svalu



- Fast twitch
- High force
- High fatigue

FG IIx

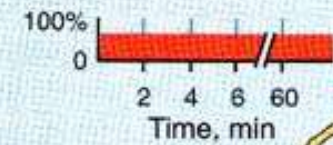
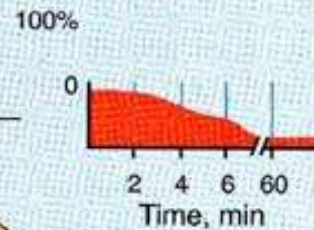
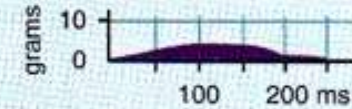
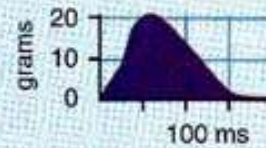
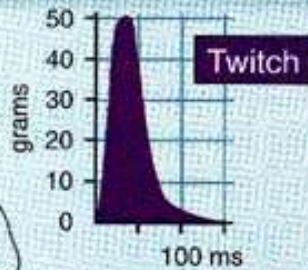
- Fast twitch
- Moderate force
- Fatigue resistant

FOG IIa

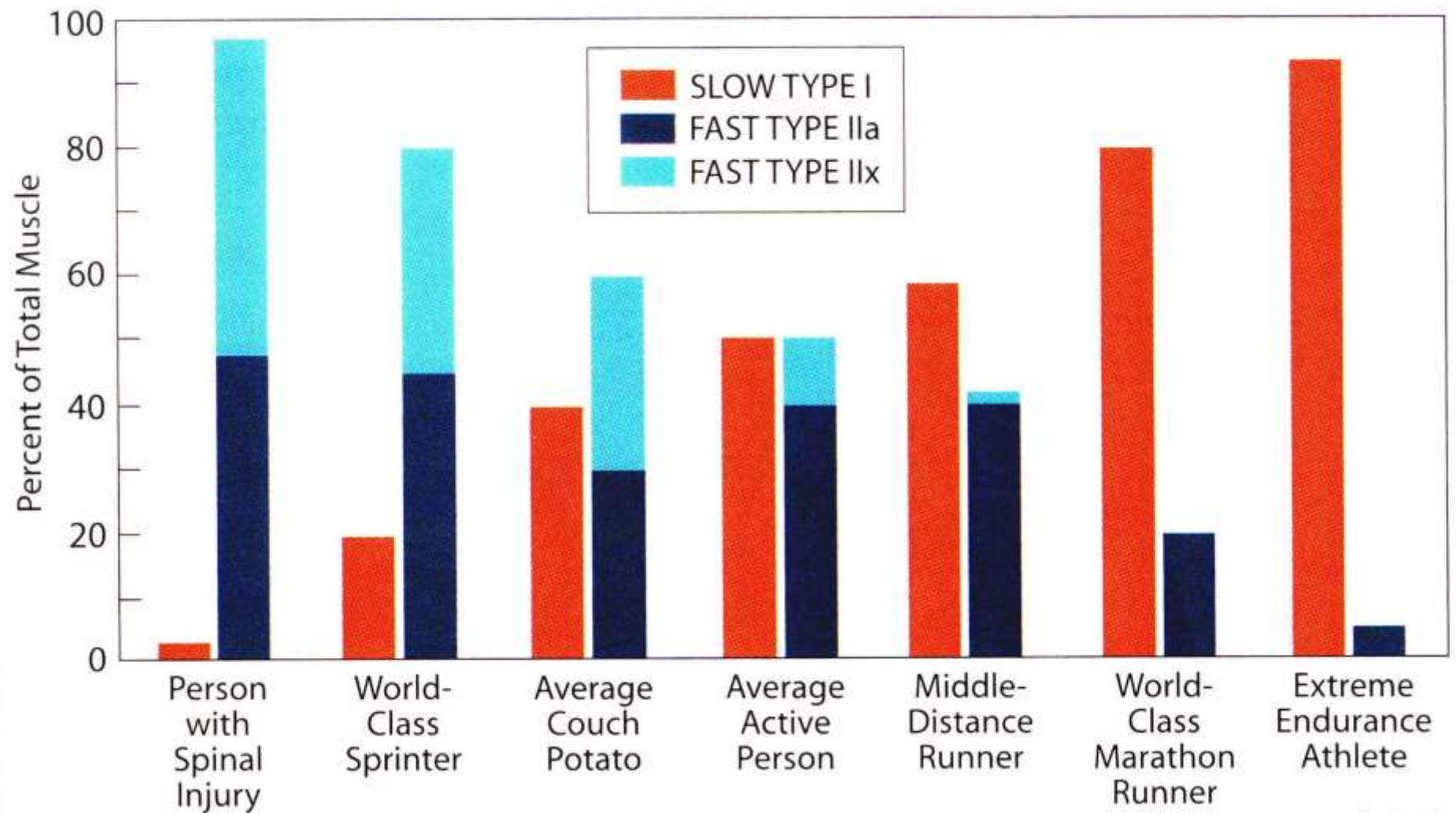
- Slow twitch
- Low tension
- Fatigue resistant

SO I

Motoneuron



Muscle fibers



Gen **ACTN3** kóduje alfa-actinin-3 a má dvě alely (R, X). Alela R má cytosin v kodonu 577, který kóduje arginin. V alele X je cytosin nahrazen thyminem, čímž je translace předčasně ukončena a nevytváří se funkční protein. **Pouze R alela umožňuje syntézu alfa actininu 3, proteinu, který je obsažen převážně v FG (IIX) svalových vláknech zodpovědných za rychlý a vydatný stah svalu.**

Nositelem alespoň jedné R alely je 95% elitních sprinterů a 50% z nich má dokonce obě R alely - každou od jednoho z rodičů.

V Keni je 99% populace nositelem alespoň jedné R alely, na Jamajce je to 98% populace, ale v evropské populaci je to jen 82% jedinců. Předpokládá se, že homozygotů X/X, kteří netvoří alfa-actinin 3 je celosvětově $\frac{1}{6}$ – $\frac{1}{4}$ populace.

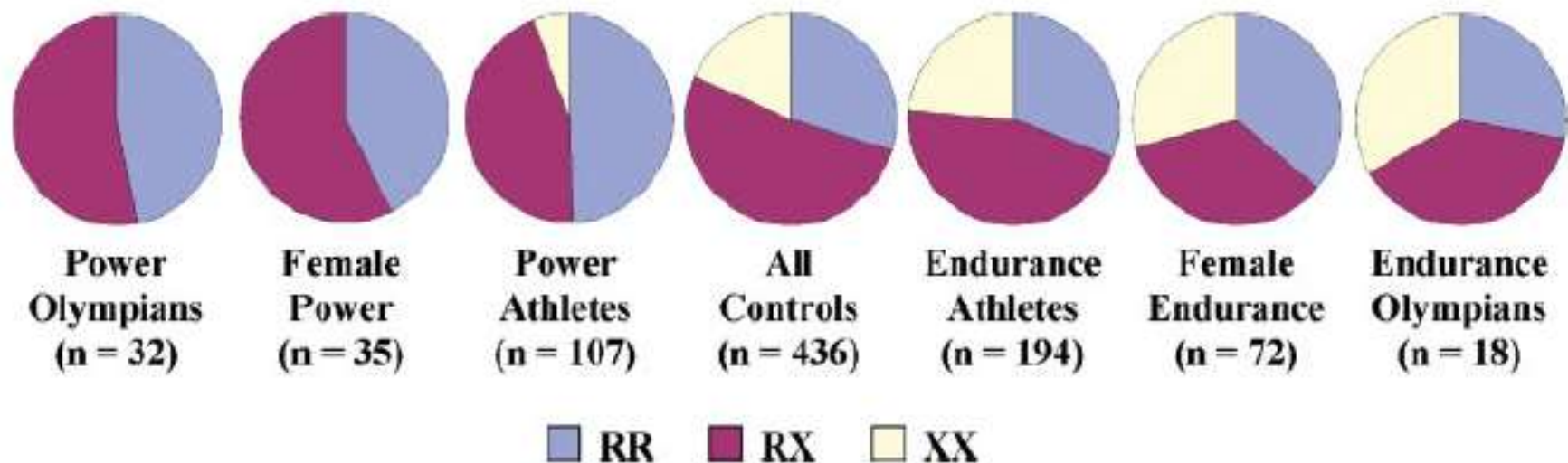


Figure 3. Frequencies of the three *ACTN3* R577X genotypes in controls and elite athletes. The sample size in each group is shown. Female athletes and athletes who had competed at an Olympic level are shown as separate groups for both power/sprint and endurance athletes. Significant differences from genotype frequencies in controls (by a χ^2 test for homogeneity of genotype frequencies between groups) were seen for total power athletes ($P < 0.0001$), female power athletes ($P < 0.05$), power Olympians ($P < 0.01$) and female endurance athletes ($P < 0.05$).

Vývoj kosterního svalu

Vývoj kosterní svaloviny, myogenese

Původ myogenních buněk

paraaxiální mesoderm, somity

Determinace myogenních buněk

transkripční faktory: myogenin, MyoD, Myf-5

Diferenciace (po proliferaci fúze): myoblast, myotuba, svalové vlákno

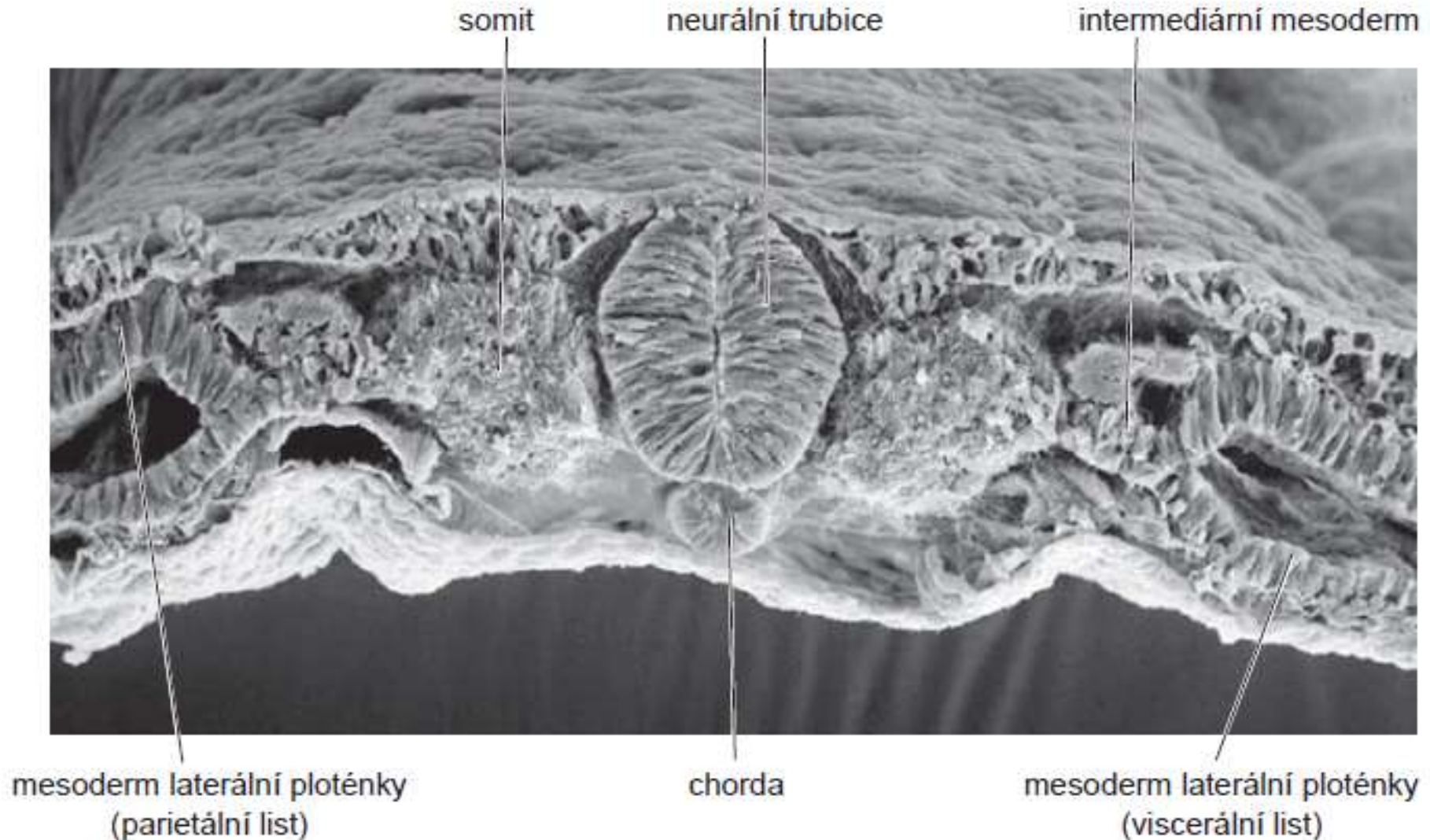
kmenová buňka svalového vlákna: satelitní buňka

Růst svalu: hyperplasie, hypertrofie, růst do délky

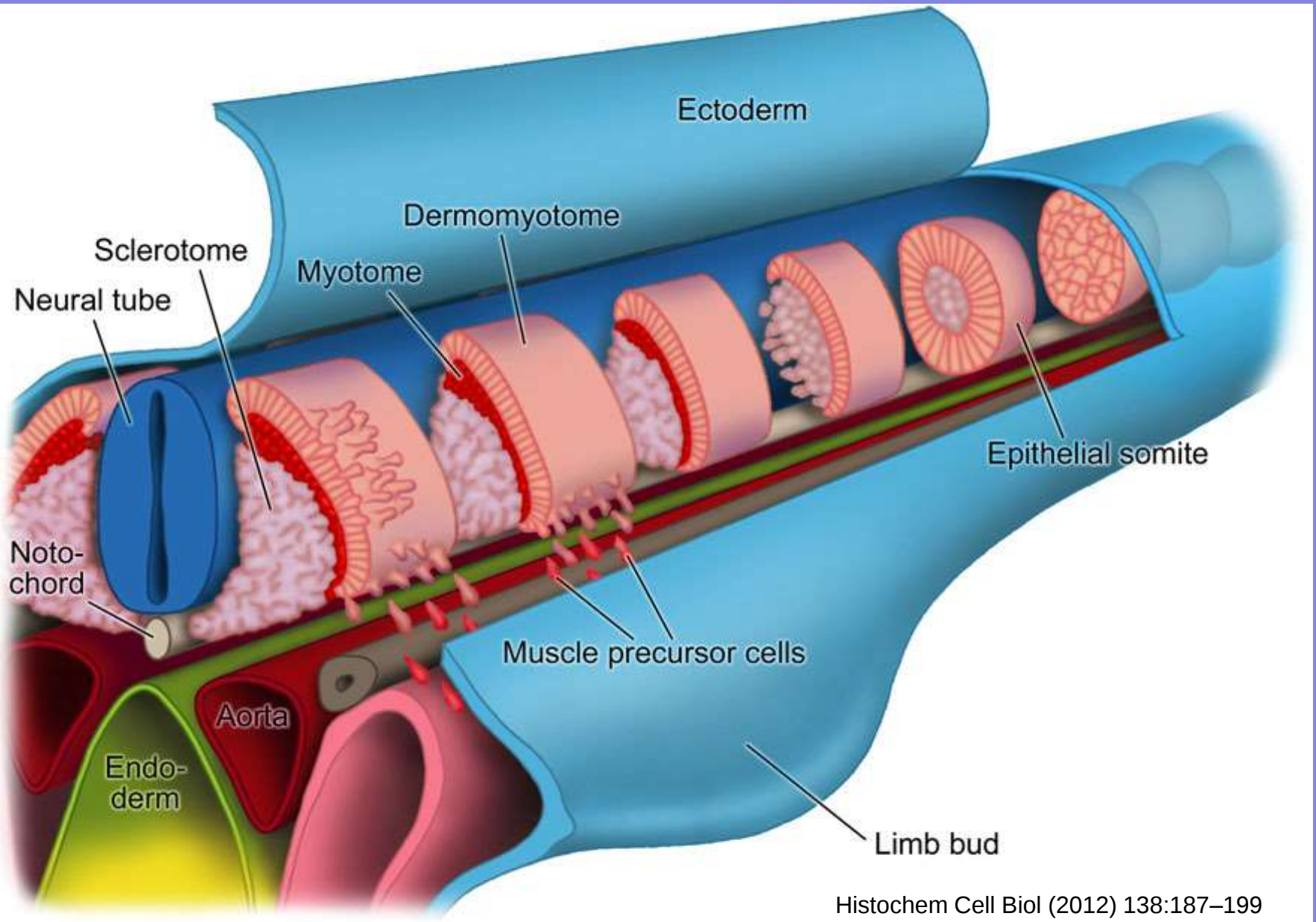
Morfogeneze: svalový blastém, svalový základ, jeho štěpení, jeho fúze, vrůstání myotomů do stěny trupu, migrace myogenních buněk do základů končetin

Nositelem **morfogenetické informace** je lokální mesenchym, je dána expresí homeotických genů: *HOX*, *PRX1* a *ALX3* a T-box genu *TBX1*

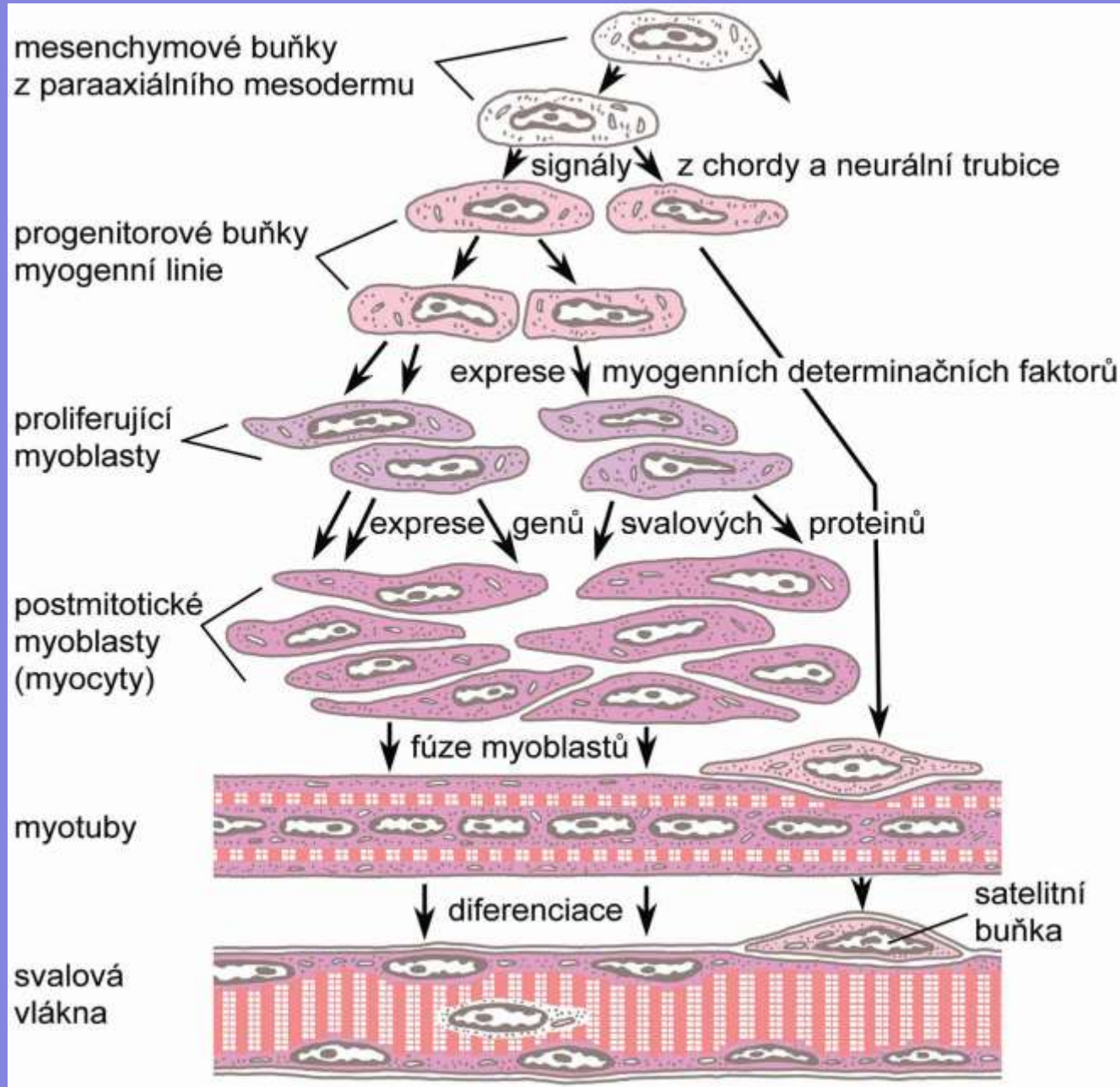
Paraxial mesoderm: somites, somatopleura, splanchnopleura



Fate of somites



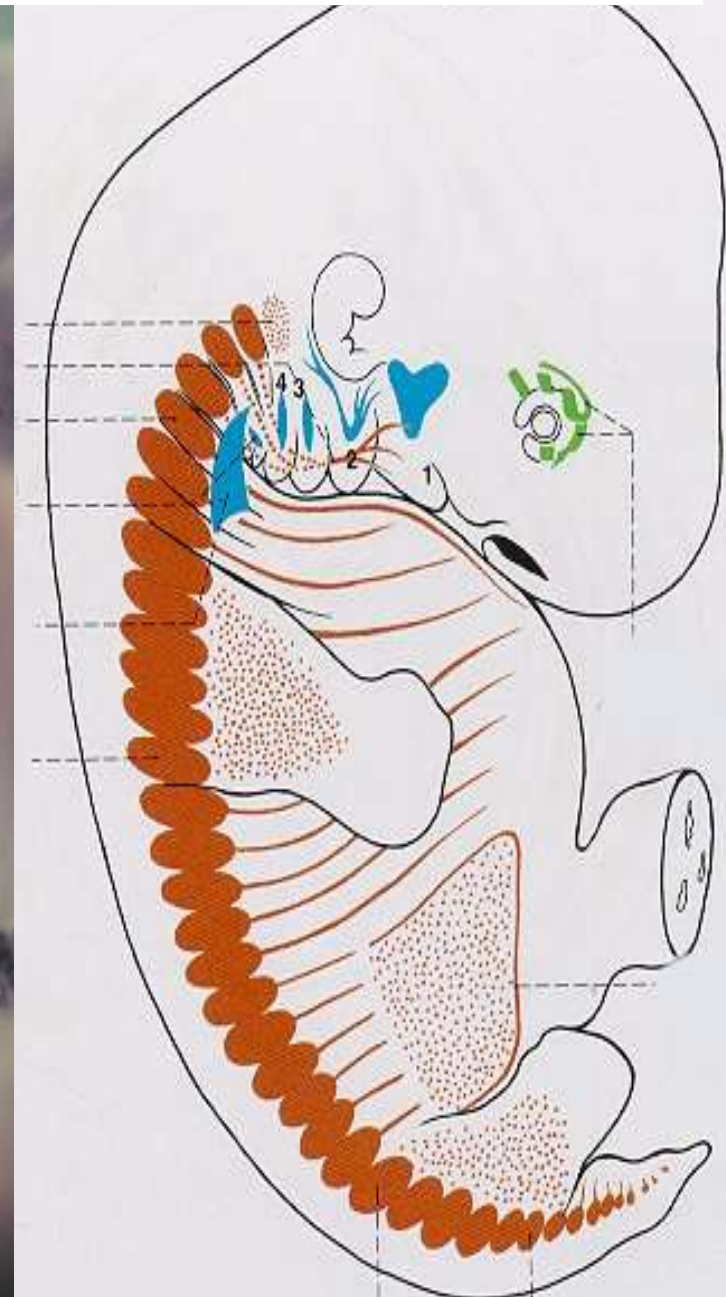
Myogenese - diferenciace svalového vlákna



MyoD

Myogenese ve stěně trupu, na hlavě a v končetinách

HH 25



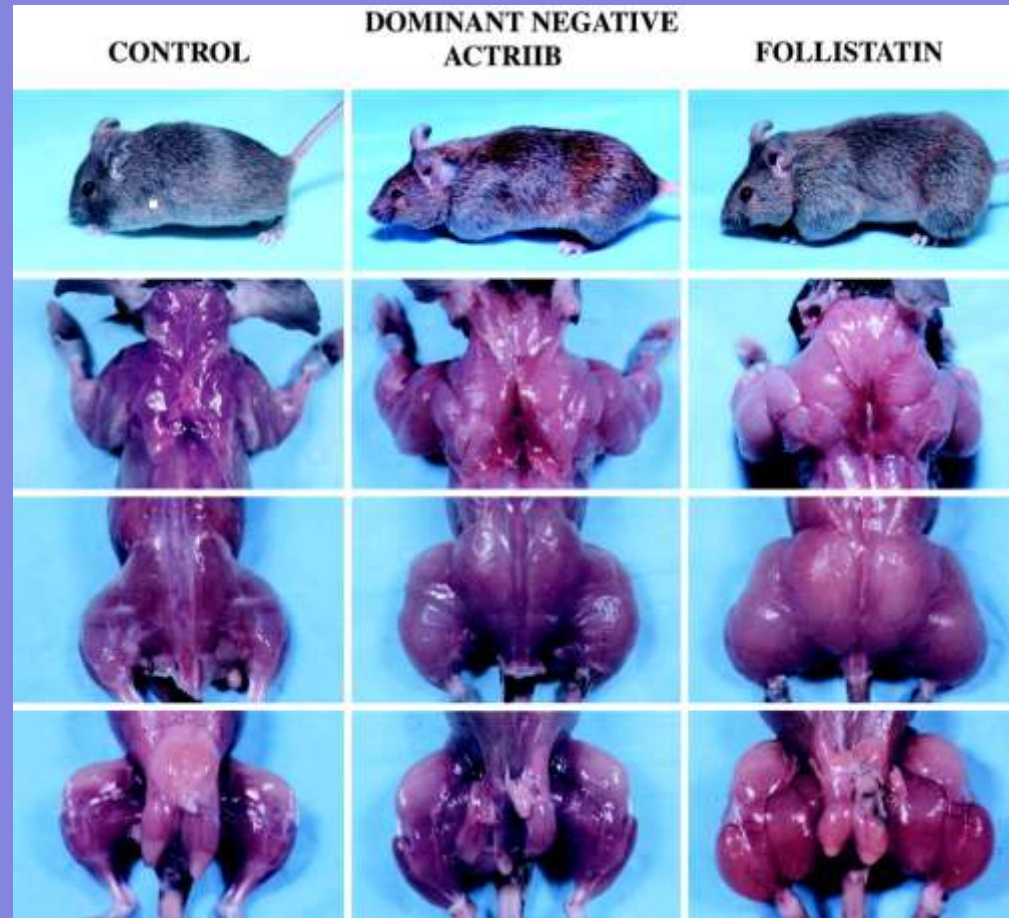
Anatomie 1

Benninghoff, Drenckhahn: Anatomie I, 2003

**Spontánní mutace genu pro myostatin
(Belgian blue)**



Myostatin a jeho vývojový význam



Lee SJ, McPherron AC: PNAS 98: 9306-11, 2001

Blokáda receptoru pro myostatin,
Nadexprese folistatinu,
antagonisty myostatinu

**Mutace genu pro myostatin:
nadměrná proliferace
svalových buněk**

Uvádí se, že minimálně jeden
evropský šampion ve vzpírání
má vrozený defekt myostatinu

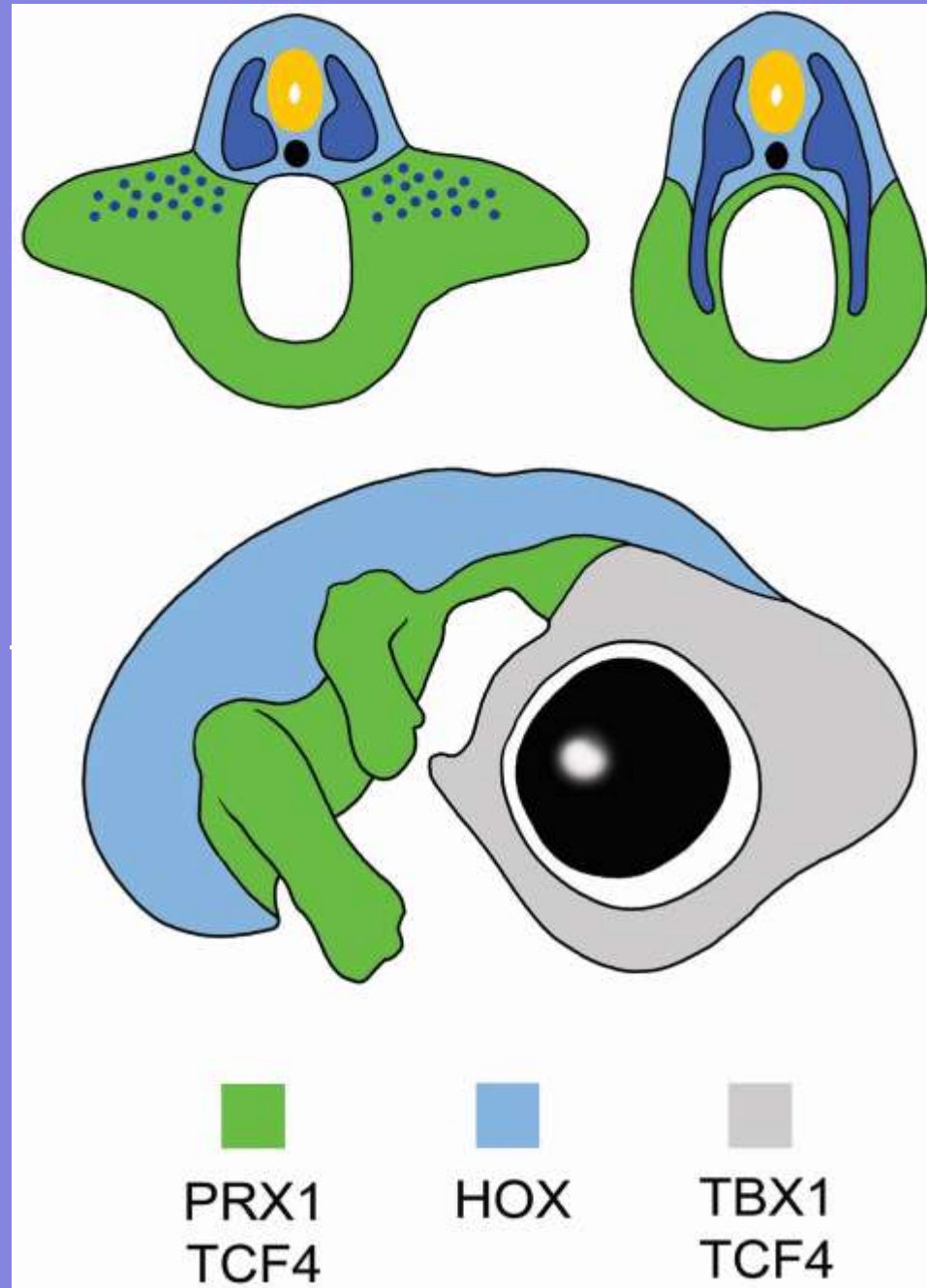
Morfogenese svalů

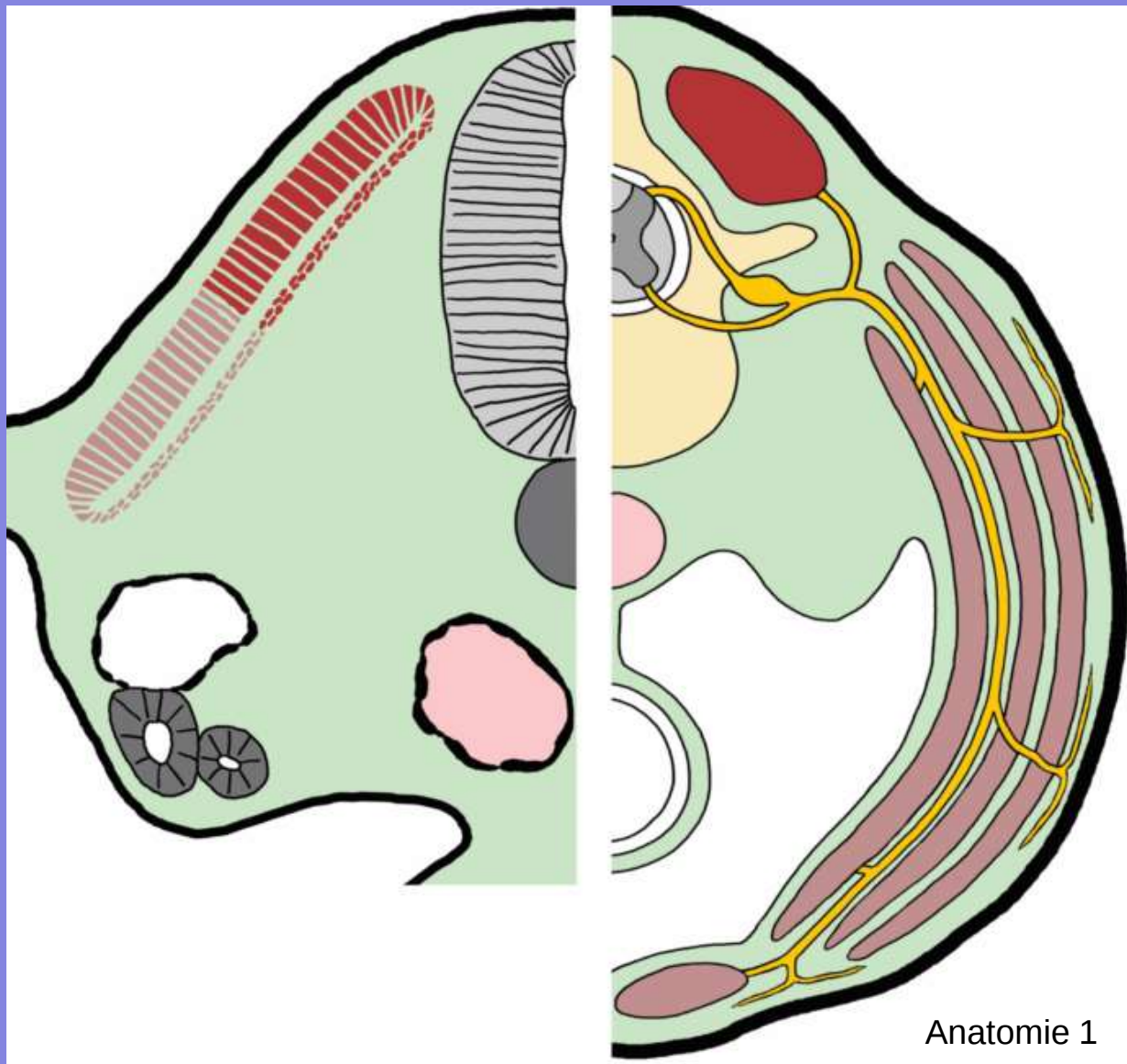
Primaxiální svaly (modře)
v mesenchymu
ze somitů (světle modře)

Abaxiální svaly (modře)
v mesenchymu ze somatopleury
(zeleně)

Hlavové svaly
v ektomesenchymu (šedě)

**Geny exprimované v
mesenchymu určují regionální
identitu jednotlivých částí těla a
tím i uspořádání svalů, jejich
polohu a tvar**

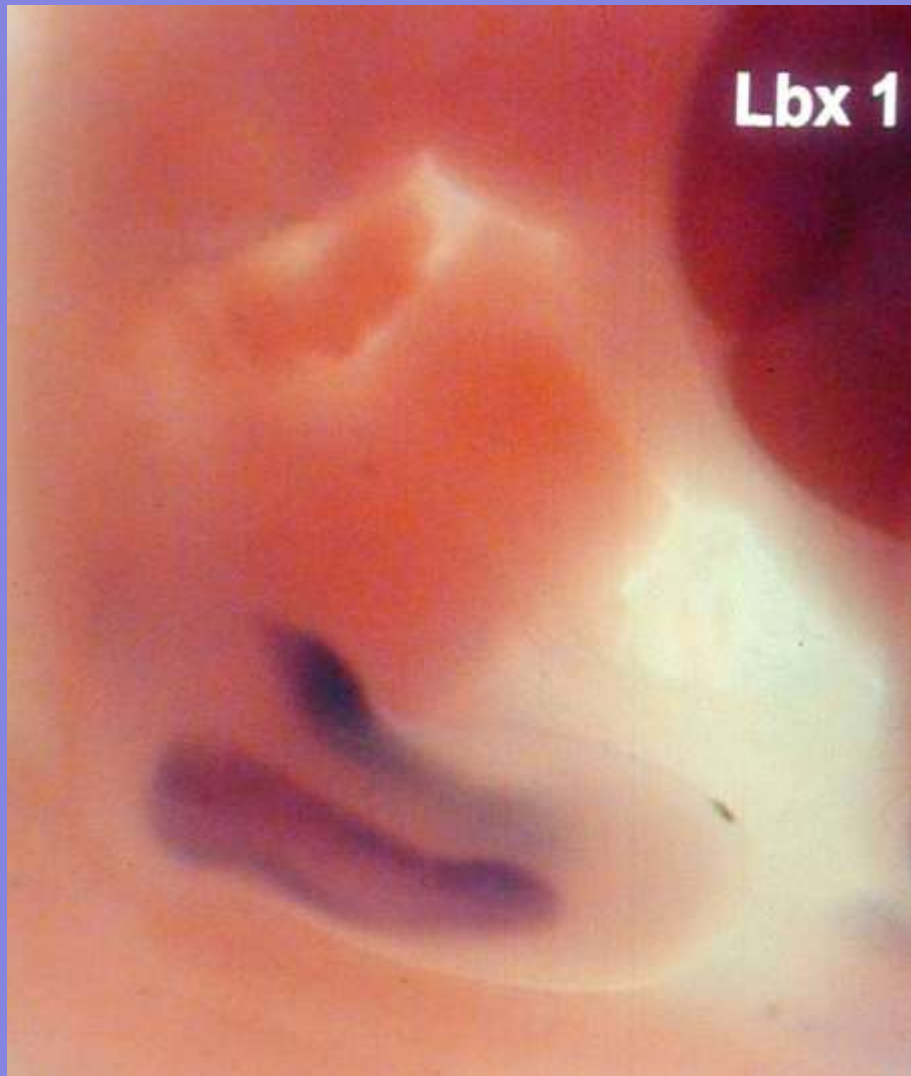




Anatomie 1

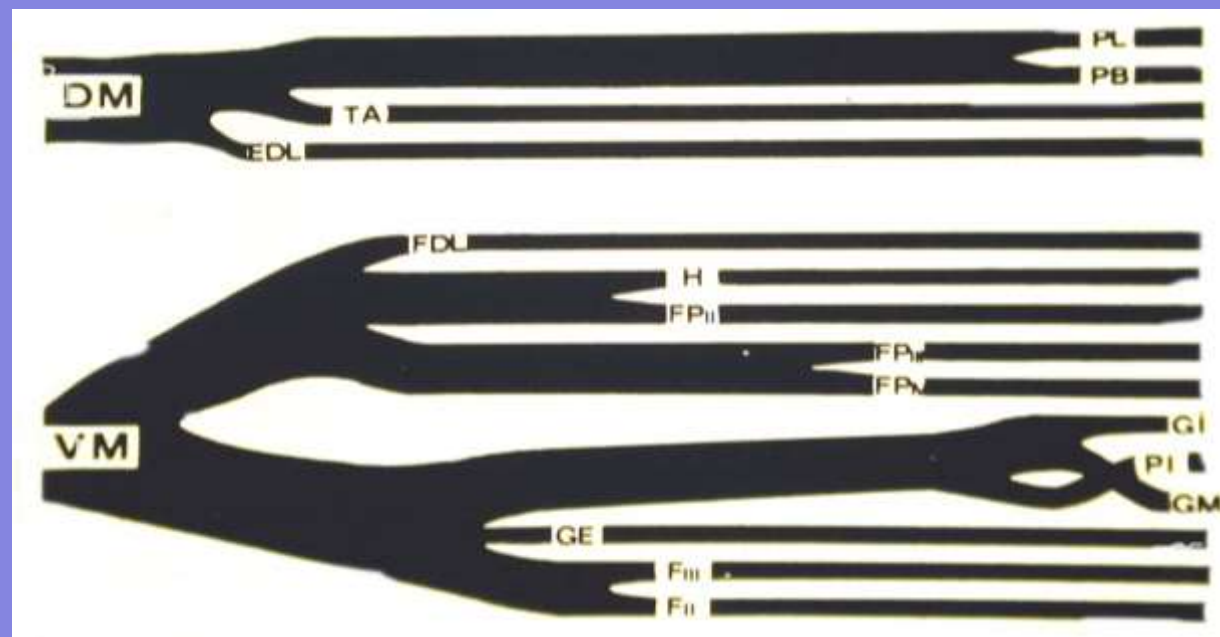
Epaxiální a hypaxiální svalovina a její inervace na transversálním řezu embryem v úrovni břišní stěny v časném (vlevo) a v pozdějším (vpravo) embryonálním vývojovém období

Morfogeneze svalů končetin



Ventrální a dorsální svalový blastém v základu končetiny

Morfogeneze svalů končetin

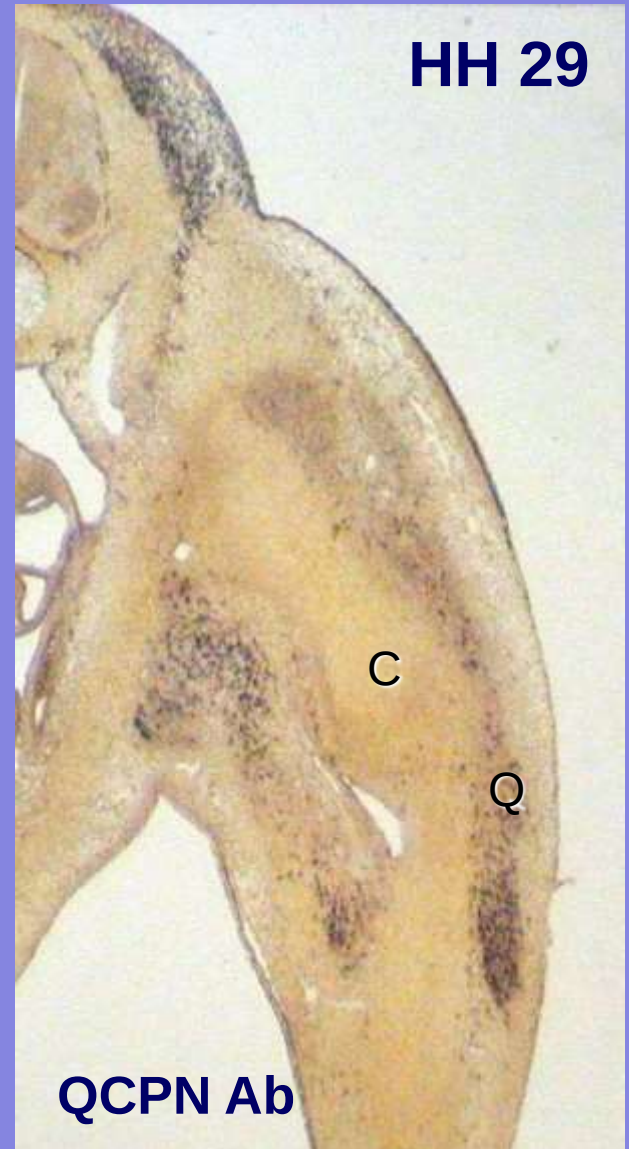
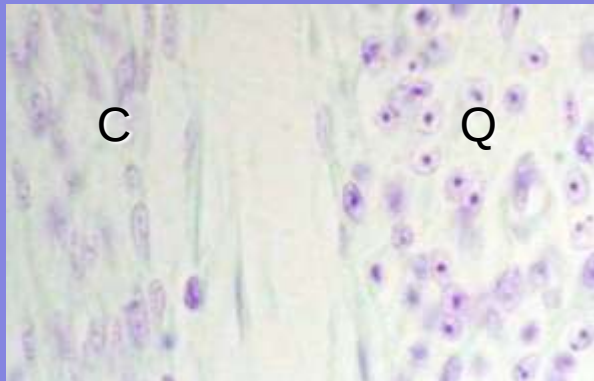


Vývoj končetinových svalů

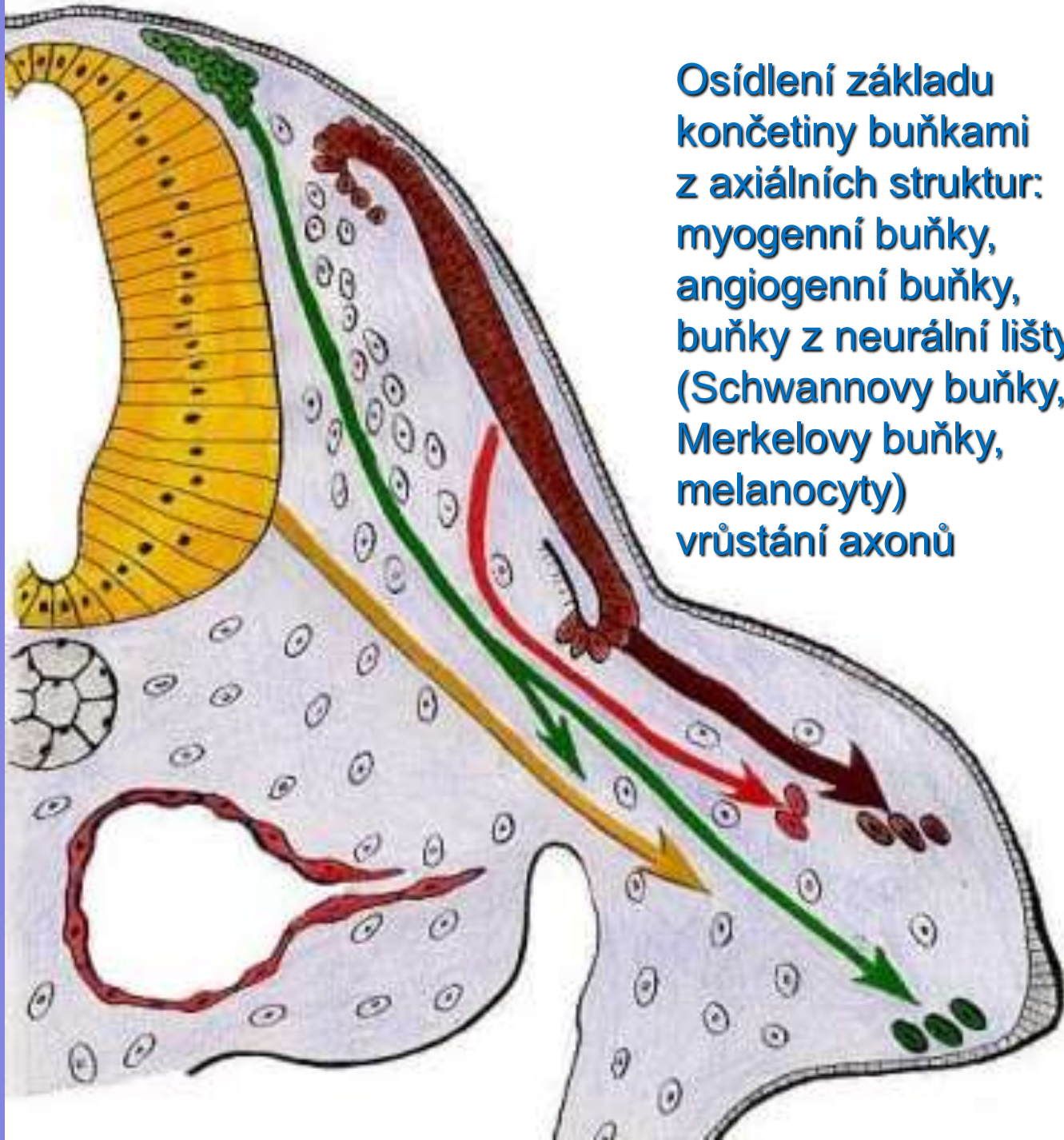
C DK HH 22



Embryonální chiméra japonské křepelky (Q) a bílé leghornky (C) transplantace somitu, myogenní buňky v končetině



Pax3
cMet
SF
Lbx1
MyoD



Osídlení základu
končetiny buňkami
z axiálních struktur:
myogenní buňky,
angiogenní buňky,
buňky z neurální lišty
(Schwannovy buňky,
Merkelovy buňky,
melanocyty)
vrůstání axonů



cMet tyrosin
kinasový receptor
exprimovaný na
myogenních buňkách
je vazebným místem
pro SF/HGF
produkovaný
mesenchymem
v základu končetiny

HH 17

c Met



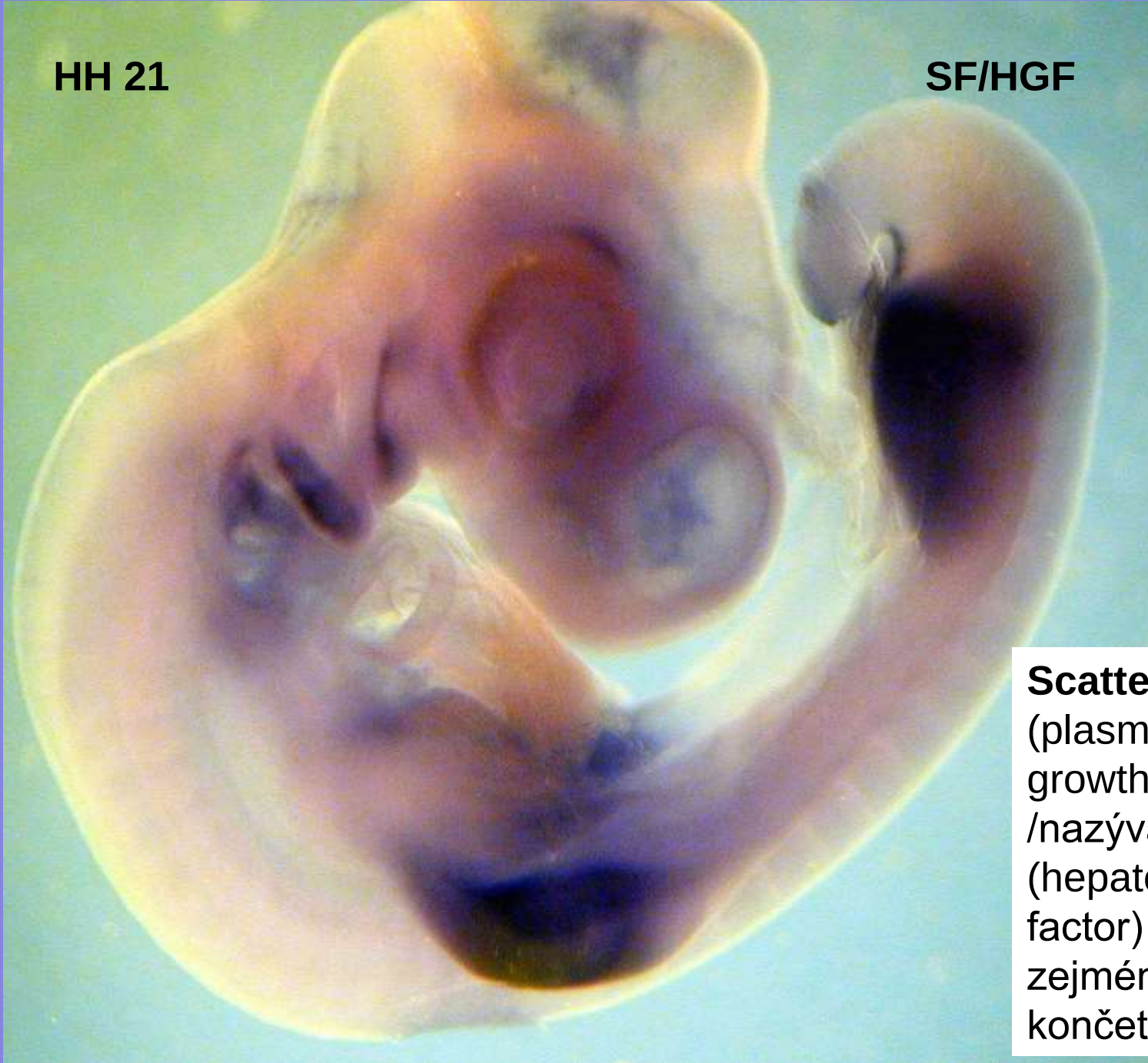
HH 22

Pax3

in situ hybridizace mRNA
v celých embryích pomocí
digoxigeninem značené
mRNA anti-sense sondy

HH 21

SF/HGF



Scatter factor
(plasminogen-related
growth factor)
/nazývaný také **HGF**
(hepatocyte growth
factor) je exprimován
zejména v základech
končetin

Molekulární podstata identity končetin

Tbx5 je transkripční faktor exprimovaný pouze v základu vyvíjející se horní končetiny obratlovců, ale nikoliv v základu dolní končetiny.

Geny *Pitx1* a *Tbx4* kódují transkripční faktory exprimované v základu dolní končetiny, ale nikoliv v základech horních končetin.

Je-li v pokusu na zárodcích kuřete navozena exprese *Pitx1* v křídle, vyvíjí se atypické křídlo s atypickými svaly s výraznými znaky dolní končetiny. Zároveň jsou exprimovány geny *Tbx4*, *HoxC10* a *HoxC11*, které jsou typické pro základ nohy.

Tbx5 a *Tbx4* startují vývoj končetiny aktivací signalizační kaskády Wnt/Fgf (*Wnt2b* v horní končetině a *Wnt8c* v dolní končetině).

Genem identity horní končetiny je tedy *Tbx5*, za identitu dolní končetiny jsou zodpovědné geny *Pitx1* a *Tbx4*.

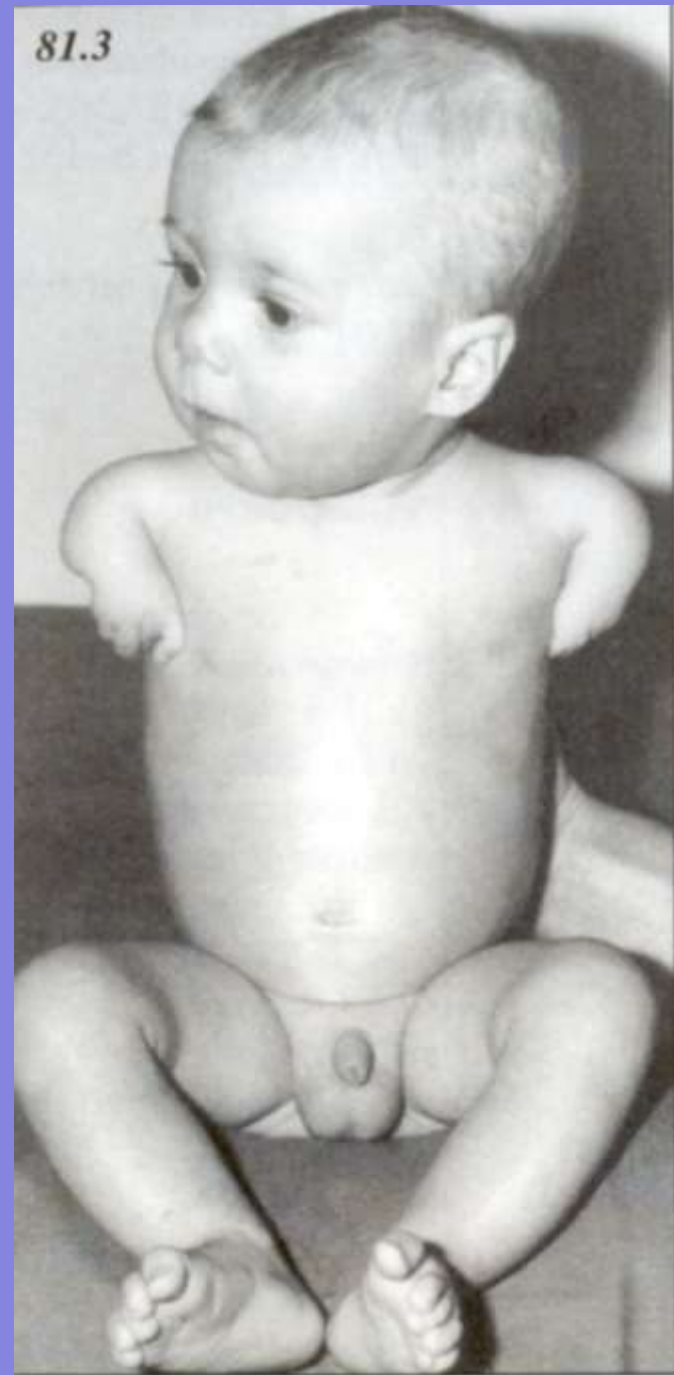
(Logan M, Tabin CJ 1999, 2003; Takeuchi et al., 2003)

Holtové-Oramův syndrom (HOS) 1960

mutace *TBX5* genu

vývojové defekty horní
končetiny (amelie, fokomelie,
dysplasie radia),
vývojové vady srdce (defekty
septa předsíní a komor,
transpozice aorty
a truncus pulmonalis)

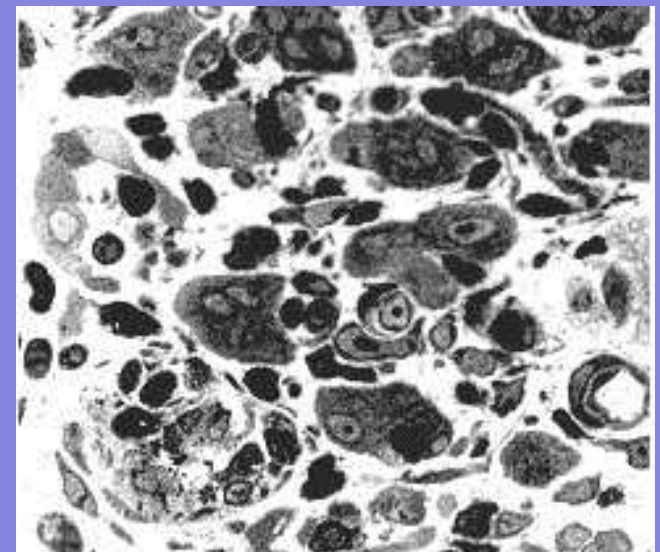
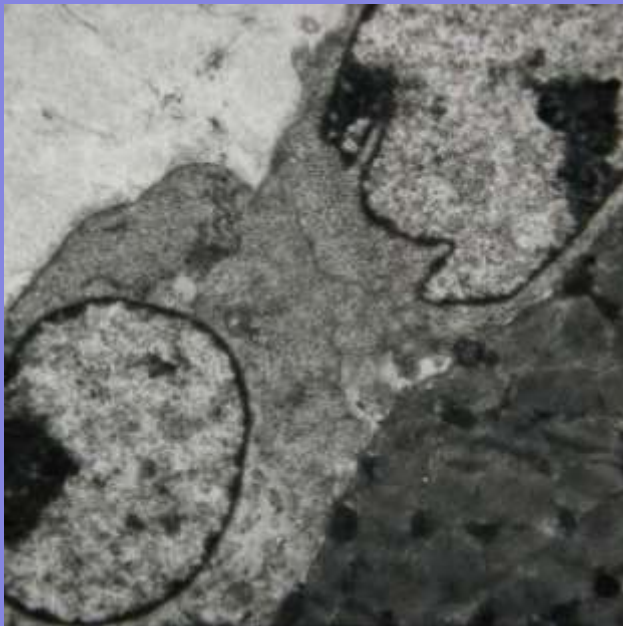
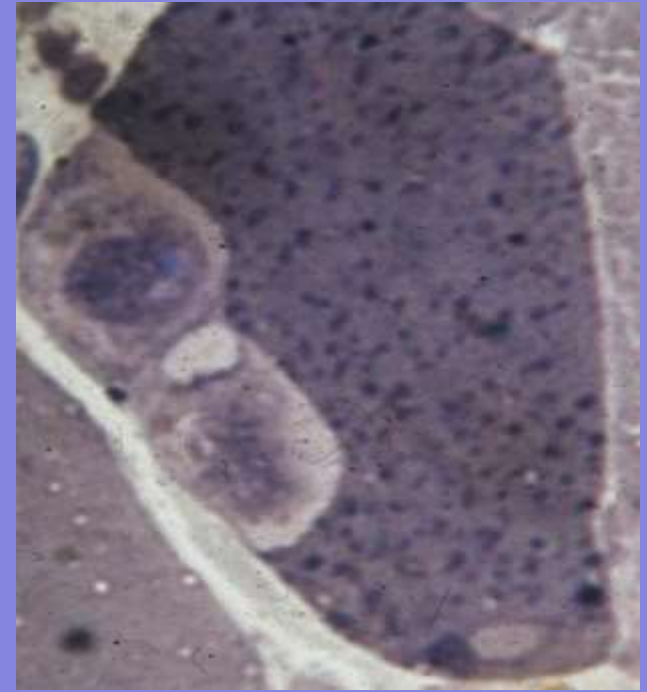
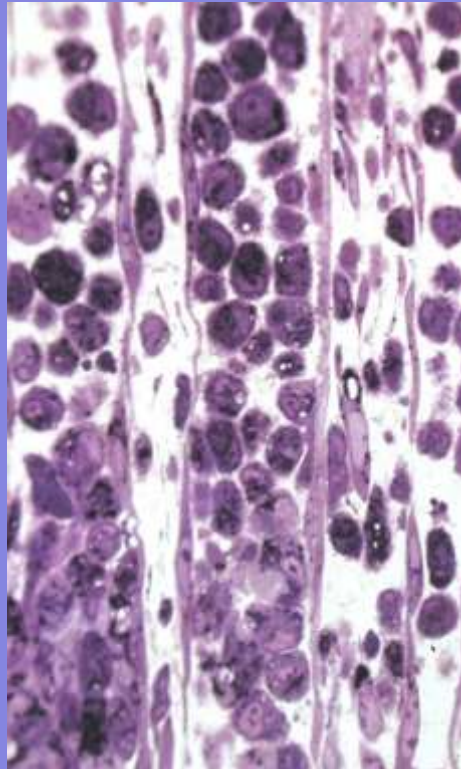
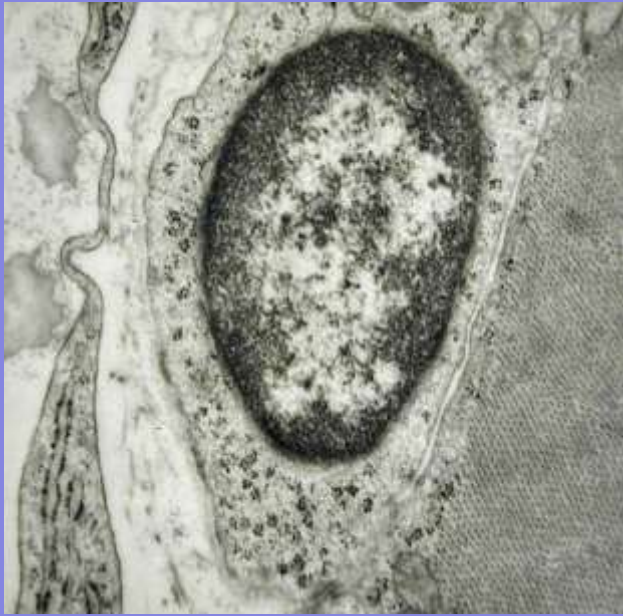
Anatomie I str. 51



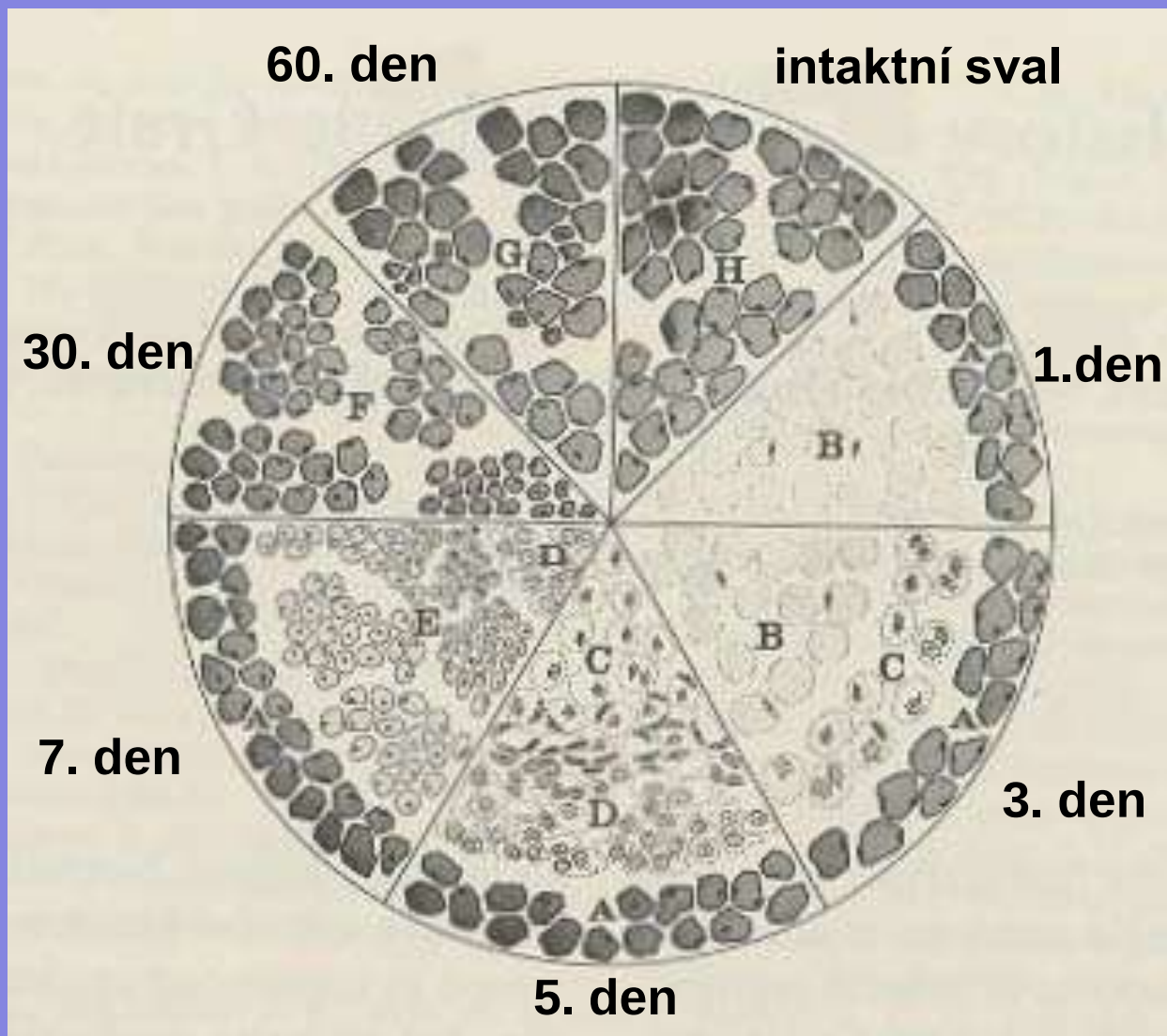
Regenerace kosterního svalu

- satelitní buňka – kmenová buňka svalového vlákna
- aktivace satelitních buněk, jejich proliferace, fúze a diferenciaci
- regenerace po poranění, po transplantaci: revaskularisace, reinervace
- časový průběh regenerace svalových vláken x proliferace vaziva

Satelitní buňky a regenerace svalu



Osud volného svalového štěpu u laboratorního potkana



Základní pojmy z angiologie

Termíny obecné angiologie

Krevní cévy:

Arteria,

Vena,

Valva, valvula,

Vas capillare,

kapilára,

Anastomosis

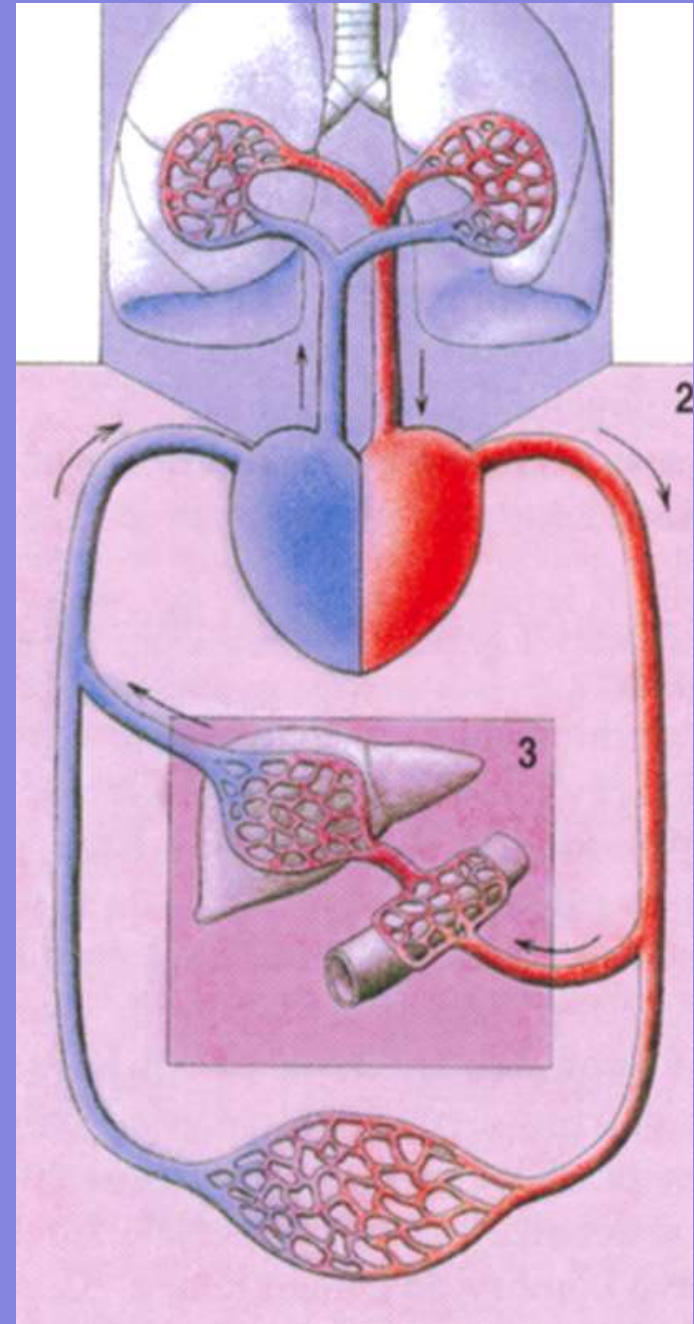
arteriovenosa,

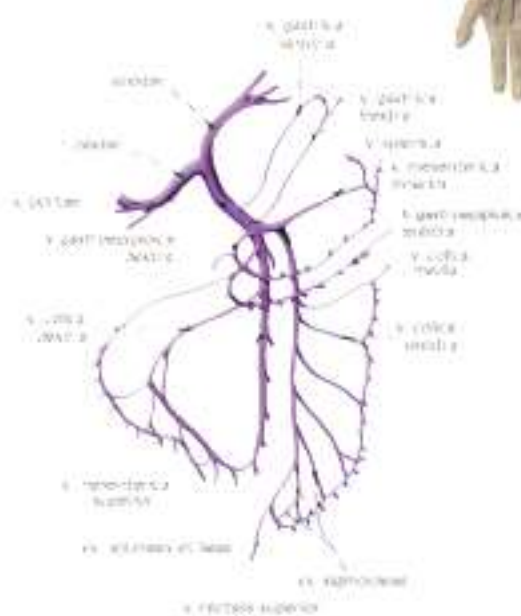
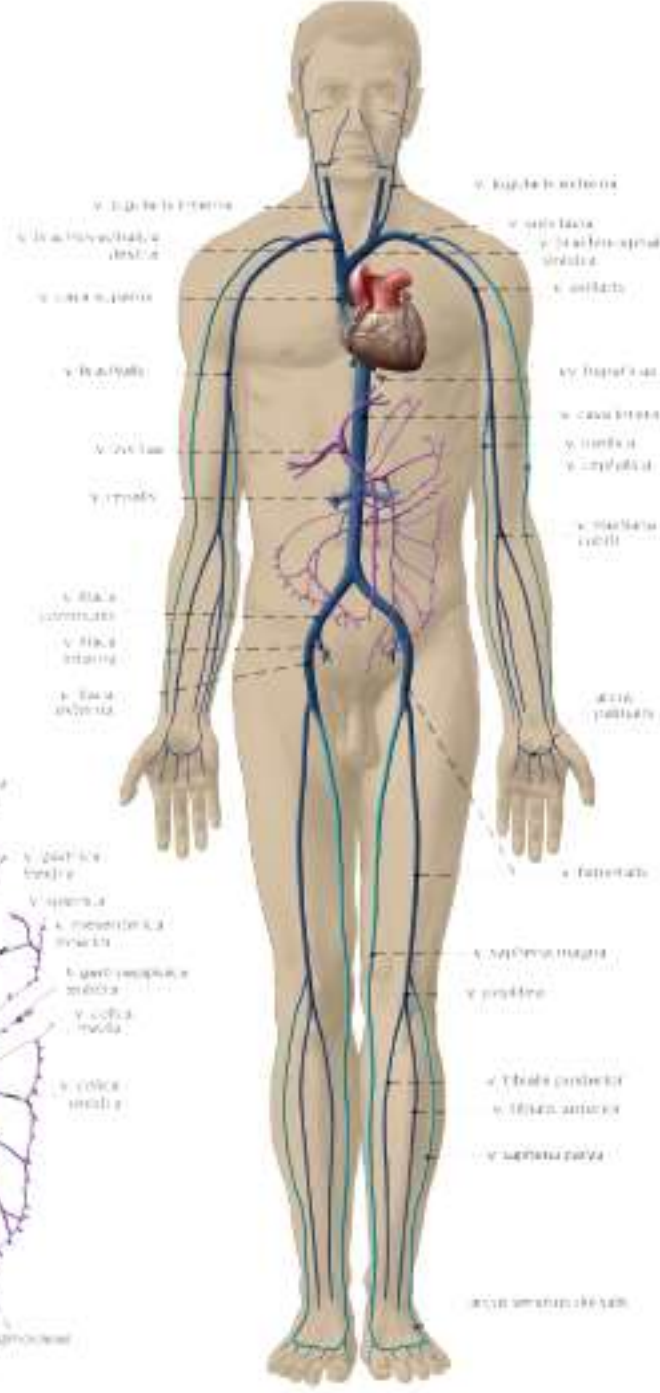
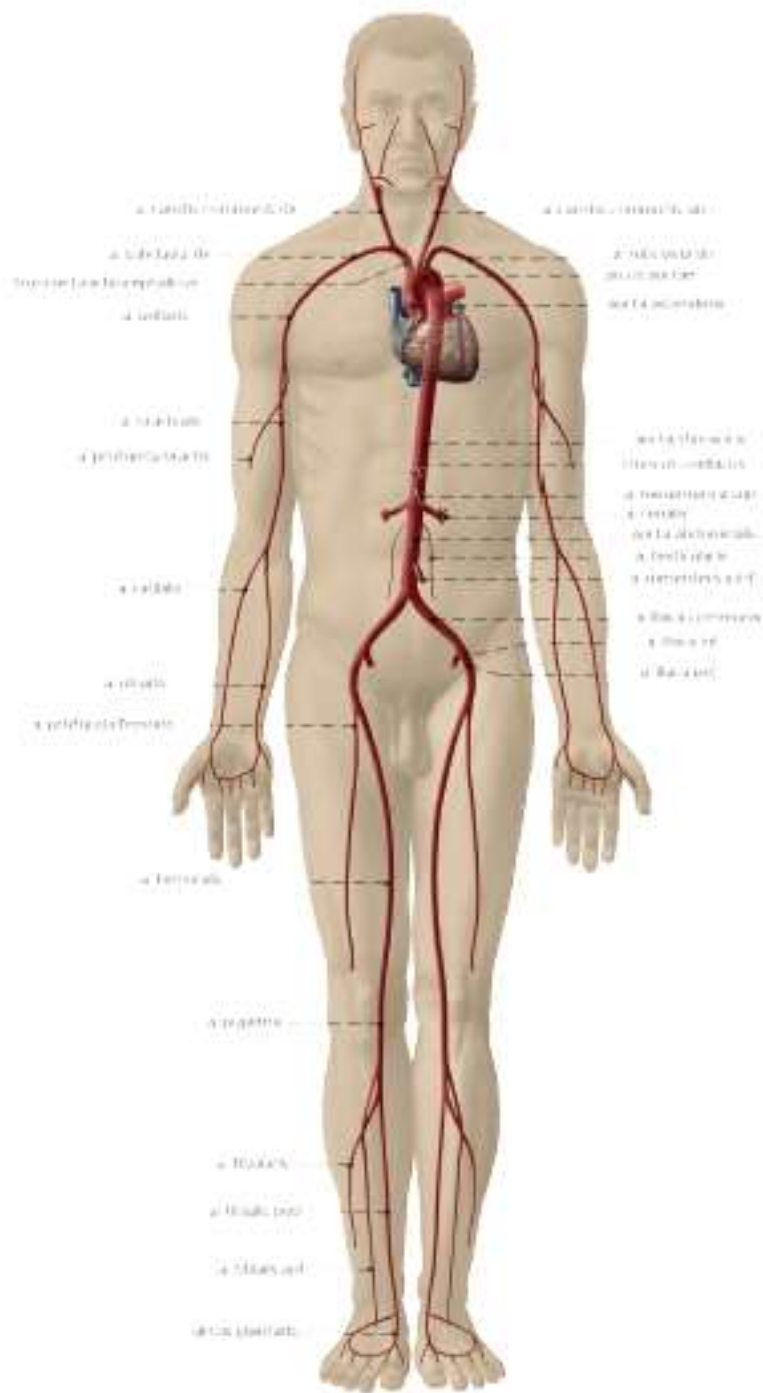
Vas collaterale,

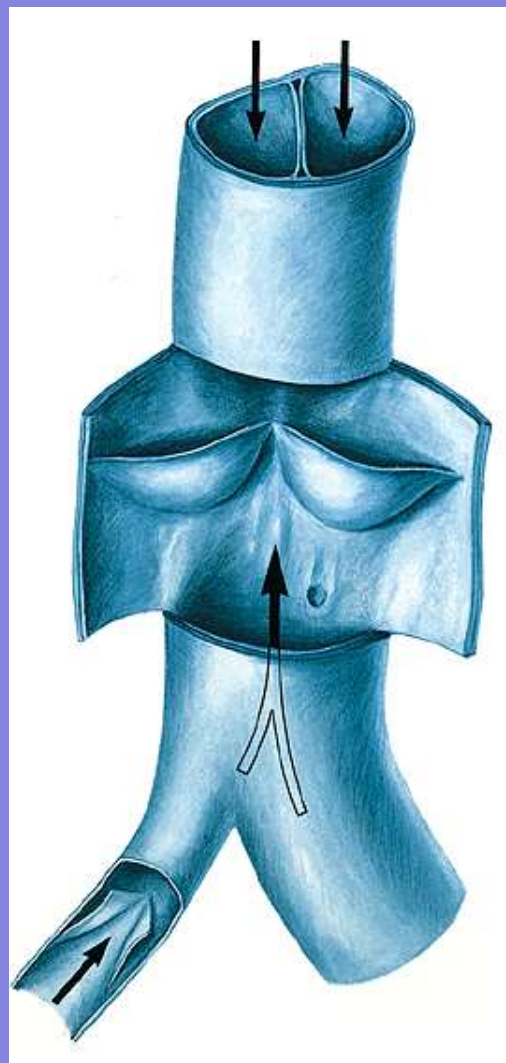
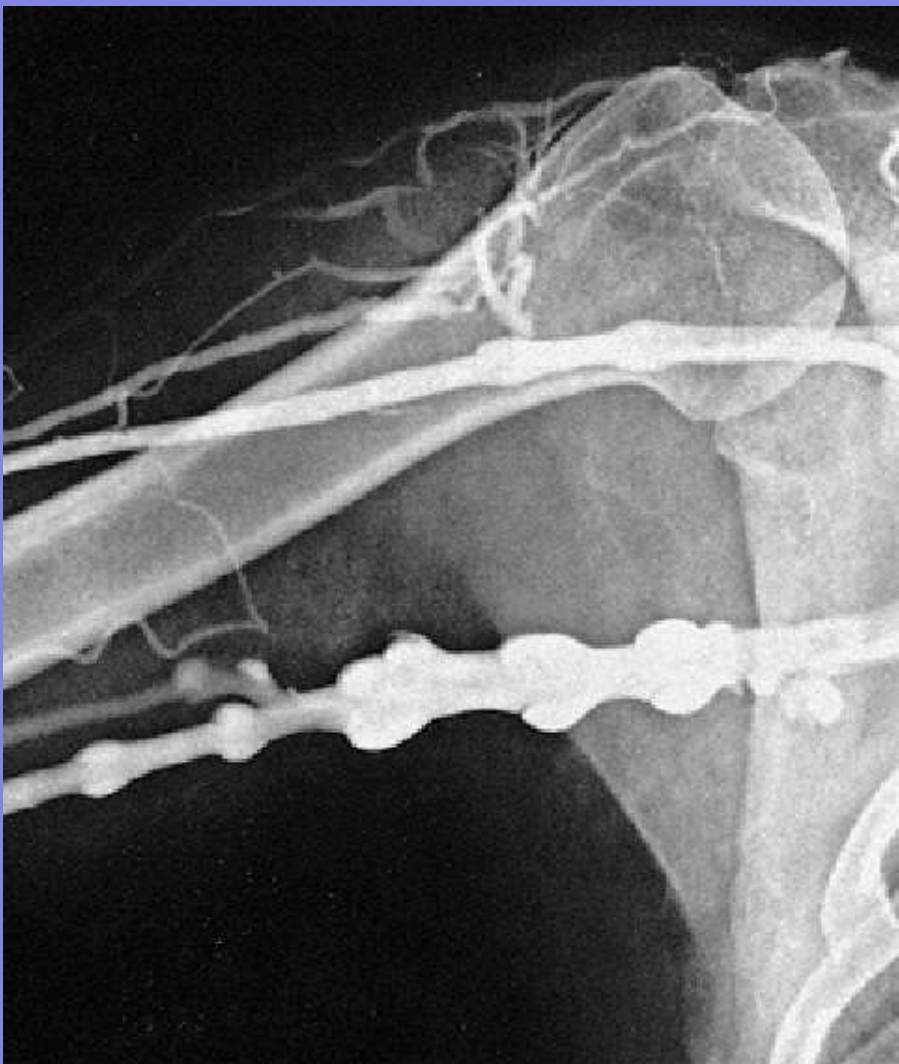
Plexus venosus,

Vena portae

fetální cirkulace



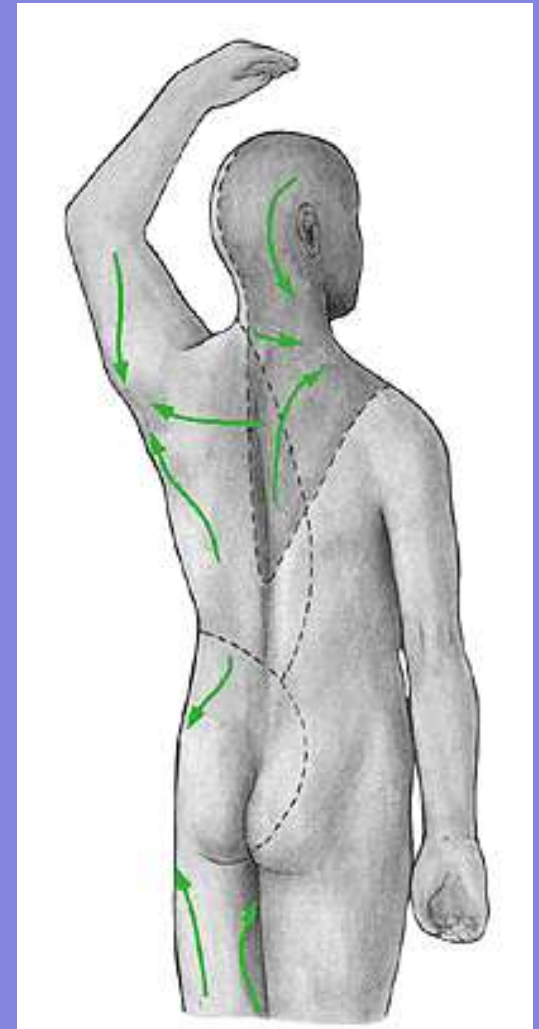
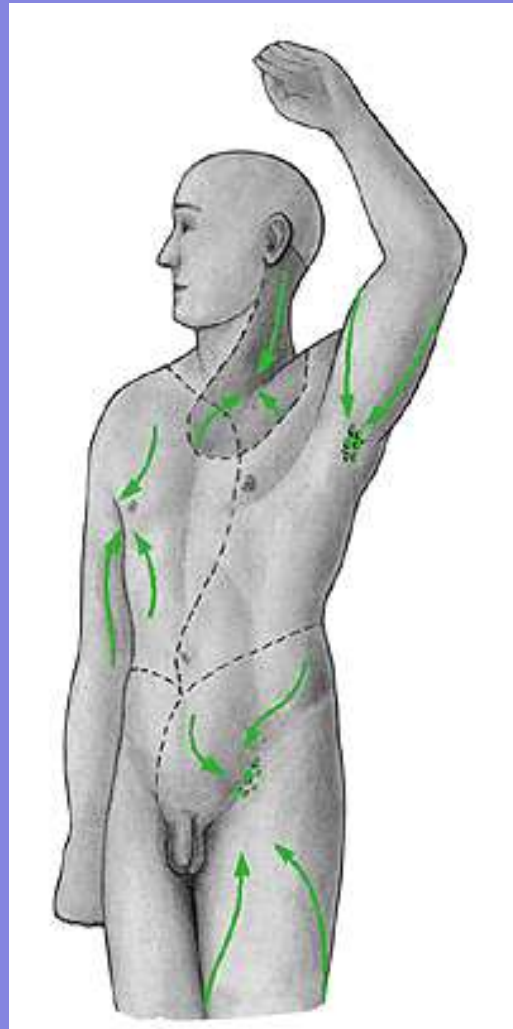
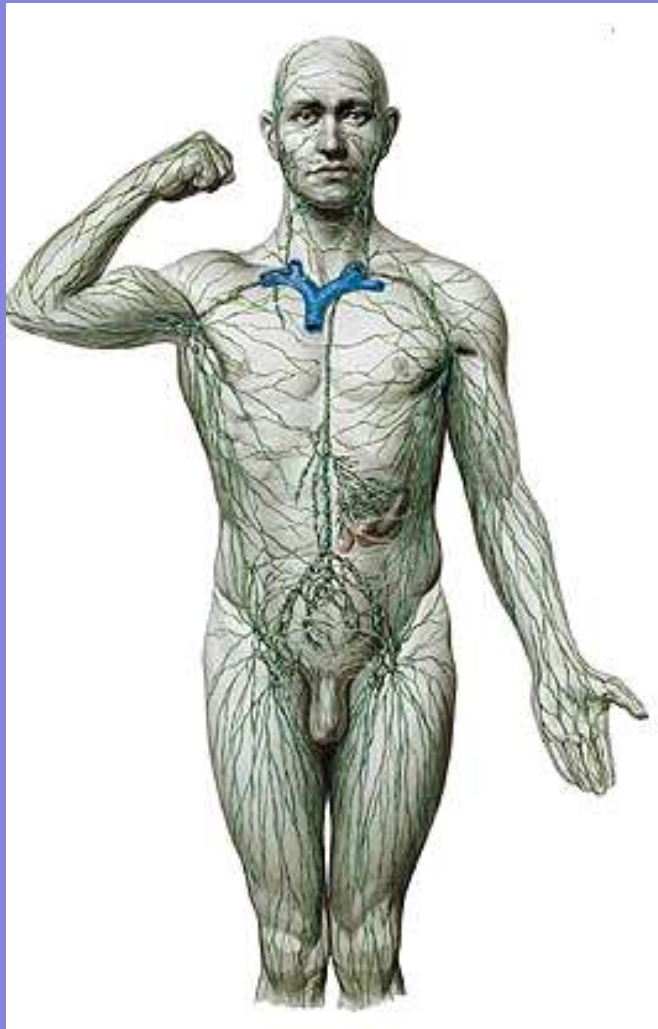


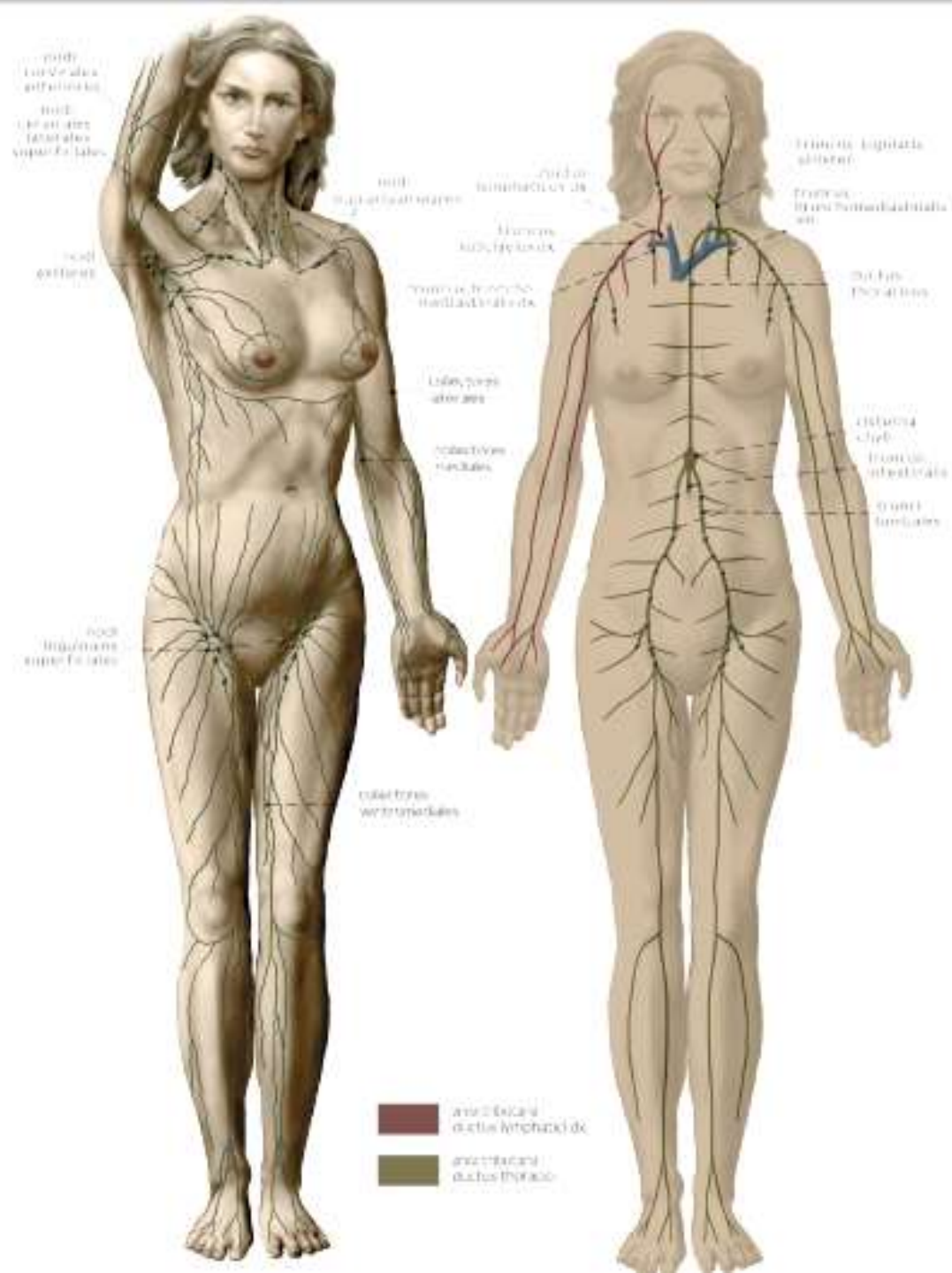


valvae venarum

Termíny obecné anatomie lymfatického systému

vas lymphaticum, trunci lymphatici, dutus lymphatici, nodi lymphatici





Obečná anatomie periferního nervu

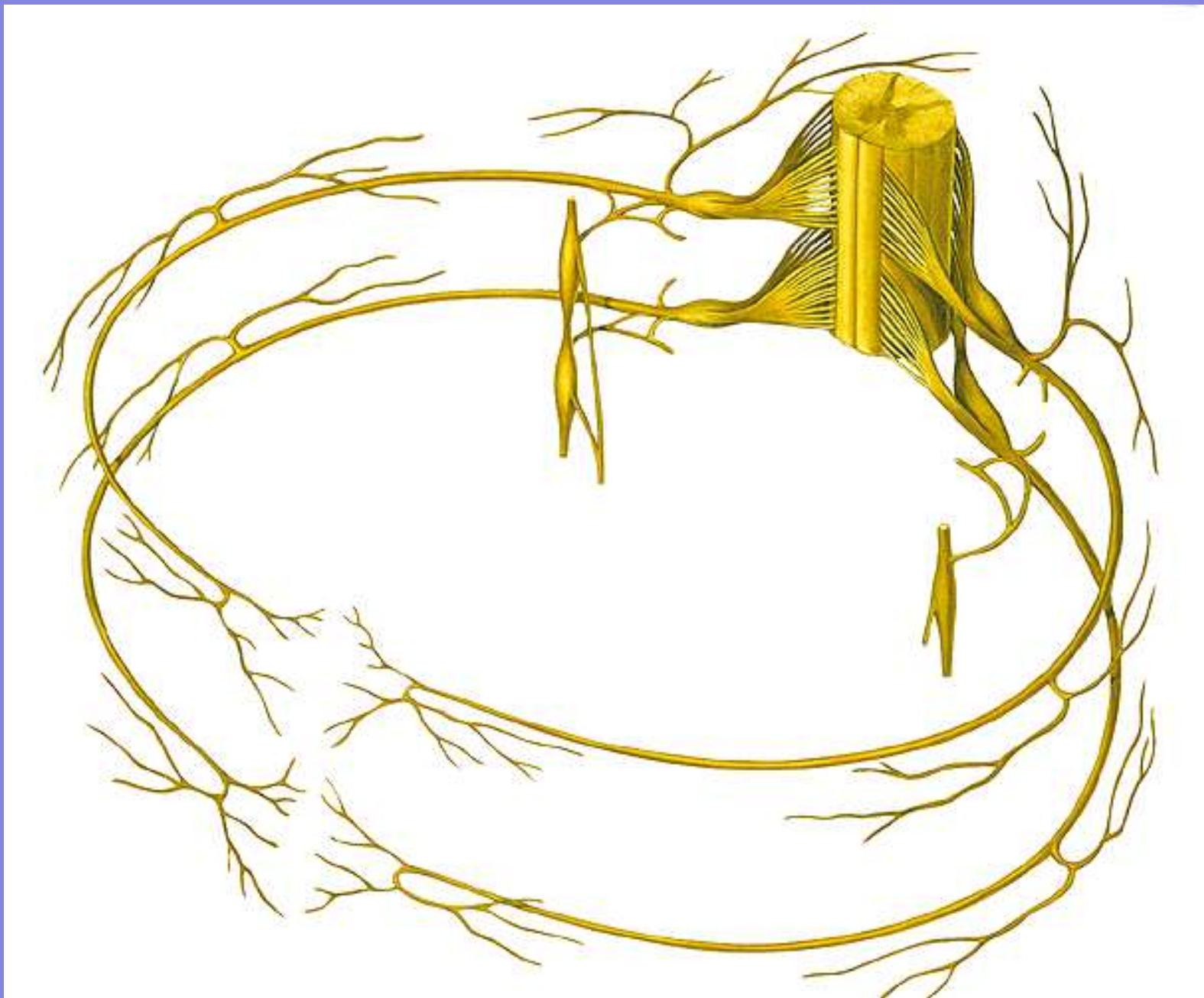
Systema nervorum periphericum (PNS)
nervi spinales, nervi craniales, nervi autonomici –
pars sympathica, pars parasympathica

neuron, neuroglia, synapsis, ganglion,

nervus sensorius, nervus motorius, nervus mixus,

endoneurium, perineurium, epineurium,

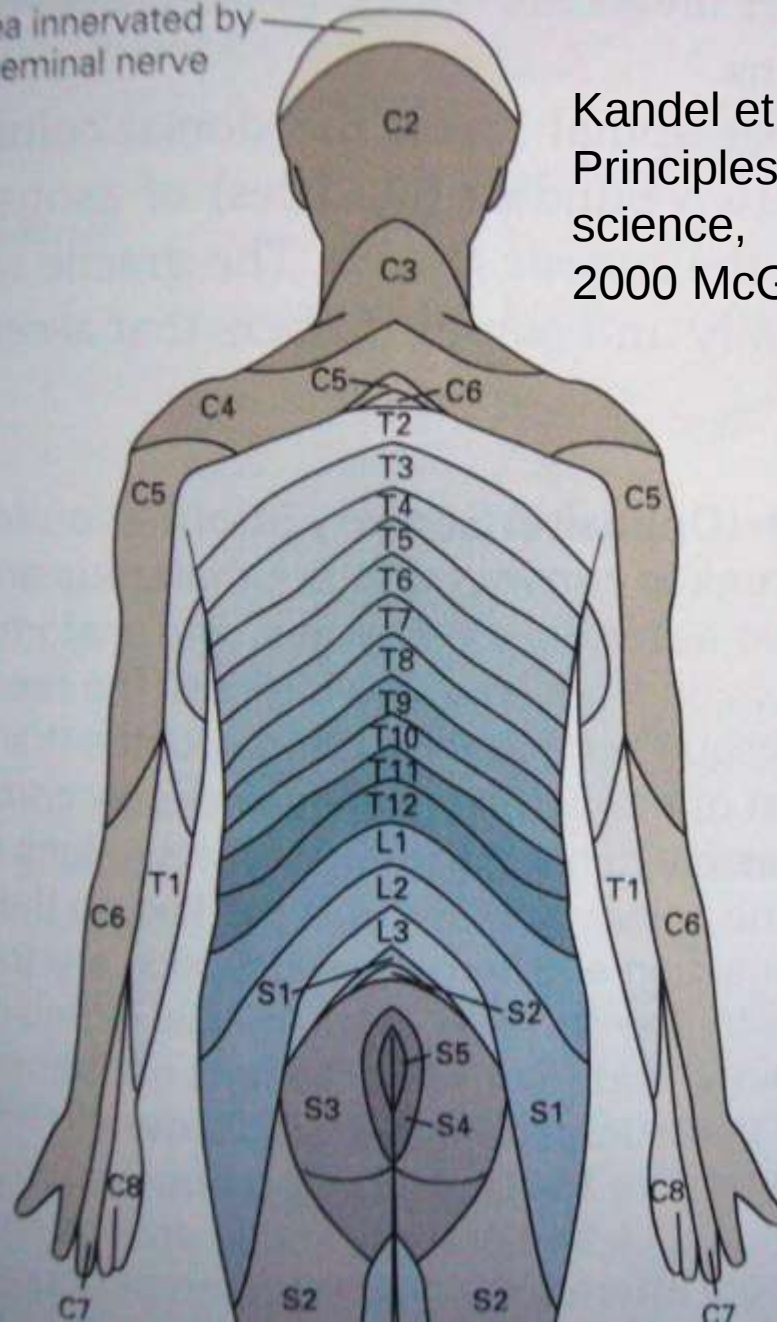
plexus nervorum spinalium, plexus autonomici,
plexus vasculares



Dva segmenty hrudní míchy a jejich míšní nervy

Segmental innervation - areae radicales (dermatomes)

Area innervated by
trigeminal nerve



Kandel et al:
Principles of neural
science,
2000 McGraw-Hill

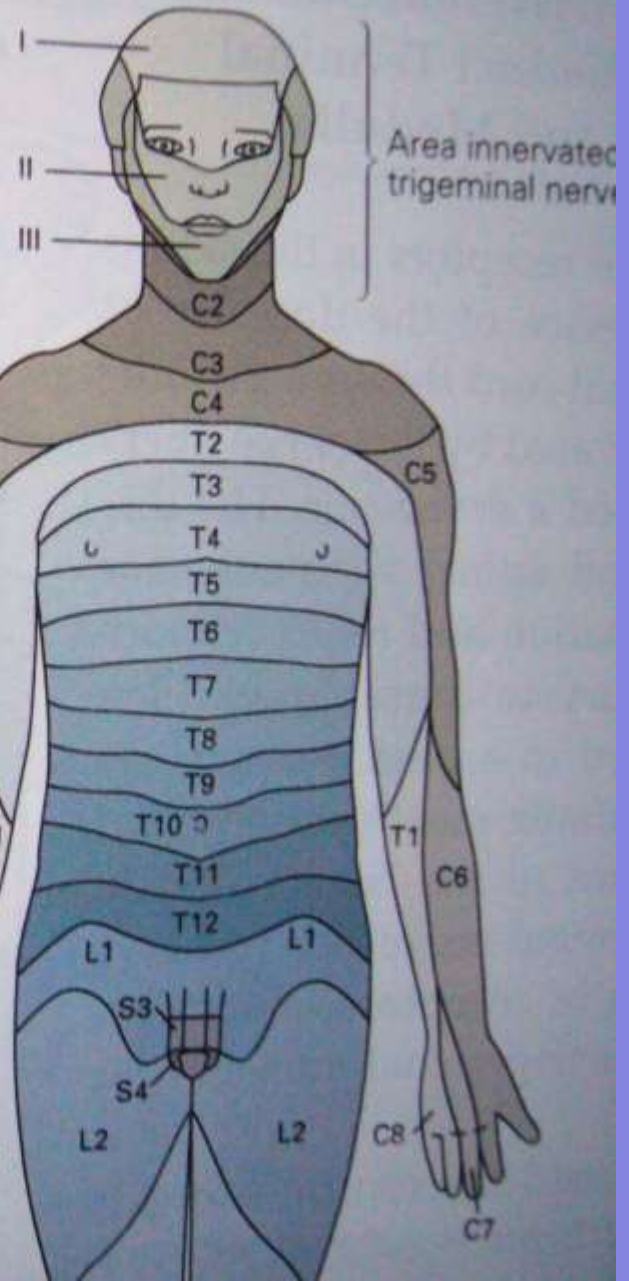
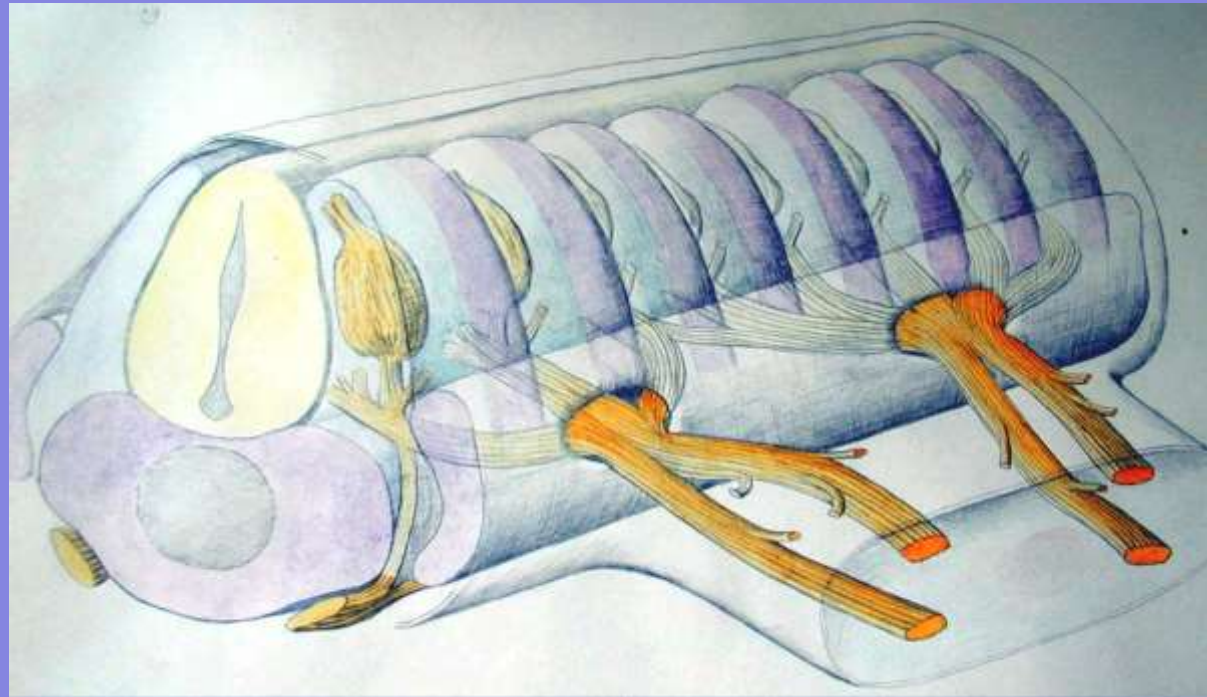
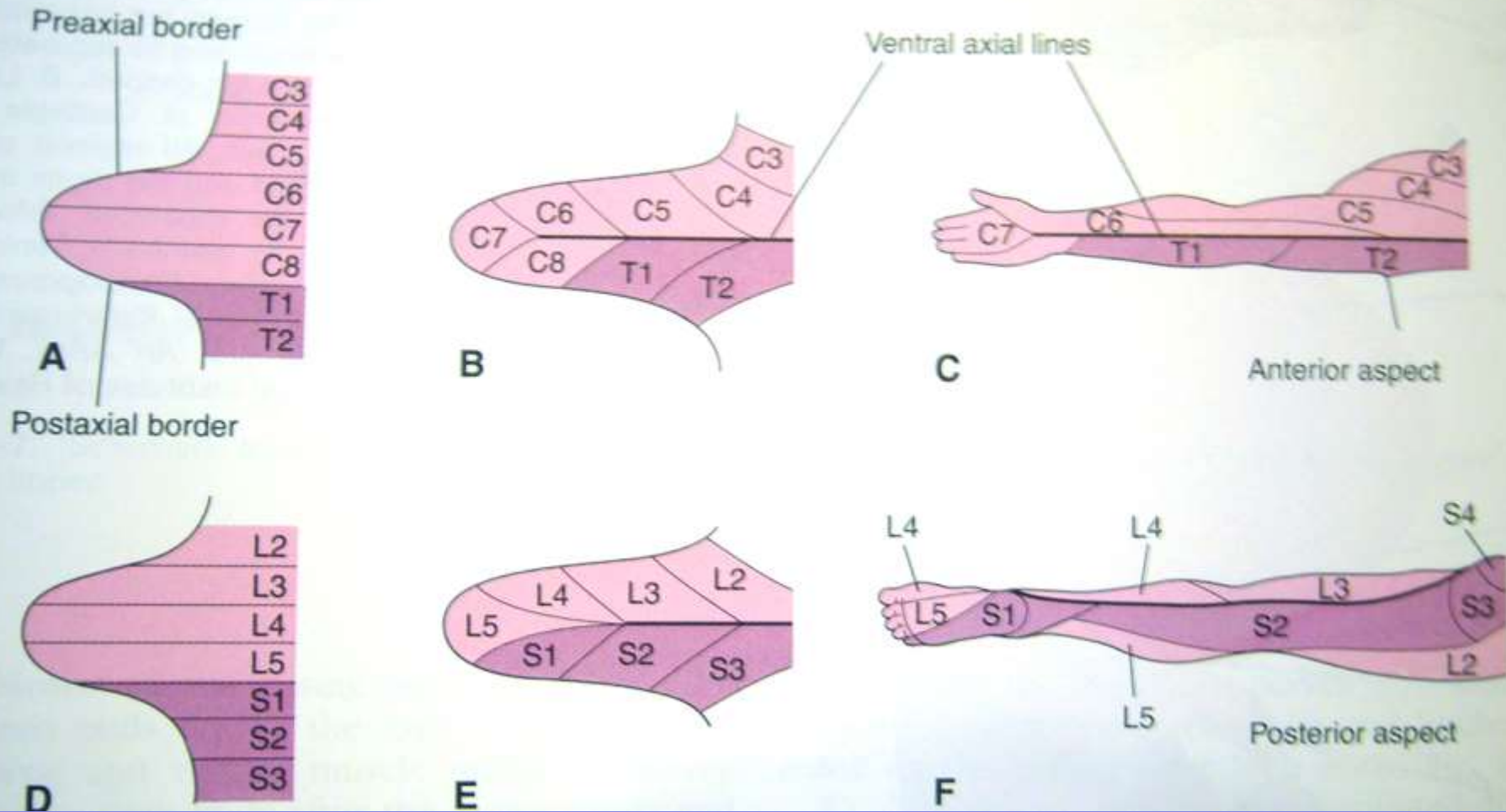


Diagram illustrating the human nervous system, showing the brain, spinal cord, and peripheral nerves. Labels include:

- Cerebrum
- Cerebellum
- Medulla oblongata
- Spinal cord
- Nerve roots
- Ganglia
- Cranial nerves
- Spinal nerves
- Autonomic nervous system



Development of segmental innervation of limbs

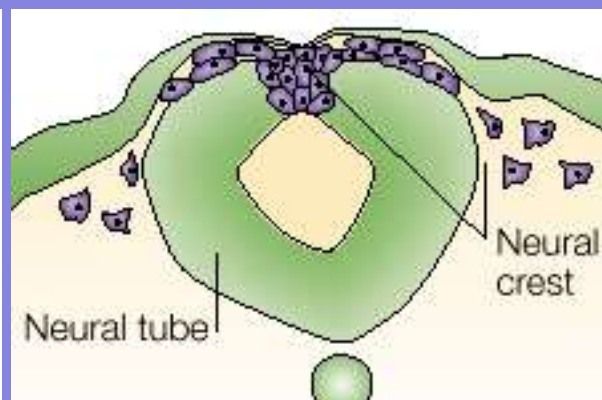
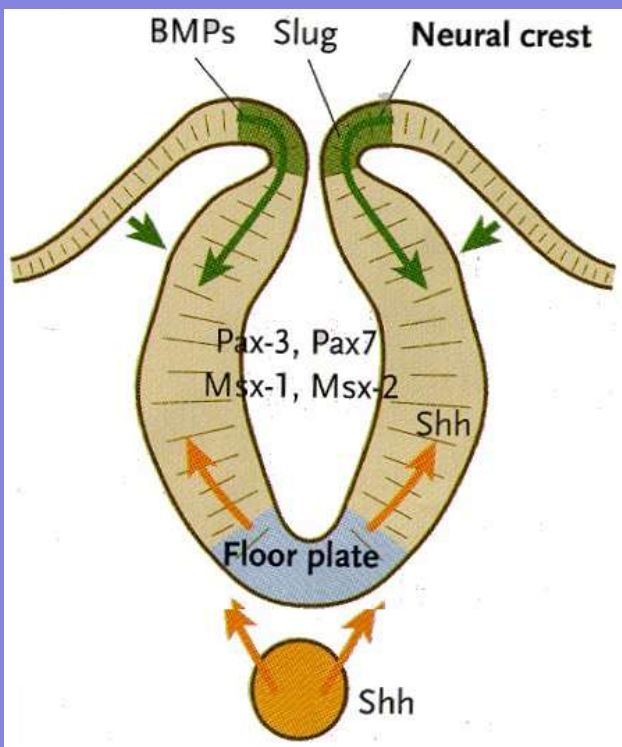
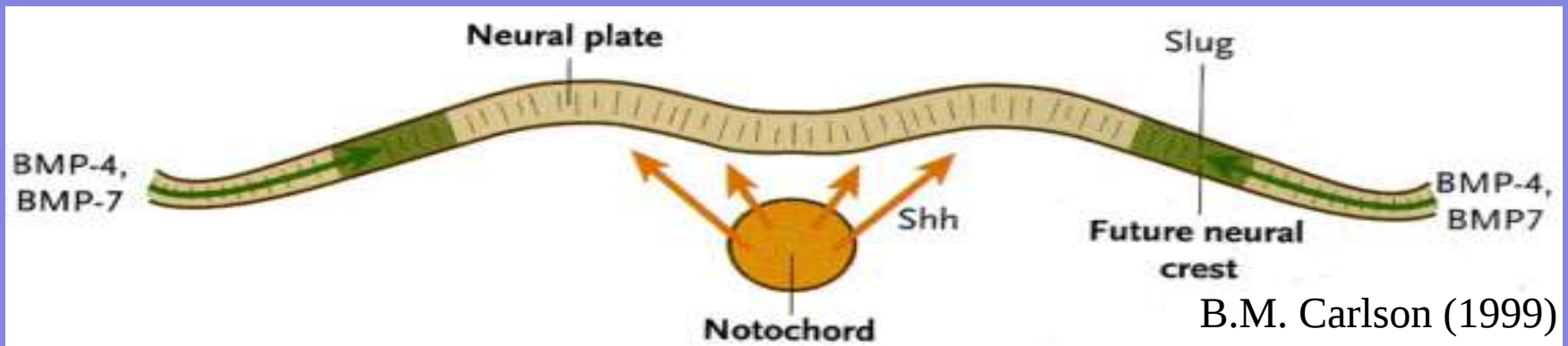


Tab. 12.11-1a Segmentale Innervation der Muskulatur der oberen Extremität

Muskel	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	T1	Nerv
M. trapezius									Zervikale Spinalnerven, N. dorsalis scapulae
M. levator scapulae									N. accessorius, Spinalnerven
Mm. rhomboidei									N. dorsalis scapulae
M. supraspinatus									N. suprascapularis
M. infraspinatus									N. suprascapularis
M. teres minor									N. axillaris
M. deltoideus									N. axillaris
M. biceps brachii									N. musculocutaneus
M. supinator									N. radialis
M. brachioradialis									N. radialis
M. subscapularis									Nn. subscapulares sup. et inf.
M. brachialis									N. musculocutaneus (N. radialis)
M. serratus anterior									N. thoracicus longus
M. coracobrachialis									N. musculocutaneus
M. pectoralis major									Nn. pectorales medialis et lateralis
M. extensor carpi radialis longus u. brevis									N. radialis
M. teres major									N. subscapularis, N. thoracodorsalis
M. pronator teres									N. medianus
M. pronator quadratus									N. medianus
M. flexor carpi radialis									N. medianus
M. pectoralis minor									Nn. pectorales medialis et lateralis
M. latissimus dorsi									N. thoracodorsalis
M. triceps brachii									N. radialis
M. extensor digitorum									N. radialis
M. abductor pollicis longus									N. radialis
M. extensor pollicis brevis									N. radialis
M. extensor digiti minimi									N. radialis
M. extensor carpi ulnaris									N. radialis
M. extensor pollicis longus									N. radialis
M. extensor indicis									N. radialis
M. flexor carpi ulnaris									N. ulnaris, selten N. medianus
M. palmaris longus									N. medianus
M. flexor digitorum superficialis									N. medianus (manchmal auch N. ulnaris)
M. flexor pollicis brevis									N. medianus und N. ulnaris
M. abductor pollicis brevis									N. medianus
M. flexor digitorum profundus									N. medianus und N. ulnaris
M. flexor pollicis longus									N. medianus
M. opponens pollicis									N. medianus
M. adductor pollicis									N. ulnaris
M. abductor digiti minimi									N. ulnaris
M. flexor digiti minimi brevis									N. ulnaris
M. opponens digiti minimi									N. ulnaris
Mm. interossei									N. ulnaris
Mm. lumbricales									N. medianus und N. ulnaris

Segmental
pattern
of muscle
innervation

Vývoj nervového systému - neurulace



Neurální trubice s
mozkovými váčky
Neurální lišta
Neurální plakody

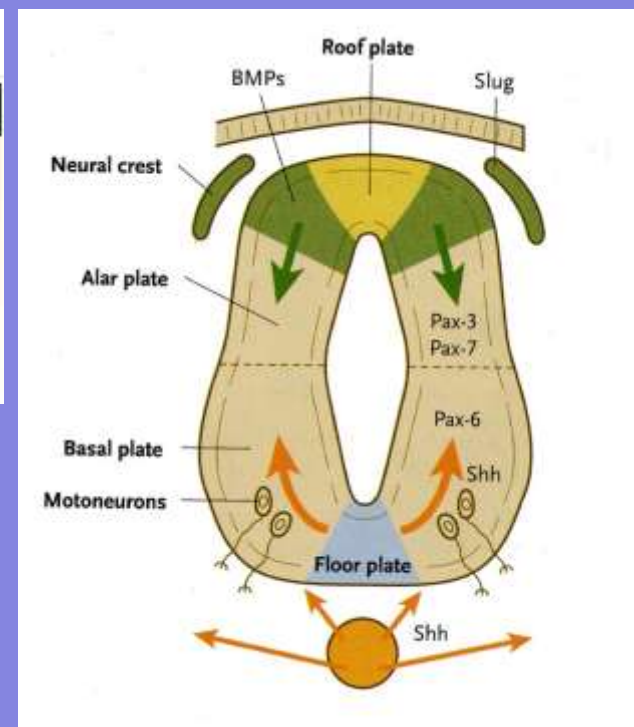


Schéma míšního nervu

Nervus spinalis

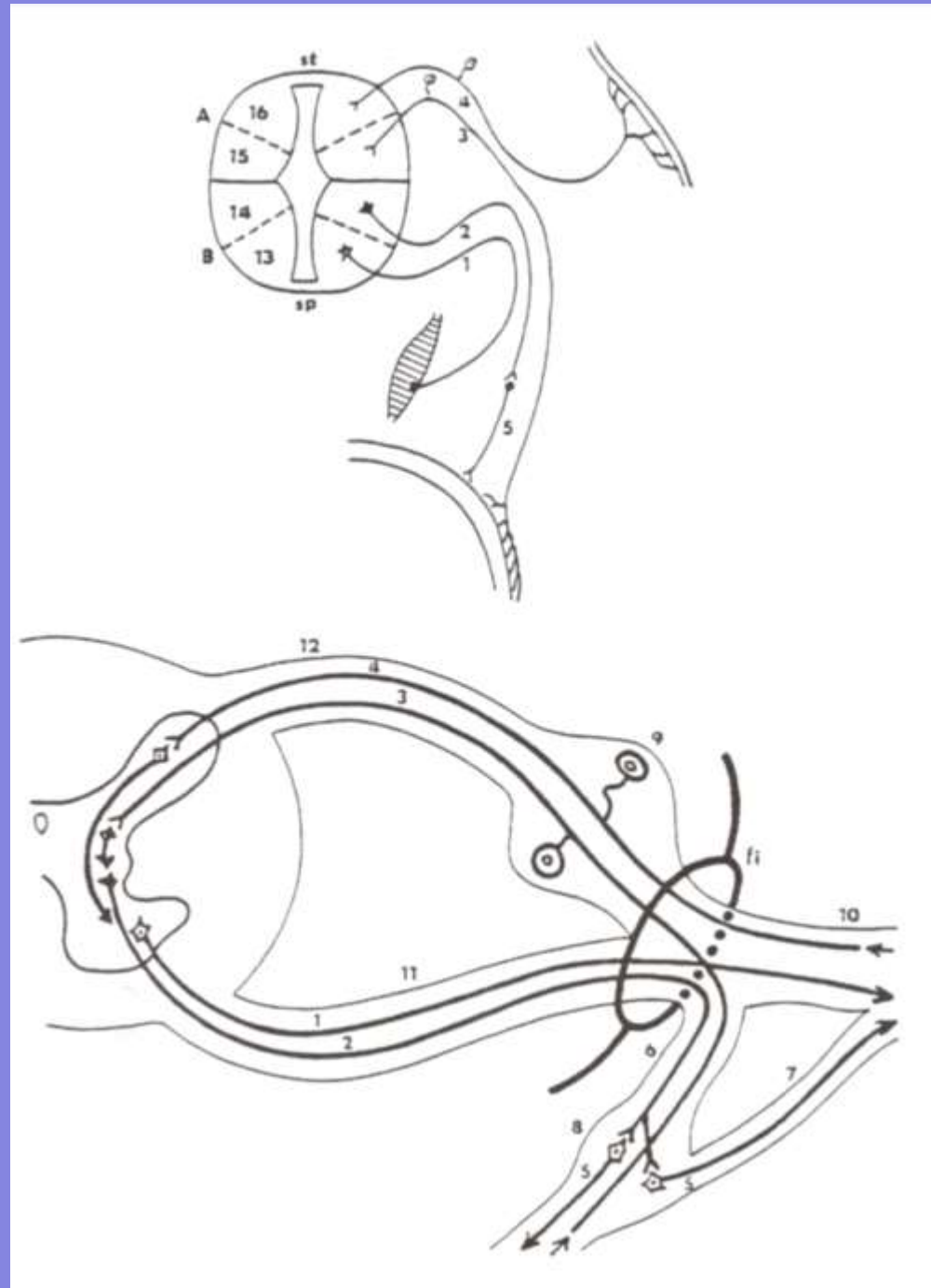
Radix anterior,
(radix motoria),

Radix posterior,
(radix sensoria)

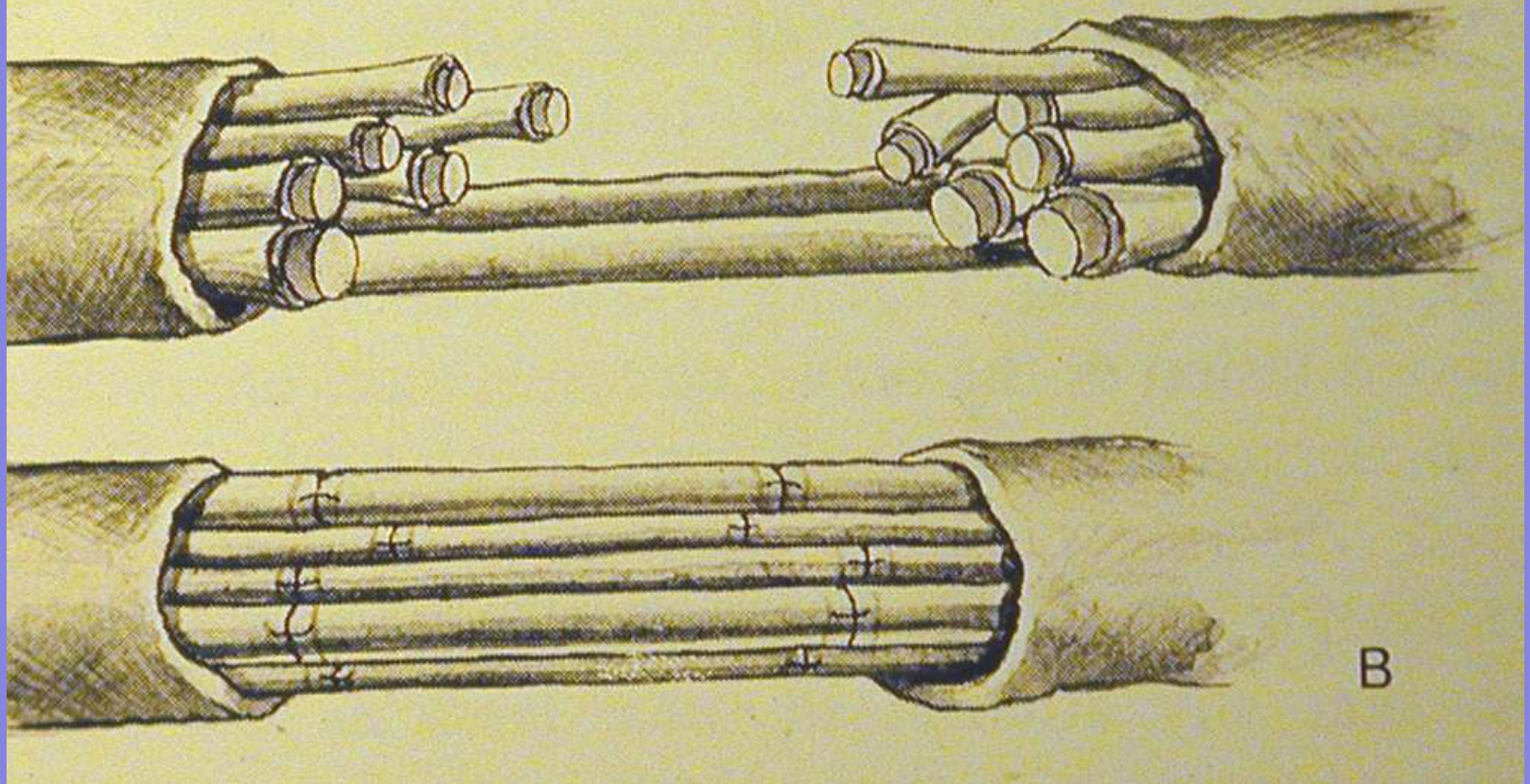
Ganglion nervi spinalis

Ramus anterior nervi
spinalis

Ramus posterior nervi
spinalis

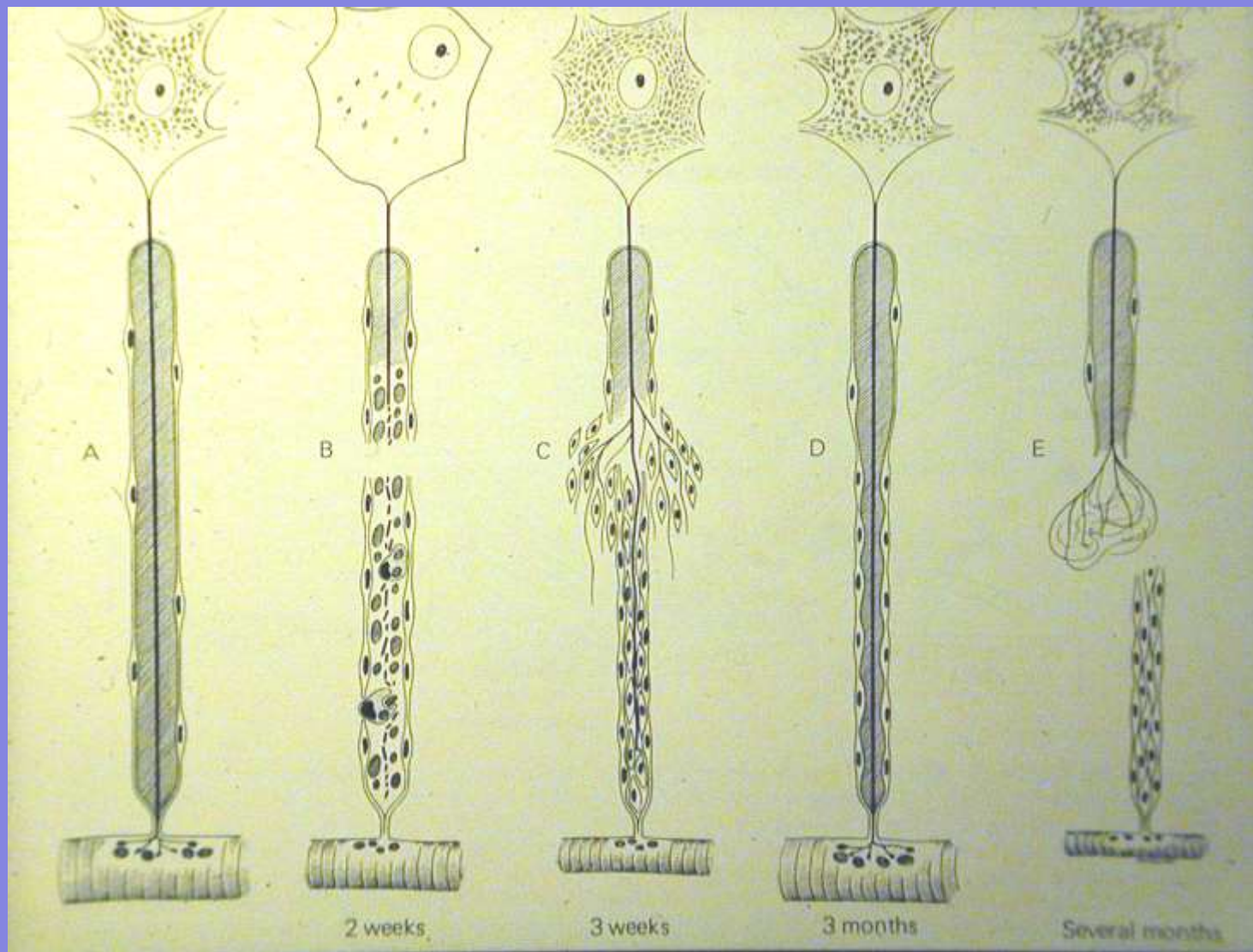


RECONSTRUCTIVE MICROSURGERY



Štěpy z fascikulů periferního nervu k překlenutí částečného defektu v periferním nervu, sutura perineuria

Regenerace přerušného axonu



Literatura a zdroje obrázků

Čihák: Anatomie I., 3. vydání Grada 2011

Gray's Anatomy, 38th Edition, Churchill Livingstone, 1995

Sobottův atlas anatomie člověka, Grada, 2007

Grim M, Naňka O, Helekal I: Atlas anatomie člověka I. II.
Grada 2014

Grim M, Druga R: Základy anatomie, 1. díl, Galén 2001, 5. díl,
2012

Benninghoff, Drenckhahn: Anatomie I., II. Urban, Fischer, 2003

Sadler T.W.: Langmanova lékařská embryologie, Grada 2011

Carlson BM: Human embryology and developmental biology

Lüllmann-Rauch R.: Histologie, Grada 2012

Publikace v uvedených vědeckých časopisech

Obrázky, u kterých není uveden zdroj, pocházejí z archivu
autora

Doporučená literatura

Obečná myologie

(R. Čihák : Anatomie 1, (3. vydání) str. 349- 359

Lullmann-Rauch R: Histologie, Grada 2012

str.186 – 198

Původ a vývoj svalů, molekulární mechanismy

(R. Čihák : Anatomie 1, (3. vydání) str. 47 – 56 a str. 359 – 366,

Langman str. 165 - 171)



Pozor na atrofii svalů z inaktivity