



Obecná kineziologie axiálního systému

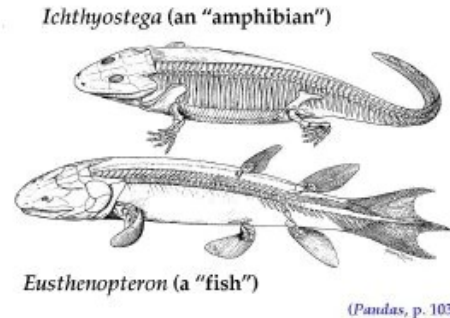
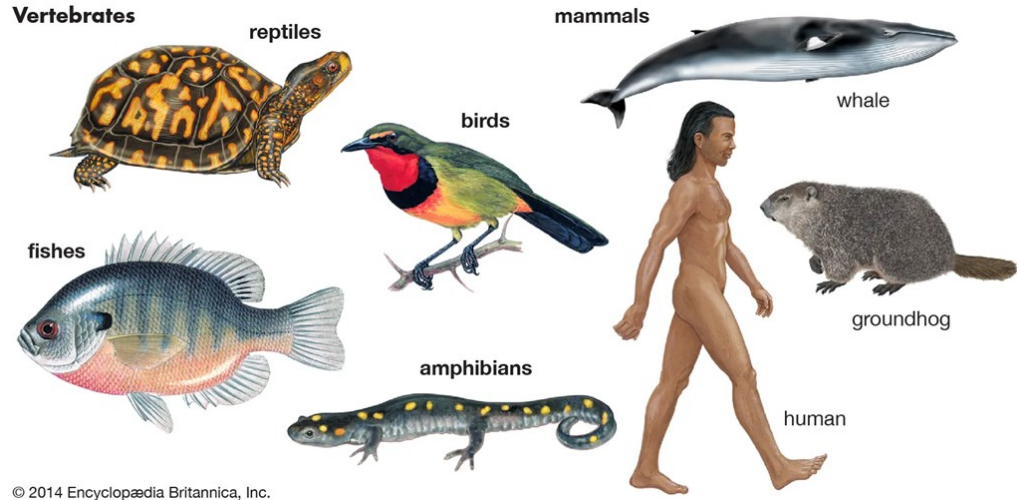
bp1197 Klinická kineziologie III

Mgr. Zuzana Kršáková

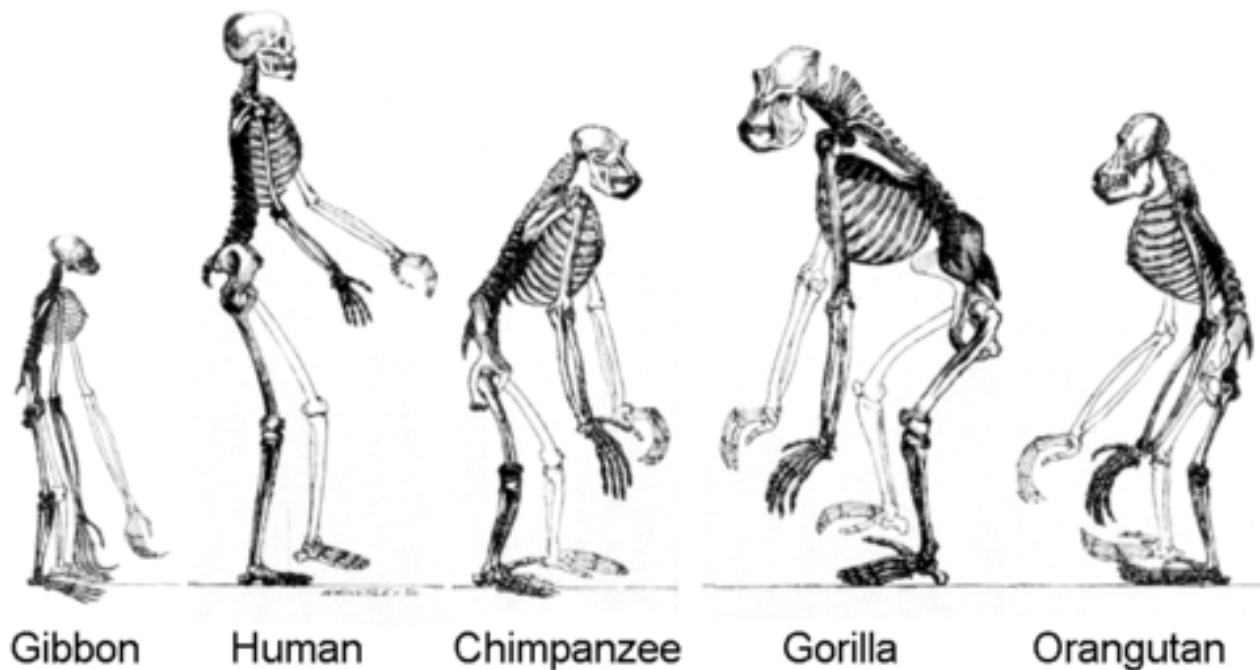


Všeobecný přehled

- Výsledek transformace
- Ztráta ocasu
- Přejchod z kvadrupedální lokomoce na bipedální
- subphylum Vertebrata, crossopterygiáni
- Podobnost hominidům (přechodně bipedální)

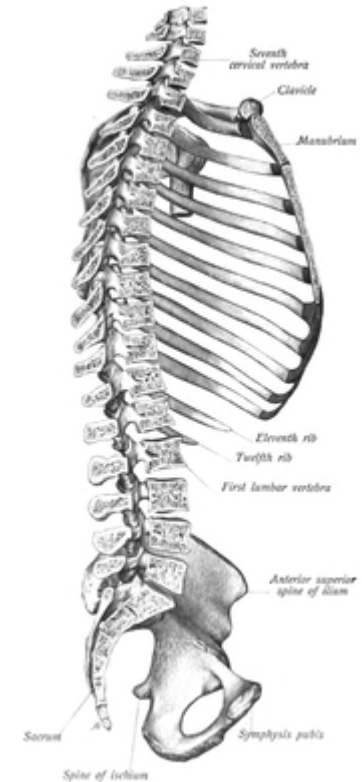


Všeobecný přehled



Funkce axiálního systému

- Ochrana nervových struktur
- Opěrná funkce
- Určení směru a rozsahu pohybu
- Proprioceptivní funkce



Funkce axiálního systému

- Páteř plní dvě vzájemně protichůdné funkce - zabezpečuje stabilitu, ale zároveň i mobilitu těla.
- Při symetrickém stoji je napětí rovnoměrně rozloženo podél vertikální osy/linie páteře, která má rovný tvar.
- Při asymetrickém stoji (např. stoj na 1 noze), je pánev nakloněna na kontralaterální stranu (křivka bederní je konvexní, hrudní konkávní a krční konvexní na stranu švihové nohy).



Spiral Line



Arm Line



Superficial Front Line



Deep Front Line

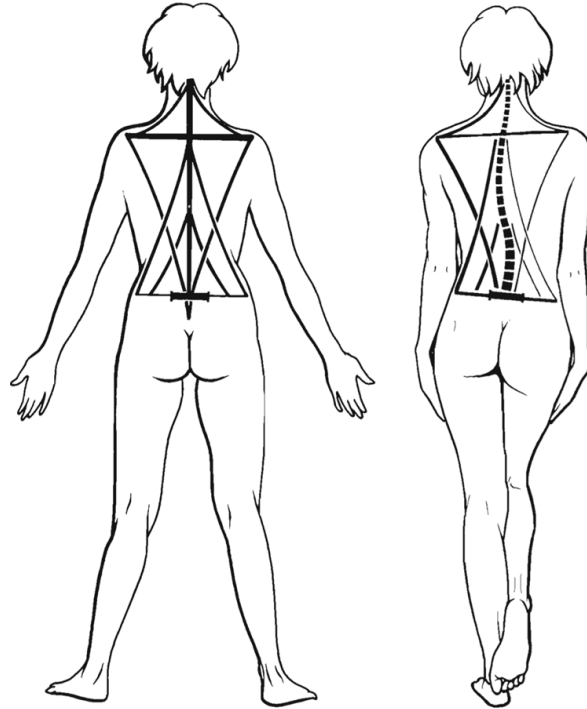


Lateral Line



Superficial Back Line

Funkce axiálního systému



1

2

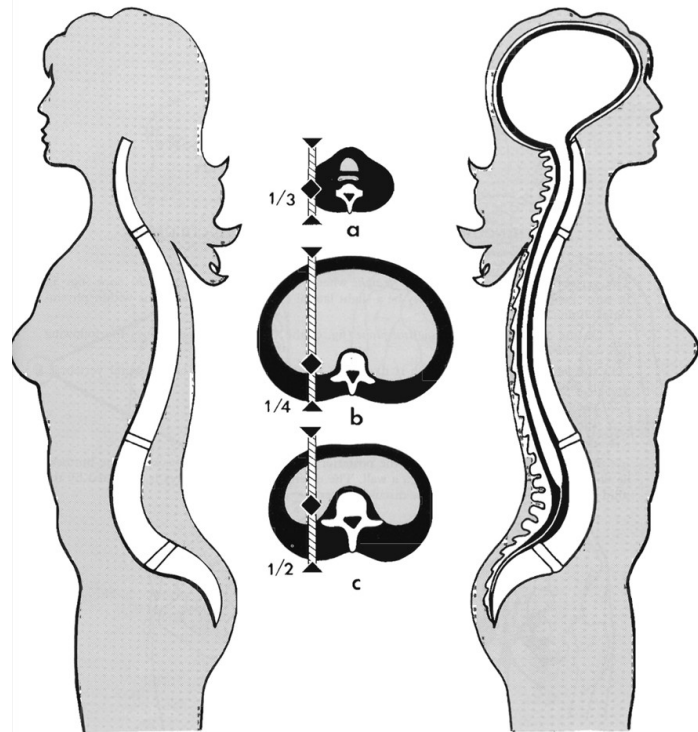
Funkce axiálního systému

- Během asymetrického stoje (Trendelenburgův stoj), se svalstvo axiálního skeletu automaticky **adaptuje** tak, aby byla zabezpečena stabilita/rovnováha celého těla.
- Tato adaptace probíhá pod vedením **spinálních reflexů** a neustálého aktivního “přenastavování” systému pod kontrolou **extrapyramidového systému**.
- Tvar páteře je tedy proměnlivý, přičemž si ale páteř udržuje svojí pevnost.

Orientace částí AS

- Páteř tvoří centrální pilíř trupu.
- Oblast krční páteře je uložena **centrálně** (zhruba $\frac{1}{3}$ v hloubce krku), z důvodu nutnosti uložení co nejbližší těžišti).
- Oblast hrudní páteře směřuje **posteriozně** (zhruba $\frac{1}{4}$ v hloubce hrudníku, orgány mediastina - srdce).
- Oblast bederní páteře, která musí “držet” váhu horní části trupu, je uložena centrálně a přesahuje do břišní dutiny.
- Oblast křížová je formována sloučením 5 sakrálních obratlů.
- Oblast kostrče artikuluje se sakrem a je pozůstatkem ocasu. Je formována sloučením 4-6 kostrčových obratlů.

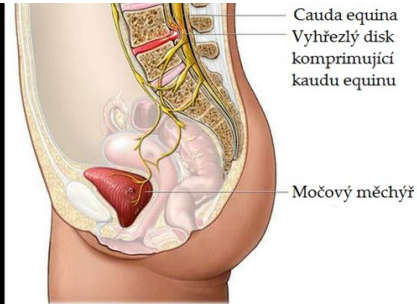
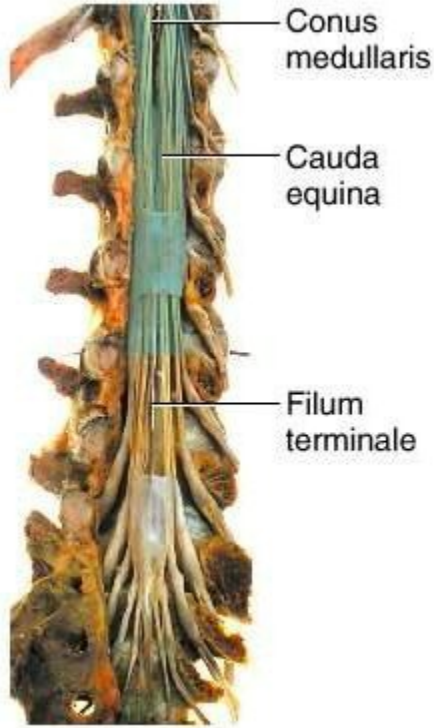
Orientace částí AS



Ochránce “Neuraxis”

- Pátevní kanál začíná ve foramen magnum.
- Pod L2 obratlem se nachází tzv. **conus medullaris** - koncová část míchy.
- Mícha je v koncových částech orientována některými vlákny diagonálně - **cauda equina** (nervové kořeny distální části míchy, uspořádané v durálním vaku do tvaru koňského ocasu).
- Pia mater obklopující míchu formuje tzv. **filum terminale**, které propojuje conus medullaris s kostrčí a tím zabezpečuje stabilizaci celé míchy.

Ochránce “Neuraxis”



Syndrom kaudy equiny

- 1 - Conus medullaris
- 2 - Filum terminale
- 3 - Cauda equina



Zakřivení páteře

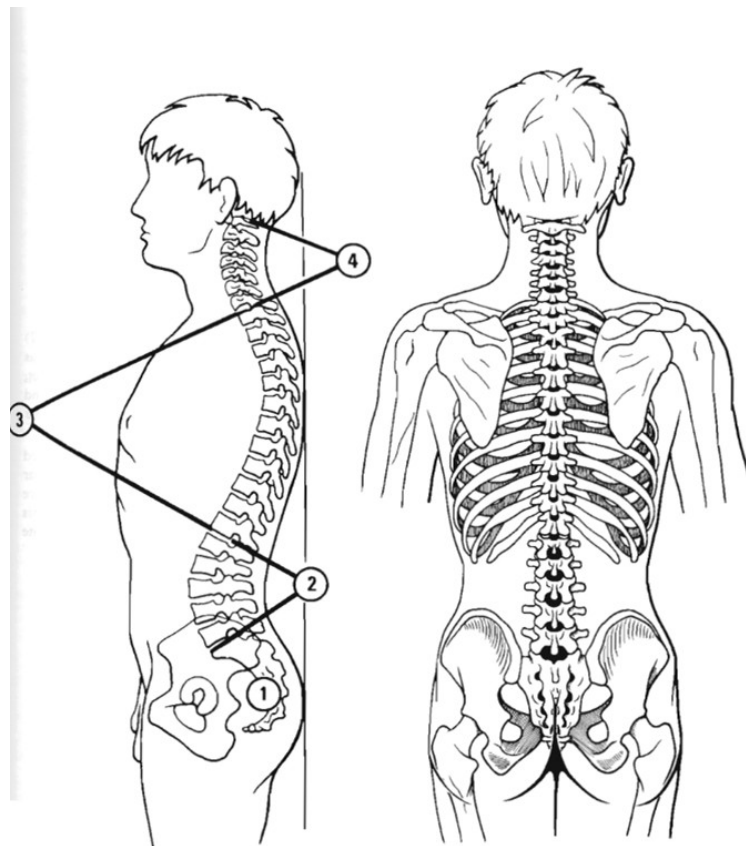
F rovina

- Horizontální a paralelní postavení linie ramen a fossy os sacrum).

S rovina:

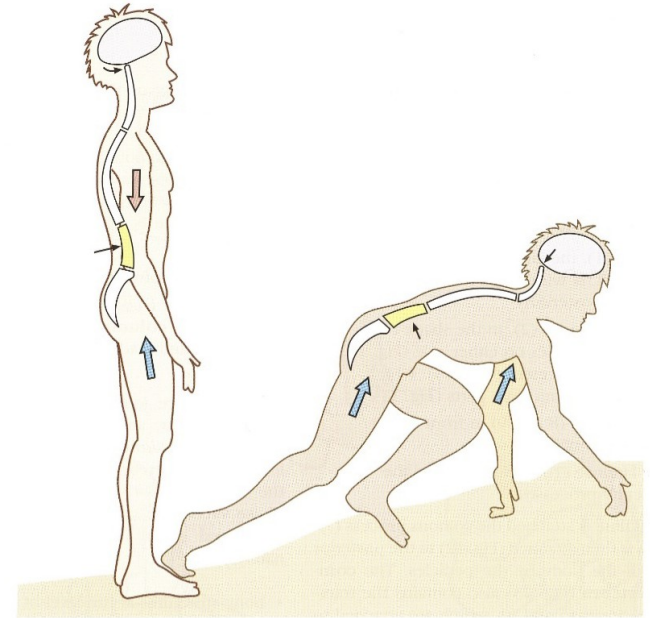
- Sakrální křivka je A konkávní
- Bederní křivka je P konkávní
- Hrudní křivka A konkávní
- Krční křivka P konkávní (přímoúměrně stupni hrudní kyfózy)

Zakřivení páteře



Sagitální zakřivení ve fylogenezi

- “*Od prehominidis k homo sapiens*”
- U novorozence jediná lordóza C páteř-paraalela (5M,13M,3R,8R,10R)
- Přechod z kvadrupedu do bipedálního stavu (DKK komprese, HKK elongace)
- SI skloubení (krokový cyklus - komprese - loading response - mid- stance)
- 1. vyrovnání, 2. inverze bederního zakřivení z A konkávní, k P konkávní (bederní lordóza)
- Posun Cp A pod cranium



Sagitální zakřivení v ontogenezi

- “Ontogeneze rekapituluje fylogenezi”.
- https://www.youtube.com/watch?v=sJw0hhi78Yw&ab_channel=Corporis

Figure 7

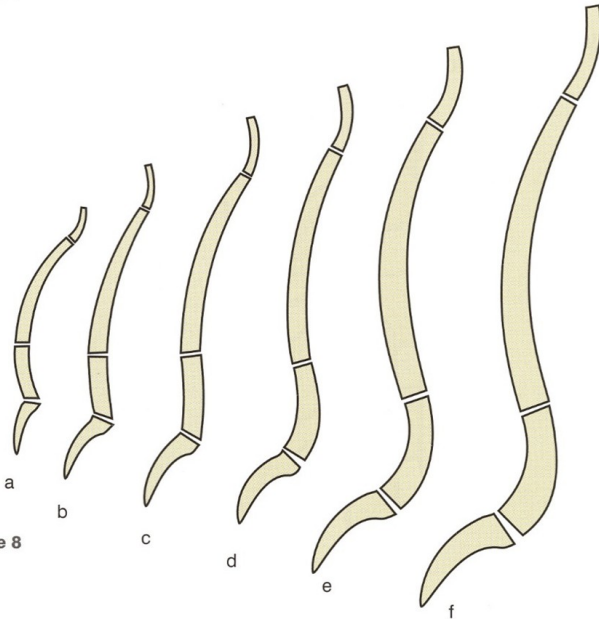
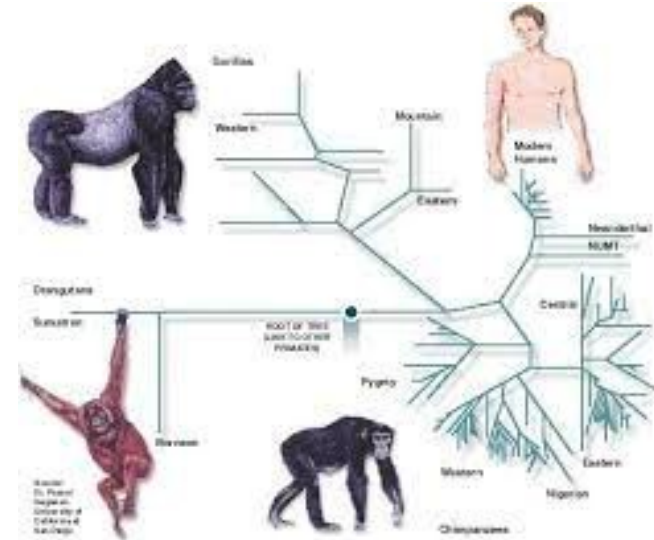


Figure 8

- A. 0 dní
- B. 5 měsíců
- C. 13 měsíců
- D. 3 roky
- E. 8 roků
- F. 10 roků



Opěrná funkce obratlů

- Cylindrické tělo, oblouk, processi articulares, processus spinosus

Processi articulares rozdělují vertikálně oblouk obratle na:

- A - pedikly
- P - laminae

V sagitální rovině všechny tyto části na sebe anatomicky navazují. Celá páteř je tedy tvořena 3 sloupci:

- **(A) Primární sloupec** tvořený z obratlů uložených na sobě navzájem (propojení intervertebrální disky).
- **(B,C) Menší, sekundární sloupce** orientovaných posteriorně a tvořených z processu articulares uložených na sobě navzájem (propojení synoviálními klouby).
- Mezi těmito sloupci se nachází spinální kanál, který je chráněn jak kostními, tak fibrózními strukturami mezi obratly (intervertebrální disky a ligamenta).

Opěrná funkce obratlů

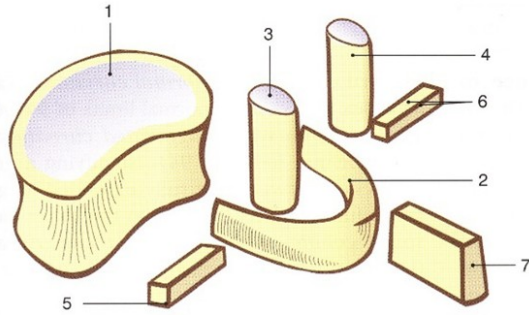


Figure 9

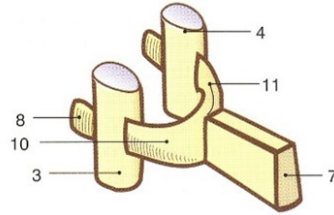


Figure 11

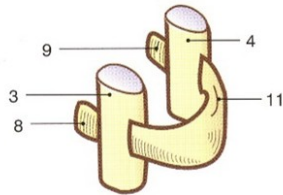
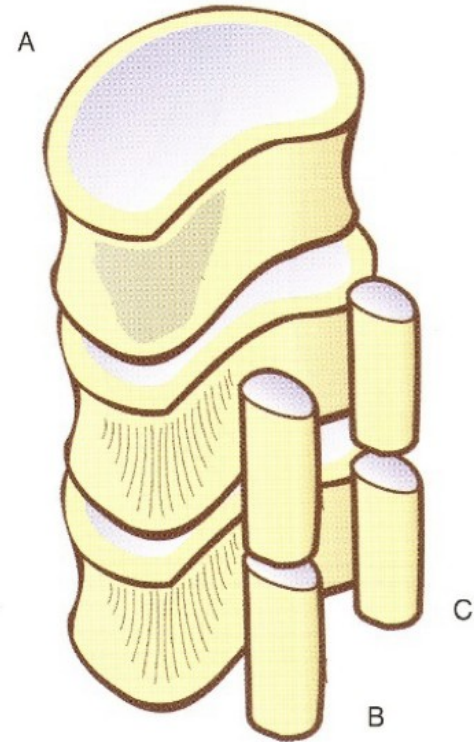
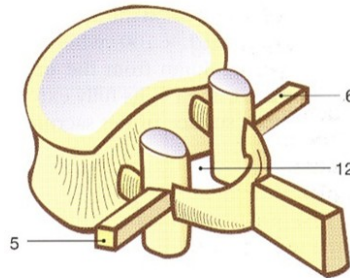
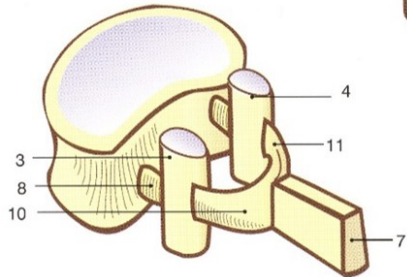


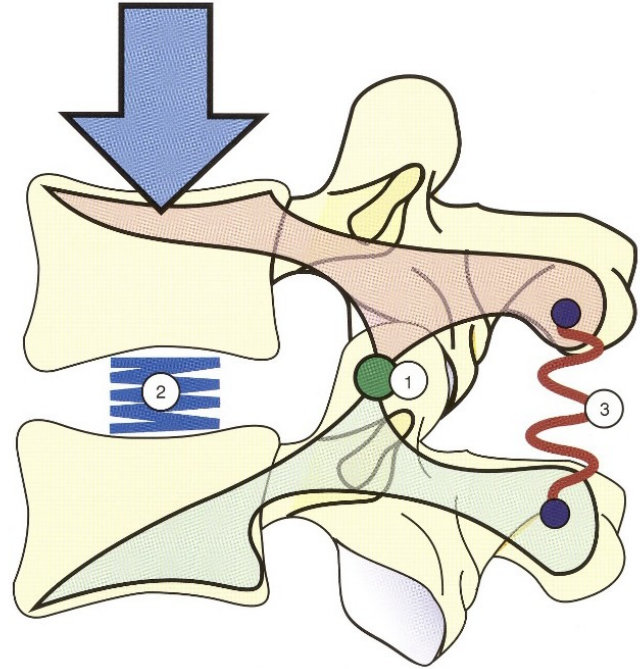
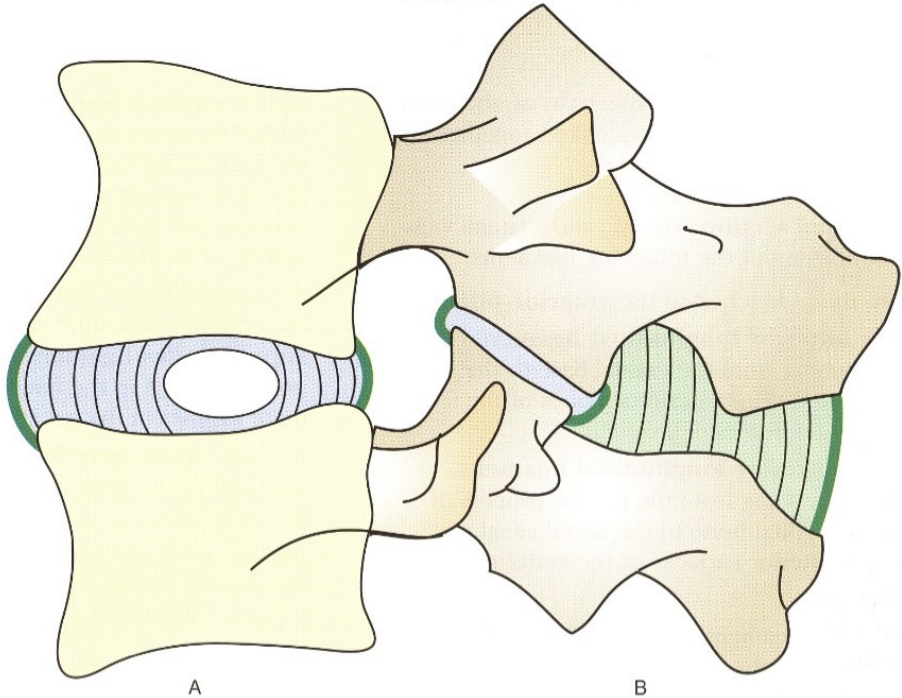
Figure 10



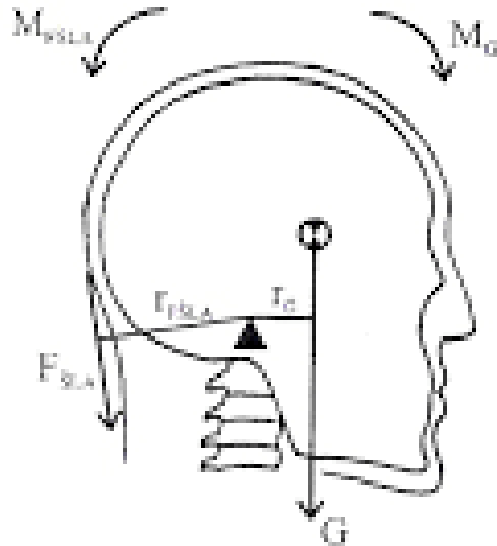
Mechanická funkce segmentárních komponent

- Přední pilíř zajišťuje stabilitu, zadní pilíř mobilitu páteře.
- Kostní a ligamentózní struktury se střídají a formují tak **pasivní segment** (tělo obratle) a **aktivní segment** (intervertebrální disk, foramen intervertebrale, facetové klouby, ligamentum flavum a interspinózní ligamenta).
- Mobilita aktivního segmentu odpovídá za pohyby celé páteře.
- Funkčním spojením mezi A a P pilíře jsou pedikly.
- **Páka 1. druhu (dvojzvratná páka rovnováhy)** - axiální kompresní síly jsou tlumeny pasivně a přímo intervertebrálními disky, aktivně a nepřímo paravertebrálními svaly.

Mechanická funkce segmentárních komponent



Mechanická funkce segmentárních komponent



$F_{S_{LA}}$ – šlachová síla šíjového svalstva

G – tíhová síla hlavy

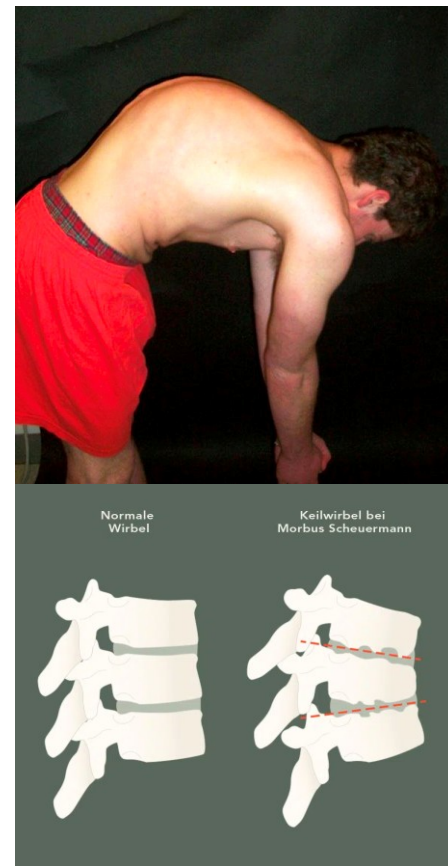
$r_{S_{LA}}, r_G$ – ramena působících sil

$M_{S_{LA}}, M_G$ – momenty působících sil

Obr. 84 Příklad dvojzvrtné páky (I. druhu)

Anizotropie

- Tělo obratle je tvořeno hustou kostní hmotou “*cortexem*” obalujícím spongiózní medullu (dřeň).
- Superiorní a inferiorní části (intervertebrální a diskální) tvoří *vertebrální plató (plateau)* a centrálně obsahují chrupavčitou ploténku.
- Okraj těla obratle tvoří jakési ztluštění - okraj (z epifyzární ploténky) - kolem 14.-15. roku života splyne s diskálním povrchem.
- Abnormální osifikace tohoto chrupavčitého okraje (genetická porucha enchondrální osifikace), vede k rozvoji onemocnění *Morbus Scheuermann*.



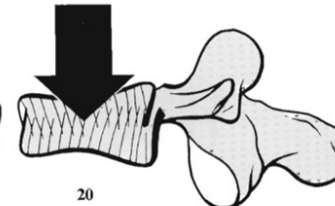
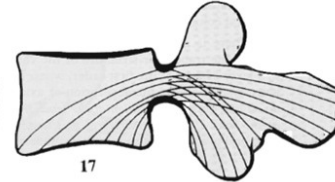
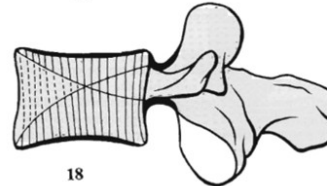
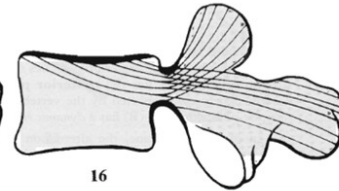
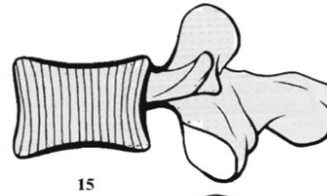
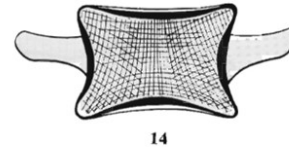
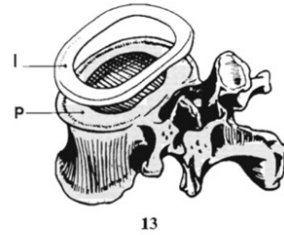
Anizotropie

- **Lat. povrch obratle** - kortikální (kompaktní) kostní hmota
- **S a I povrch obratle** - chrupavčitá (kartilaginózní) hmota
- **Centrum obratlového těla** - spongiózní (trabekulární)

Trabekuly obratlového těla jsou uspořádány ve směru působících sil:

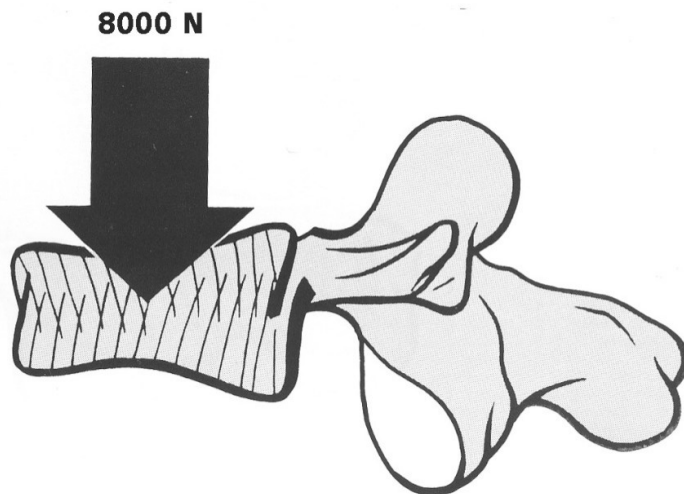
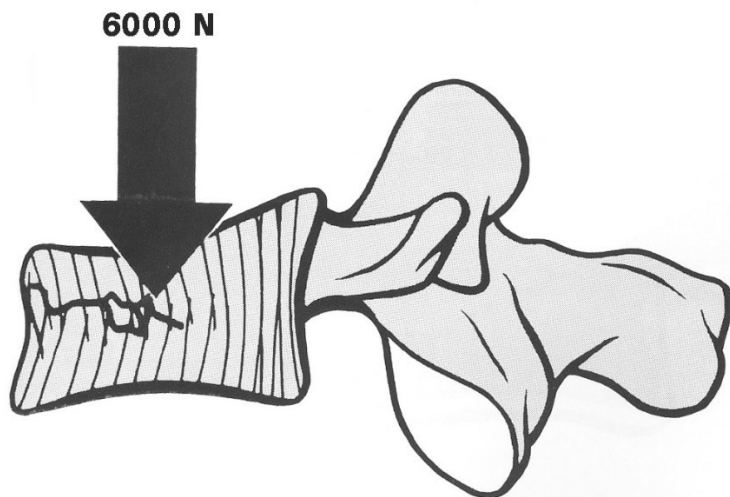
- **vertikálně** (S a I povrchy)
- **horizontálně** (L povrchy)
- **šikmo** (S, I a L povrchy - pedikly a processus spinosus)
- Křížení trabekulárních linií vytváří zóny **silného a slabšího odporu** (**trojúhelník A okraj těla - vertikální trabekuly**) vůči působícím silám - **klínovitá zlomenina obratle**.

Anizotropie



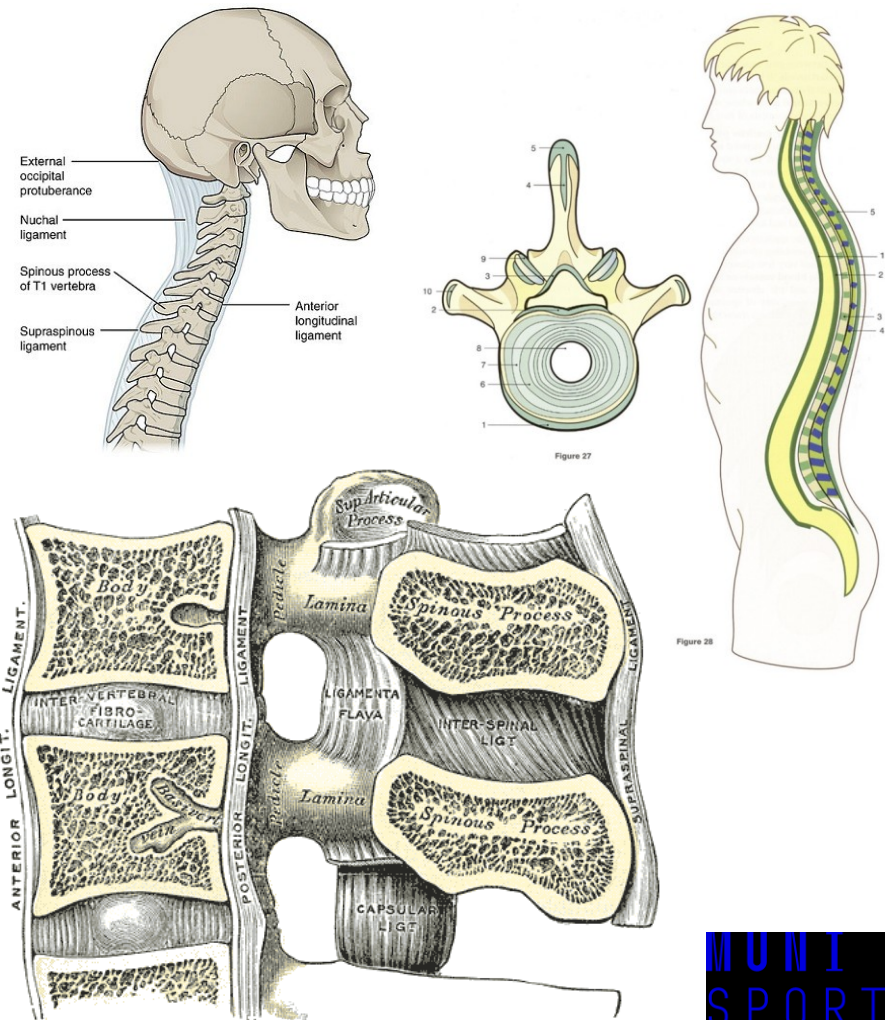
Anizotropie

- Při kritickém tlakovém zatížení jako poslední kolabuje zadní část obratlového těla (spinální léze).



Pasivní stabilita segmentu

- **Pasivní stabilita pohybových segmentů** je dále podpořena ligamentózním aparátem zahrnujícím ligamentum longitudinale anterius, ligamentum longitudinale posterius, ligamenta flava, ligamenta interspinalia a ligamenta intertransversaria.

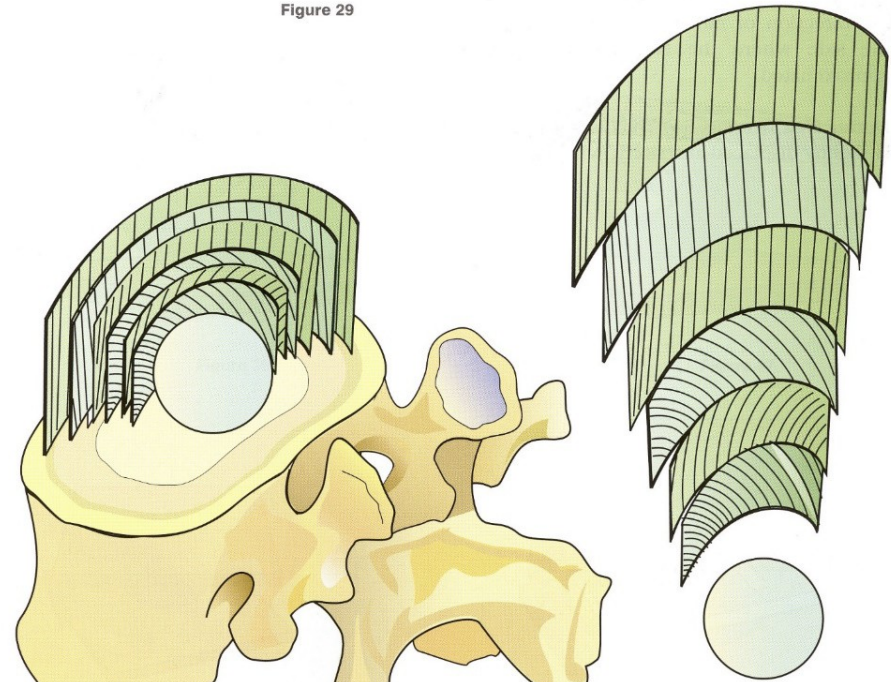
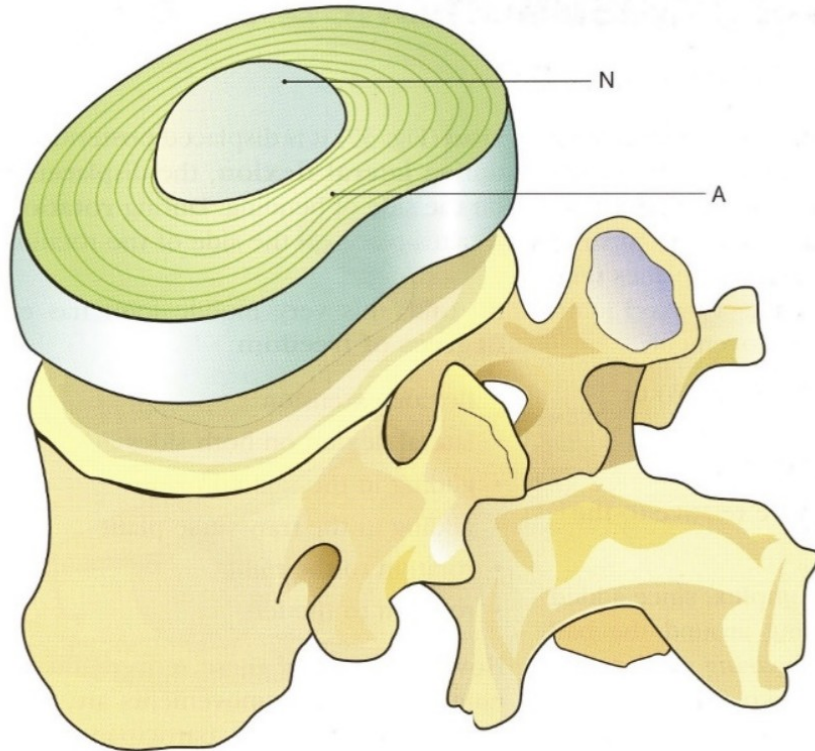


Intervertebrální disk

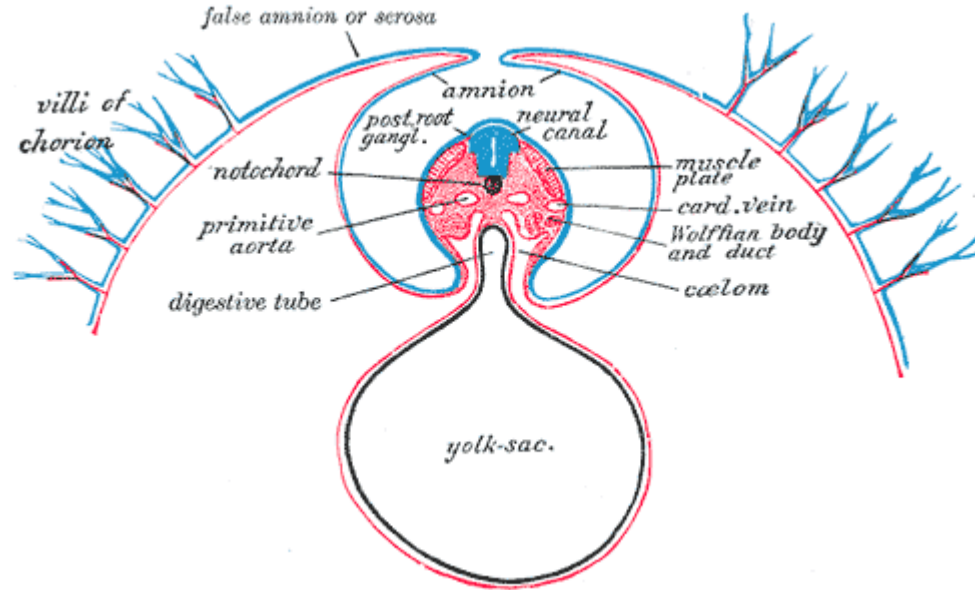
- Intervertebrální disk je tvořen tekutým **nucleus pulposus** uzavřeném v pevném **anulus fibrosus**.
- Struktura uspořádání kolagenních vláken se v jednotlivých vrstvách anulus fibrosus liší. V nejhlubší vrstvě je uspořádání kolagenních vláken šikmé a má nejbližší k rovině **transverzální**.
- Uspořádání kolagenních vláken anulus fibrosus povrchové vrstvy je především **kraniokaudální**.
- Nejrizikovější způsob zatížení vnitřní vrstvy anulus fibrosus je tedy **rotace kombinovaná s flexií (ante, retro, latero) a kompresí**.

Intervertebrální disk

Figure 29

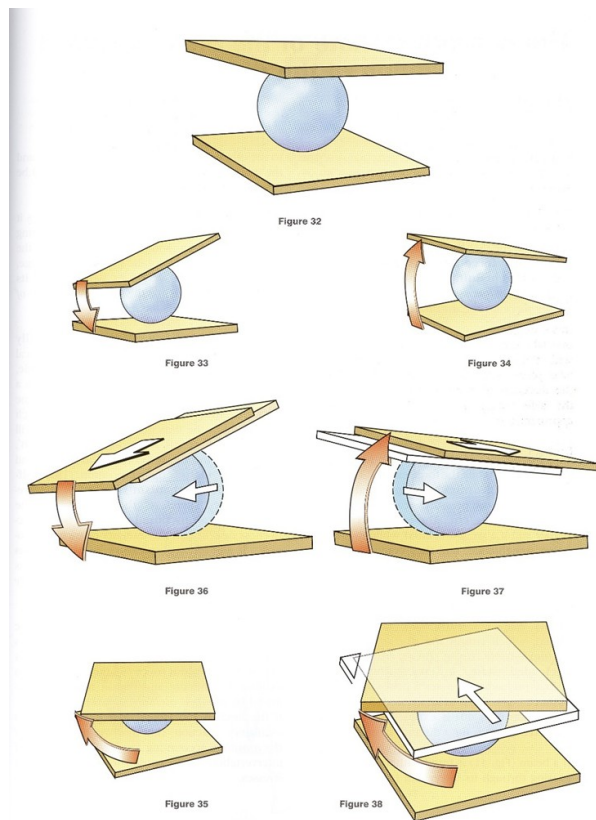


Intervertebrální disk



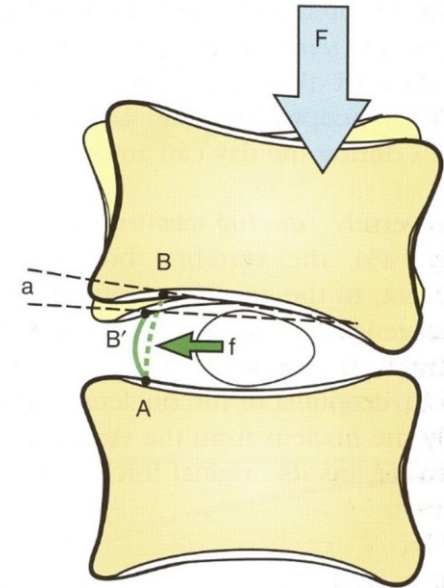
Deformace nucleus pulposus

- Význam nucleus pulposus spočívá kromě jeho schopnosti **absorbce nárazů** také ve schopnosti měnit tvar a tím umožnit větší rozsah pohybu i při současném plnění **nosné funkce**.
- Pohyb nucleus pulposus směrem vzad je kritický, protože může způsobit útlak nervových struktur v páteřním kanále.
- Současně s **flexí** dochází k migraci nucleus pulposus do otevírajícího se prostoru. V případě **lateroflexe vpravo** se otevírá prostor mezi krycími plochami obratlových těl vlevo a stejným směrem se posouvá i nucleus pulposus. V případě **anteflexe** bude nucleus pulposus migrovat směrem vzad. V případě **retroflexe** bude nucleus pulposus migrovat směrem vpřed.



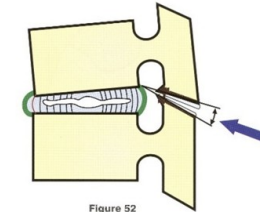
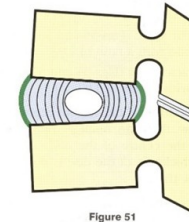
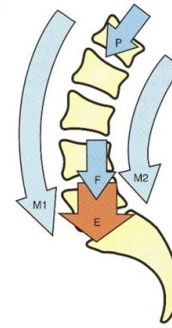
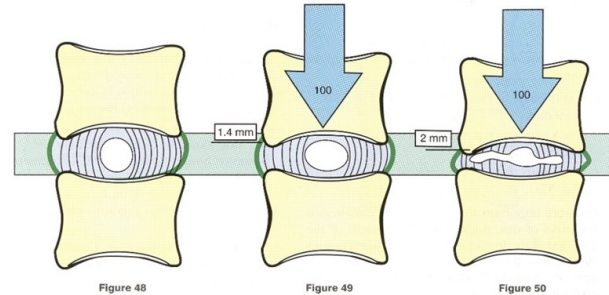
Stabilizační mechanismus intervertebrál. disku

- V případě komprese dojde k **oploštění nucleus pulposus**. Rozsah jeho migrace bude omezen **napětím v anulus fibrosus**.
- Pokud se tedy například při anteflexi otevírá prostor pro migraci nucleus pulposus vzadu, potom rozsah této migrace limituje zvýšené napětí **anulus fibrosus zadní části**, který se více napíná a tím **tlačí nucleus pulposus zpět do středního postavení**.



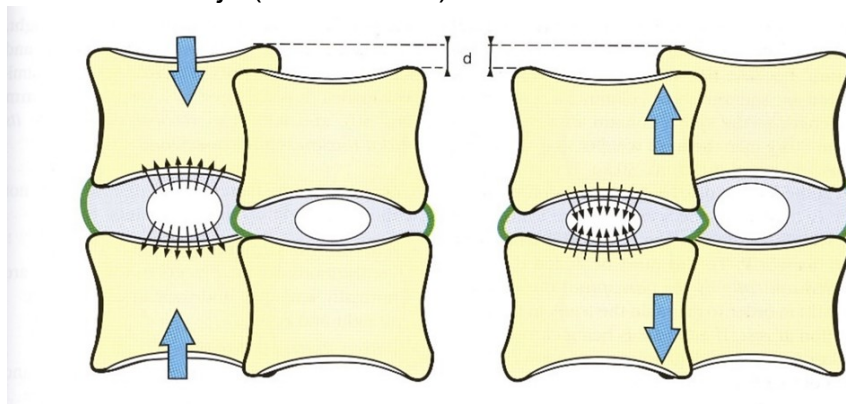
Stabilizační mechanismus intervertebrál. disku

- V případě poškození vnitřní části anulus fibrosus dochází k **poškození této funkce**. Nucleus pulposus má menší výšku a propaguje více do stran. Výsledkem je změna vzájemného postavení kloubních výběžků vedoucí ke změně dynamiky pohybového segmentu a reaktivní kloubní artróze.



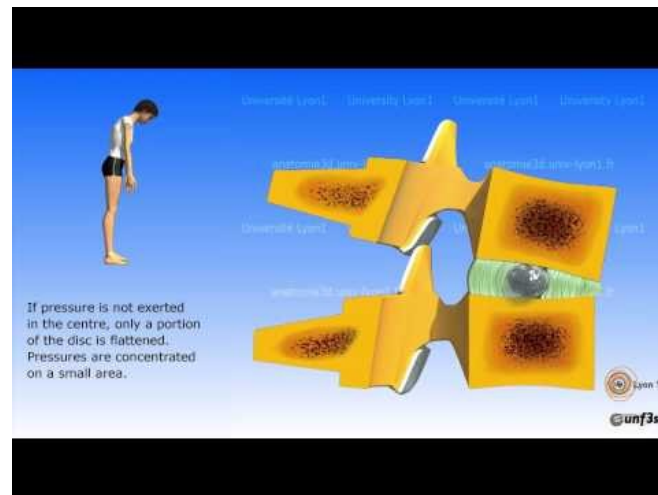
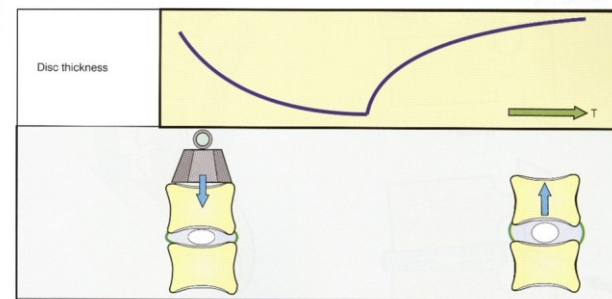
Hydratace

- Vliv na výšku meziobratlové ploténky má i **hydratace**. Ta se v souvislosti s tlakovým zatížením v průběhu dne **snižuje**. Ke zpětné resorpci vody do nucleus pulposus dochází při správné celkové hydrataci organismu v průběhu odpočinku, respektive při **snížení kompresního zatížení disku v horizontální poloze**, to je v leže.
- Páteř je o 300% tužší při flexi brzo ráno v porovnání během dalšího dne.
- Je to způsobeno absorbováním vody platničkou počas noci (Adams 1987).
- Rozsah pohybu do flexe se v průběhu dne zvětšuje (Ensink 1996).



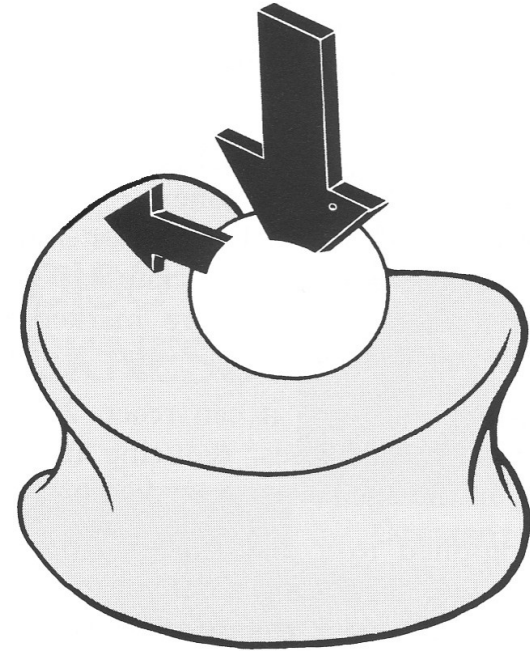
Hydratace

- **Hydratace dehydratace a rehydratace disku** neprobíhá lineárně, ale je intenzivnější na svém začátku.
- **Migrace vody** z meziobratlové ploténky do sousední kostní tkáně obratlového těla přispívá k tlumení nárazů při pohybu. Tato funkce je významnější při správné hydrataci disku a klesá s jeho dehydratací v průběhu aktivního dne.



Axial pressure loading $A/N= 1/3$

- Mechanický model vyjadřuje poměr kompresního zatížení anulus fibrosus a nucleus pulposus. Nucleus pulposus přináší dvě třetiny tlakového zatížení ve srovnání s anulus fibrosus, který přednáší pouze jednu třetinu.
- Hodnoty níže vyjadřují míru zátěže disku při ideálním statickém osovém zatížení jedince s vahou cca 55 kg.
- **L5-S1 (axial loading) 280 N, 16 kg.cm⁻²**
- **L5-S1 (trunk FL) 870 N, 58 kg.cm⁻²**
- **L5-S1 (trunk EXT from FL) 1740 N, 107 kg.cm⁻²**



Symetrické zatížení - Tělo / disk / obratle

- Těla obratlů se oddalují
- Výška disků se zvyšuje, šířka se snižuje
- Napětí v annulus fibrosus roste
- Diskus je více sférický
- Intradiskální tlak se snižuje
- Nucleus pulposus se navrací do svého obalu
- Jedna z 1. metod volby u diskopatií



Symetrické zatížení - Komprese

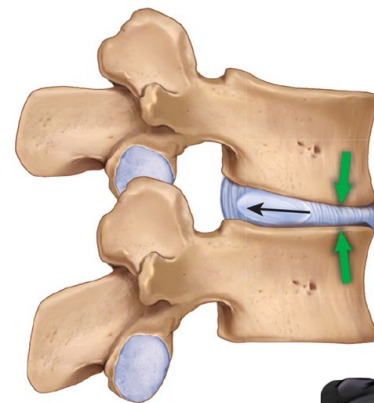
- Discus je oploštělý a rozšířený
- Nucleus pulposus je také oploštělejší
- Intradiskální tlak se zvyšuje - přenos na vnitřní vlákna annulu
- Vertikálně působící síla je transformována do laterálně působících sil napínajících annulární vlákna

Klinický význam - Flexe

- **Flexe a extenze** sestávají ze dvou složek pohybu – sagitální rotace a sagitální translace.

Flexe zahrnuje:

- **Bederní obratel** kombinace anteriorní sagitální rotace a anteriorní translace
- **Intervertebrální disk** je komprimován vpředu a zadní anulus je napínán. Při “zdravé” ploténce způsobuje flexe posun nucleu pulposu dozadu (Kolber 2009). Intradiskální (nitroplatničkový) tlak měřený v nucleu pulposus signifikantně vzroste při plné flexi (Kuo 2010).

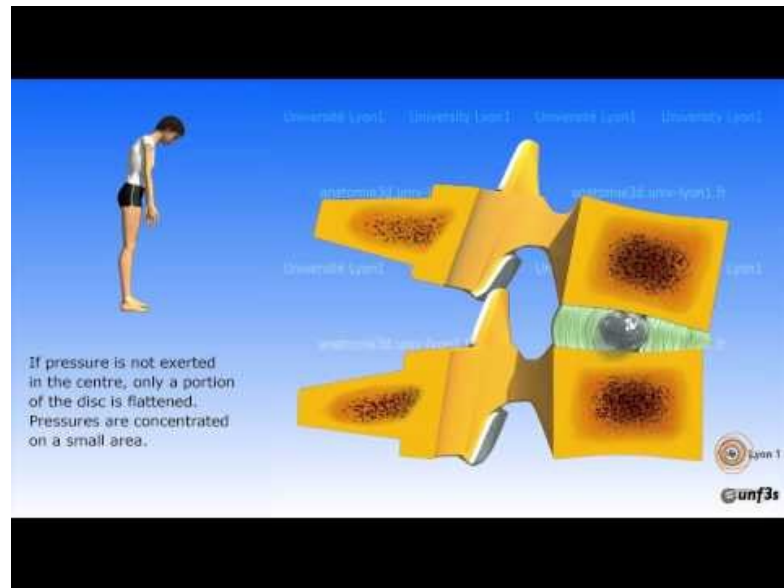


Copyright © 2015 Wolters Kluwer Health | Lippincott Williams & Wilkins

Klinický význam - Flexe

Flexe dále zahrnuje:

- **Na úrovni facetových kloubů** jsou kompresivní síly nižší a pravděpodobně asymetrické (Kuo 2010).
- Oblast páteřního kanála a rozměry foraminálních otvorů se zvětšují a napínání je přeneseno na míchu a periferní nervový systém (Inufusa 1996).
- V průběhu udržované flexe může **fenomén creep** způsobit 10% zvýšení úhlu flexe za 20 minut (McGill 1992). Odolnost struktur vymezujících pohyb může být redukována o 42% už za 5 minut (Busscher 2011).
- **Dynamická zátěžová flexe** (zahrádka, sporty - hokej, golf, veslování, házení, kopy, apod.)/**Statická zátěžová flexe** (cyklistika, “ochablý” kyfotický sed)/**Statická nezátěžová flexe (leh na boku)**



Klinický význam - Extenze

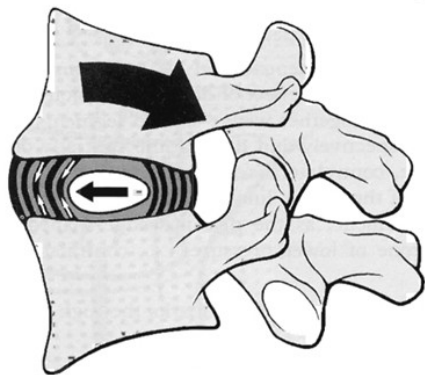
Extenze zahrnuje:

- **Bederní obratel** kombinace posteriorní sagitální rotace a posteriorní translace
- **Intervertebrální disk** je komprimován vzadu a přední anulus fibrosus je napínán. Tlak v nucleu se snižuje až o 35% v extenzi (Adams 1994).
- Kompresivní síly ve **facetových kloubech** se během extenze zvyšují (Rohmann 2009).
- Pohyb je spojen s přiblížením spinálních výběžků či inferiorních artikulárních výběžků na laminu spodního obratle.
- U zdravé ploténky může extenze způsobit posun nucleu pulposu dopředu (Kolber 2009).
- Oblast páteřního kanálu a rozměry foraminálních otvorů se zužují a snižuje se napínání míchy a periferního nervového systému (Inufusa 1996).
- **Statická zátěžová extenze** (vzpřímený sed, stoj)/**Dynamická zátěžová extenze** (chůze, běh, gymnastika - velké rozsahy)/**Statická odlehčená extenze** (leh na břicho)

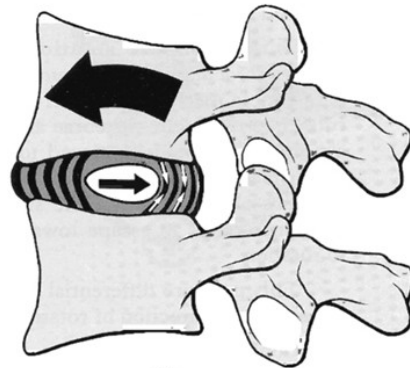
Klinický význam - Rotace

- Šikmá vlákna s průběhem orientovaným proti směru pohybu (rotace), jsou napínána, zatímco vlákna intermediární, s opačnou orientací jsou relaxována.
- Napětí dosahuje maximum v centrálních vláknech annulu, která jsou nejvíce šikmo orientována.
- Nucleus je výrazně komprimován a intradiskální tlak je přímo úměrně zvyšován ve vztahu k úhlu rotace.
- To vysvětluje, proč flexe s rotací je nejvíce riziková pro roztržení annulu a posun nucleu posteriorně.

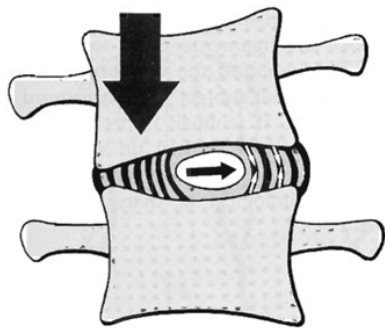
45



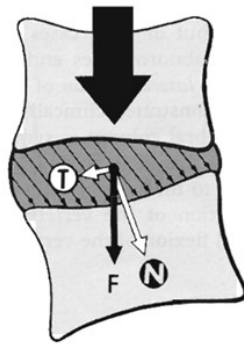
46



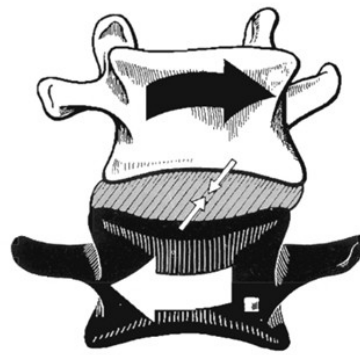
47



48



50



49

Lateroflexe - Rotace

- V průběhu asymetrické laterální komprese discus (stlačovanou substanci) posouvá kontralaterálně- směrem k zóně menšího “odporu”, tlaku - a to vede **současně i k rotaci**.
- Kontralaterální ligamenta jsou napínány.
- Komprese disků a napínání ligament fungují v tomto procesu jako “synergisté” tohoto složeného pohybu.
- V rámci fixované rotace obratlů a lateroflexe páteře (u skoliózy) je krátkotrvající automatická rotace obratlů patologickým jevem a je trvale spojena s lateroflexí páteře.

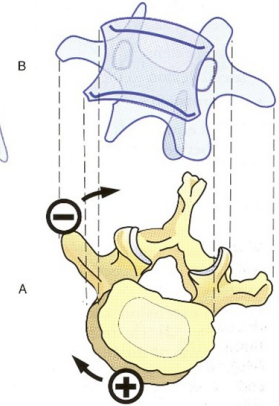
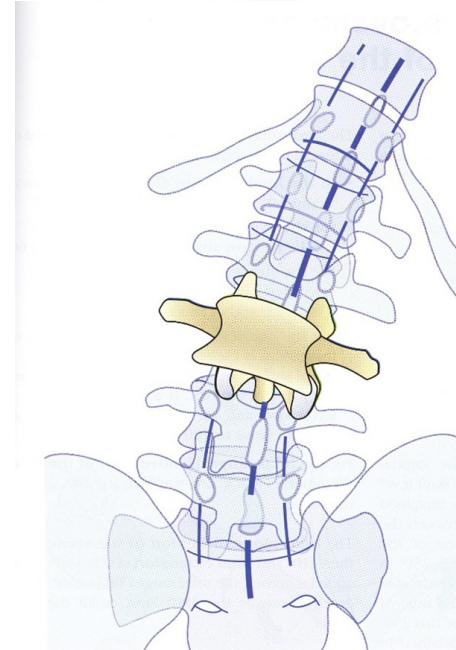
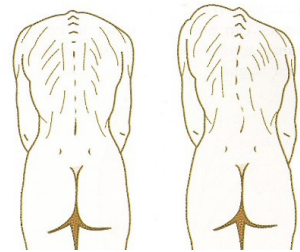
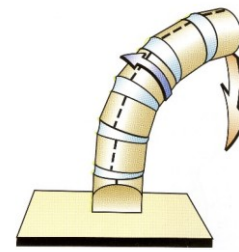
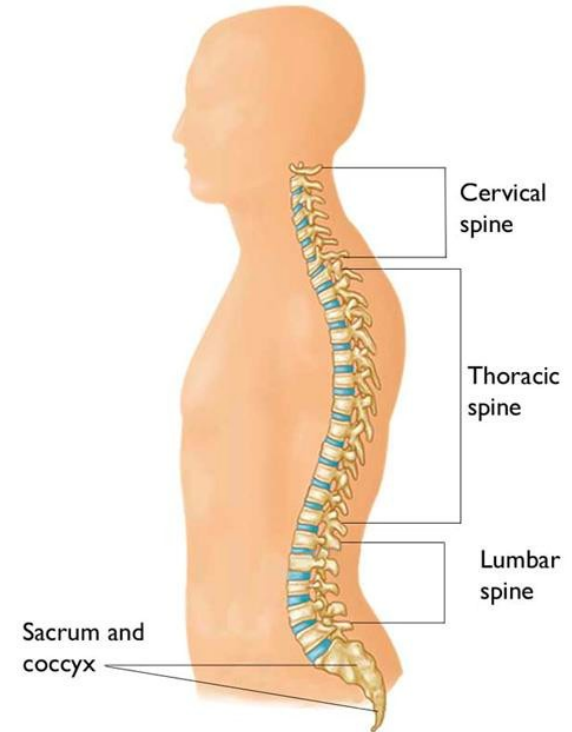


Figure 68

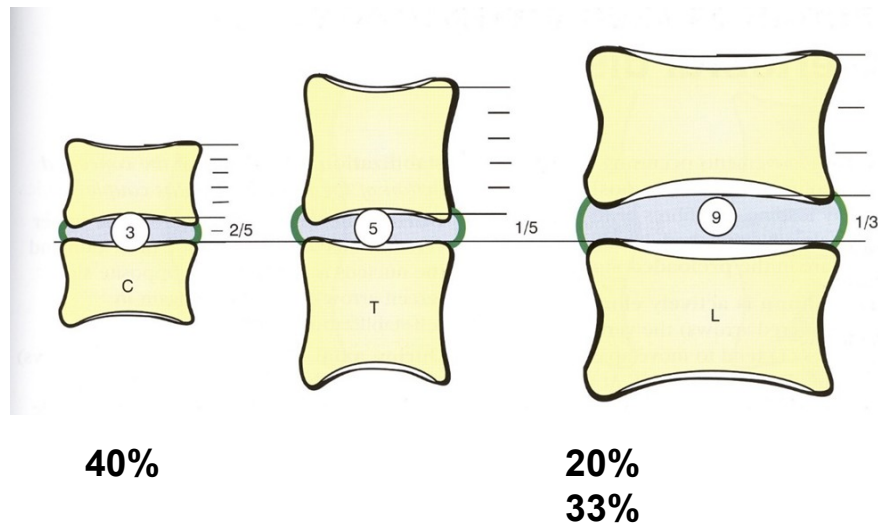
Lateroflexe - Rotace

- Vzájemná konfigurace kloubních výběžků na rozdíl od poměru meziobratlová destička/obratlové tělo neurčuje rozsah pohybu, ale určuje směr, ve kterém bude pohyb možný. Např. v bederní páteři se tak setkáváme pouze s minimální rotací, ale relativně velkou flexí.
- Ze sklonu kloubních ploch dolní krční, hrudní a bederní páteře rovněž vyplývá **nemožnost izolovaného pohybu do rotace nebo do lateroflexe**. Tyto pohyby jsou vždy **vzájemnou kombinací obou** (při lateroflexi dochází k automatické rotaci a naopak).

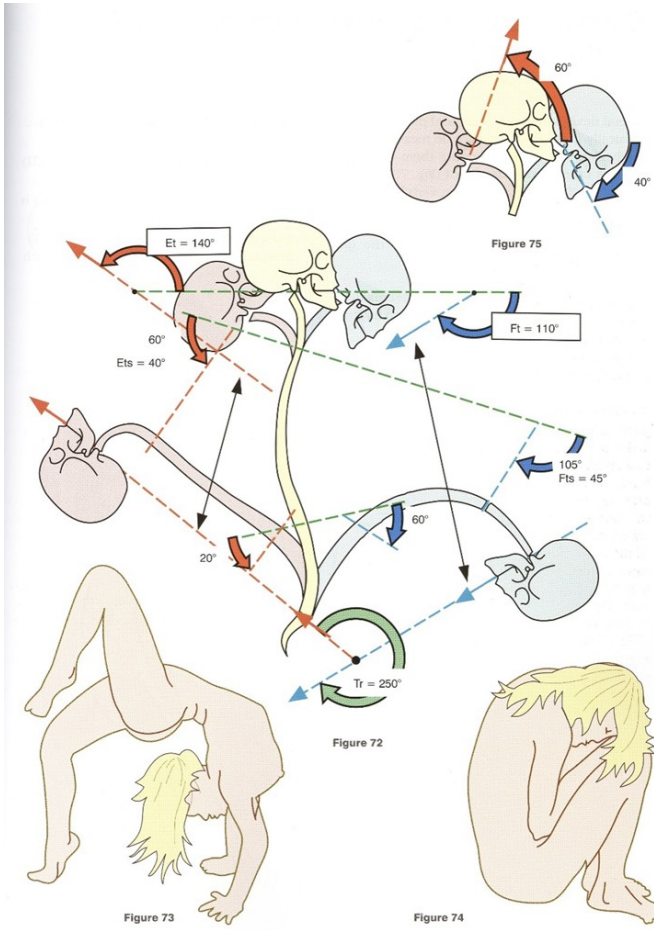


ROM

- Rozsah pohybu v daném pohybového segmentu závisí na **poměru mezi výškou obratlového těla a meziobratlovým diskem.**
- **Nejpohyblivější** úsekem páteře je tedy páteř krční. **Méně pohyblivým** úsekem je páteř bederní. **Nejméně pohyblivým** úsekem je páteř hrudní.



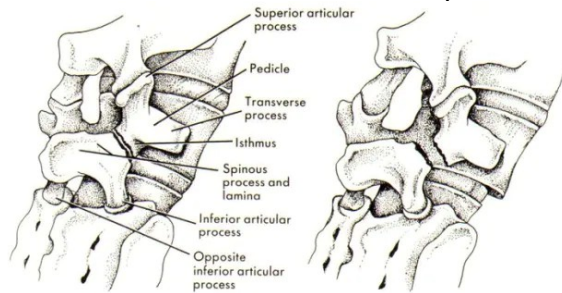
ROM Flexe/ Extenze



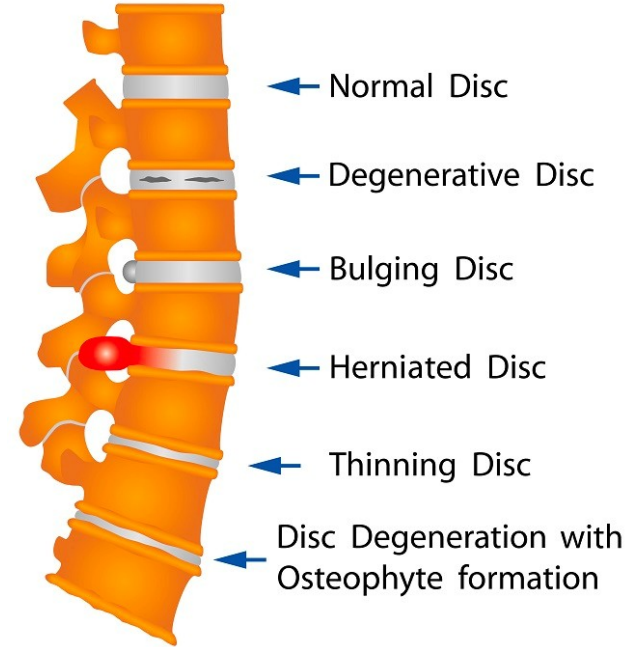
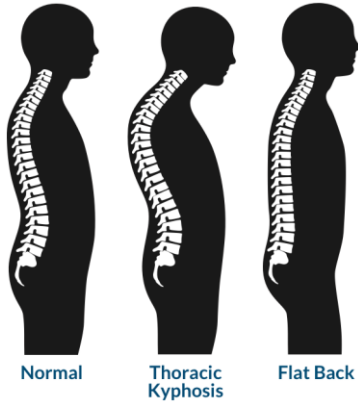
Patofyziologie pohybu - S rovina

Spondylolýza

- EXT + KOMPRESE, 1.uni/2.bilaterální postižení pars interarticularis obratlového oblouku)
- “Scotty dog” sign - RTG
- Adolescenti
- **Gymnastika** (repetitivní hyperEXT a komprese, **tenis** (hyperEXT podání, forehand - EXT a rotace)



Patofyziologie pohybu - S rovinina



ROM Lateroflexe

- **Pravý** (obratel výš posunutý vpravo vůči spodnímu obratli-trup a ramena vybočené vpravo) a **levý laterální shift** (obratel výš lateroflektován vlevo vůči spodnímu obratli-trup a ramena vybočené vlevo) - bolest (kontra/ipsi), neschopnost auto-korekce vybočení

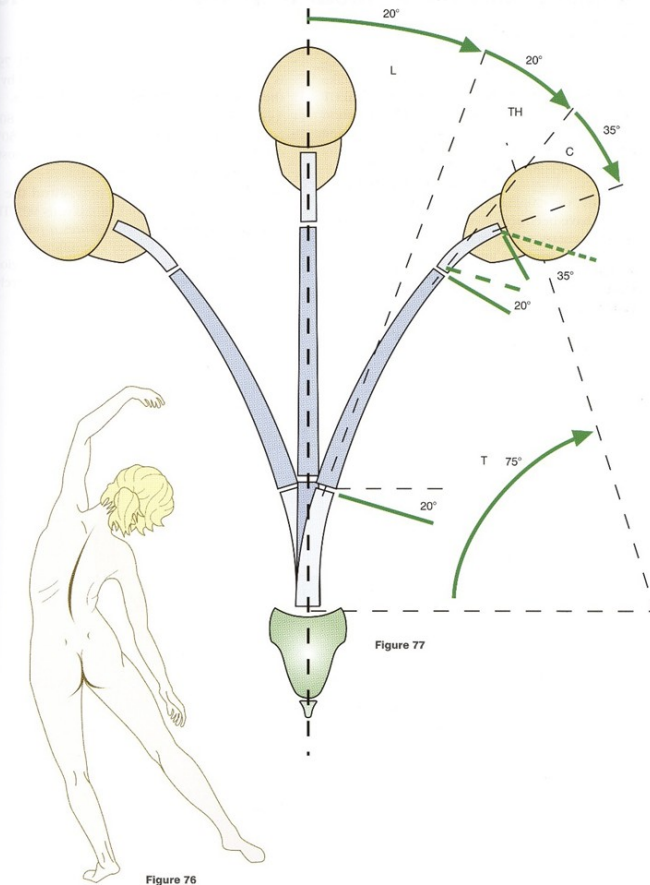
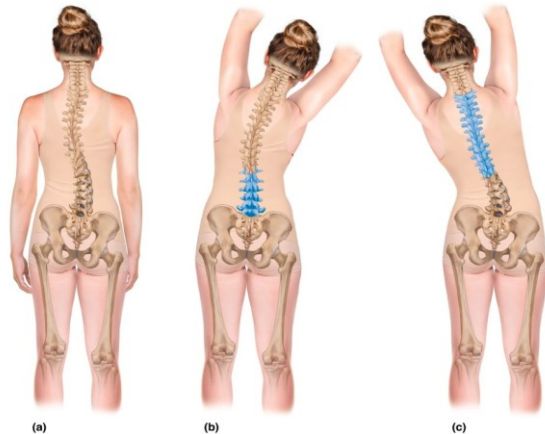
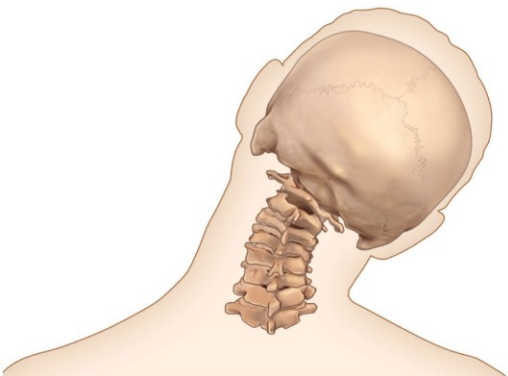


Figure 77

Figure 76

ROM Rotace

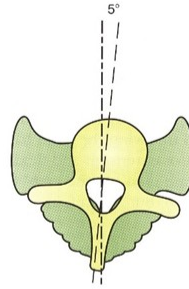


Figure 78

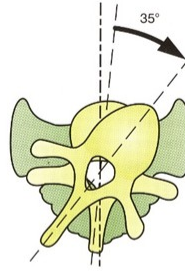


Figure 79

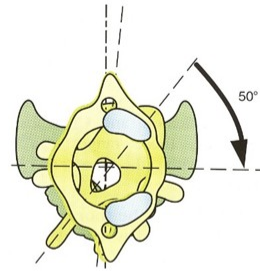
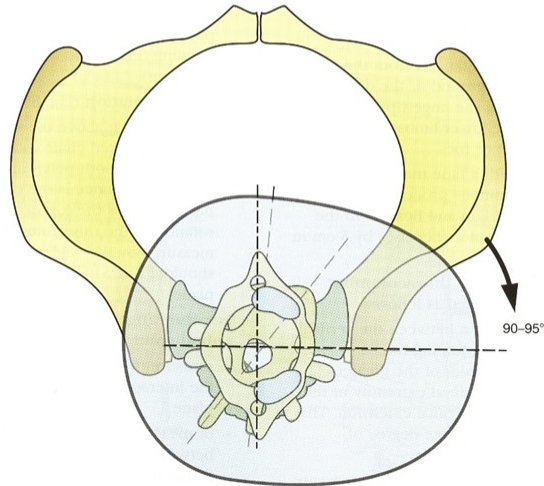


Figure 80



Zdroje:

- Kapandji, I. A. (1970). *The Physiology of the Joints: Dépouillement v. 1 Upper limb. _ v. 2 Lower limb. _ v. 3 The trunk and the vertebral column.* Churchill Livingstone.
- McKenzie Inštitút, kurz časť A-drieková chrbtica, 25.-28.3.2022
- https://www.physio-pedia.com/index.php?title=Lumbar_Spondylolysis_in_Extension_Related_Sport&veaction=edit§ion=18
- <https://mobilephysiotherapyclinic.net/williams-flexion-exercises-vs-mckenzie-extension-exercises/>