

# Mechanické vlastnosti lidského těla

# Mechanické vlastnosti kostní tkáně

- Kosti vykonávají několik funkcí:
- opornou - podpírají tělo, udržují orgány na správném místě
- ochranou - lebka chrání mozek, žebra srdce, plíce a žaludek
- krvetvornou - v některých kostech se tvoří červené a bílé krvinky a krevní destičky
- pohybovou - spolu se svaly, vazy a klouby umožňují pohyb
- úložnou - je zde uschován fosfor a vápník, které jsou v případě potřeby uvolněny

- Povrch kosti kryje na kloubních plochách **chrupavka**, ostatní povrch kosti kryje vazivová blána **okostice**, která je protkána nervy a cévami, které vnikají do kosti a zajišťují výživu. Vnitřní vrstva okostice obsahuje kostitvorné buňky, jejichž činností se vytváří kostní hmota a kost roste do tloušťky.
- V kosti se nacházejí mimo jiné 3 druhy buněk: osteocyt je vlastní kostní buňka produkující mezibuněčnou hmotu, osteoblasty jsou na povrchu kosti a osteoklasty rozrušují kostní hmotu a podílejí se na její přestavbě.



Kost se skládá z:

- 1. kosti hutné** - pevná a tvrdá, tvoří souvislou tkáň, vyskytuje se ve středních částech dlouhých kostí a na povrchu plochých kostí.
- 2. kosti houbovité** (kostní trámčina) - nachází se v hlavicích dlouhých kostí, středních částech kostí plochých a tvoří krátké kosti

Celý povrch kostí, kromě částí, kde jsou klouby a chrupavky, tvoří okostice - vazivový obal. Sval, který se upíná na kost prorůstá až do okostice, sval se tak snadno neutrhne.



# Kompaktní kost (hutná)

- Obecné biomechanické vlastnosti kostí nejlépe vystihuje modifikovaný Rouxův zákon:  
***Maximální pevnosti kosti je dosaženo s minimální spotřebou materiálu.***
- ***Kompakta dlouhých kostí*** je složena z trubicovitých lamel, které ideálně splňují základní požadavek pevnosti s minimální spotřebou stavebního materiálu. Mezi vrstvenými lamelami je málo kolagenu a intersticiální hmota je vysoce mineralizována. Pouze ojedinělá jsou kolagenní vlákna pronikající z jedné lamely do druhé. Chybění vláken mezi lamelami je snad důvodem nízké odolnosti kompakty ve zkrutu.



- Obecně platí, že distribuce minerálů v kompaktě není stejná. Mezi klasickými Haversovými osteony i mezi vmezeřenými lamelami, jsou místa méně mineralizované (méně tvrdé) kosti, které z mechanického hlediska snad plní funkci určitých absorberů kinetické energie působící na kompaktu. Jak již bylo uvedeno, kompakta diafýzy je velmi odolná na *statický* tlak působící v dlouhé ose kosti. Ještě pevnější - až o 60 % je kompakta v tahu.
- U většiny dlouhých kostí je kompakta nejtlustší uprostřed délky diafýzy. Zde také nejlépe odolává pomalé torzi, ohnutí kostí. Na horizontálně (příčně) působící tlak není kostní diafýza odolná, chybí jí "prostorově odolná" struktura kostní spongiózy.
- *Dynamické* zatížení kostní kompakty je závislé na rychlosti pohybu, s jejíž dvojnásobkem zatížení stoupá. (Proto i velmi malý, ale rychlý náraz působí zlomeninu !)

# Spongiózní kost (houbovitá)

- ***Spongiózu epifýz*** tvoří vzájemně se křížící trámce - typická struktura vznikající na základě prostorově komplikovaně směřovaného tlaku a tahu, a struktura na tlak a tah také maximálně odolná.
- Spongióza není z biomechanického hlediska pouze souborem trámců kostní tkáně. Prostory mezi trámci jsou vyplněny tukovými buňkami, buňkami kostní dřeně, cévami, nervy a mezibuněčnou tekutinou.
- ***Spongióza = hydraulický systém kosti***
- Tukové buňky velmi dobře adherují k povrchu trámců. Celý systém buněk a cév spongiózy lze chápat jako *elastický hydraulický systém*, chránící kostní trámce. Do systému přitéká krev z cév, které jsou uvnitř kosti a odtéká oběma směry - do žil dřeně i mimo kostní tkáň - do žilního systému periostu. Hydraulické vlastnosti kostní spongiózy se projevují při jakémkoliv zatížení pohybového systému, zvýšením hydrostatického tlaku v dutinách spongiózy. Zátěž je tak zčásti absorbována a rigidní kostní trámce jsou zatíženy až "v druhém sledu".



- Za svou pevnost a odolnost vděčí unikátnímu spojení bílkoviny kolagenu a minerálních látek - bez kolagenu by byla kost křehká jako sklo, bez minerálů by se kosti mohly vázat na uzel. Kolagen je zastoupen v mnoha tkáních, ale jen kostní kolagen má schopnost ukládat v kostech minerální látky.
- Lidská kostra je z 80 % složena z kompaktní kosti, která je nositelkou především mechanických vlastností skeletu, a z 20 % spongiózní kosti, která reprezentuje obrovskou plochu pro realizaci látkové výměny kostí a jejich remodelaci.
- Kostí jsou stavebními kameny naší kostry a anatomové jich mohou napočítat u dospělého člověka kolem 220.
- Celá kostra váží kolem deseti kilogramů, to znamená, že **její hmotnost představuje pouhých 14 procent celkové tělesné hmotnosti.**



- Pokud posuzujeme celkové mechanické vlastnosti kosti (jako orgánu) musíme znát kromě vlastních mechanických vlastností kostní tkáně také geometrické uspořádání vnější zátěže a tvaru kosti - především průřez (tvar, plocha, šířka stěny aj.)
- Vzhledem k principu remodelace kostní tkáně závislém na mechanickém působení je kostní tkáň nehomogenní a anizotropní. Závislost mechanických vlastností na směru, kterým působí vnější zatížení, je značná. Při zatížení v podélném směru kosti, může být mez pevnosti až 10 krát vyšší než ve směru radiálním a tangenciálním. Navíc ještě záleží na způsobu zatížení. Řádově můžeme říci, že v tlaku je pevnost kosti nejvyšší, o třetinu nižší v tahu a jen třetinová ve smyku. Kost je velmi pevná - pevnost kompakty dlouhých kostí je srovnávána s mosazí, litinou nebo kujným železem (100 - 200 MPa).
- **Pevnost kosti je čtyřikrát větší než pevnost betonu, vůči zátěži je stejně odolná jako hliník a ve srovnání s ocelí je při stejné velikosti až pětkrát lehčí.**

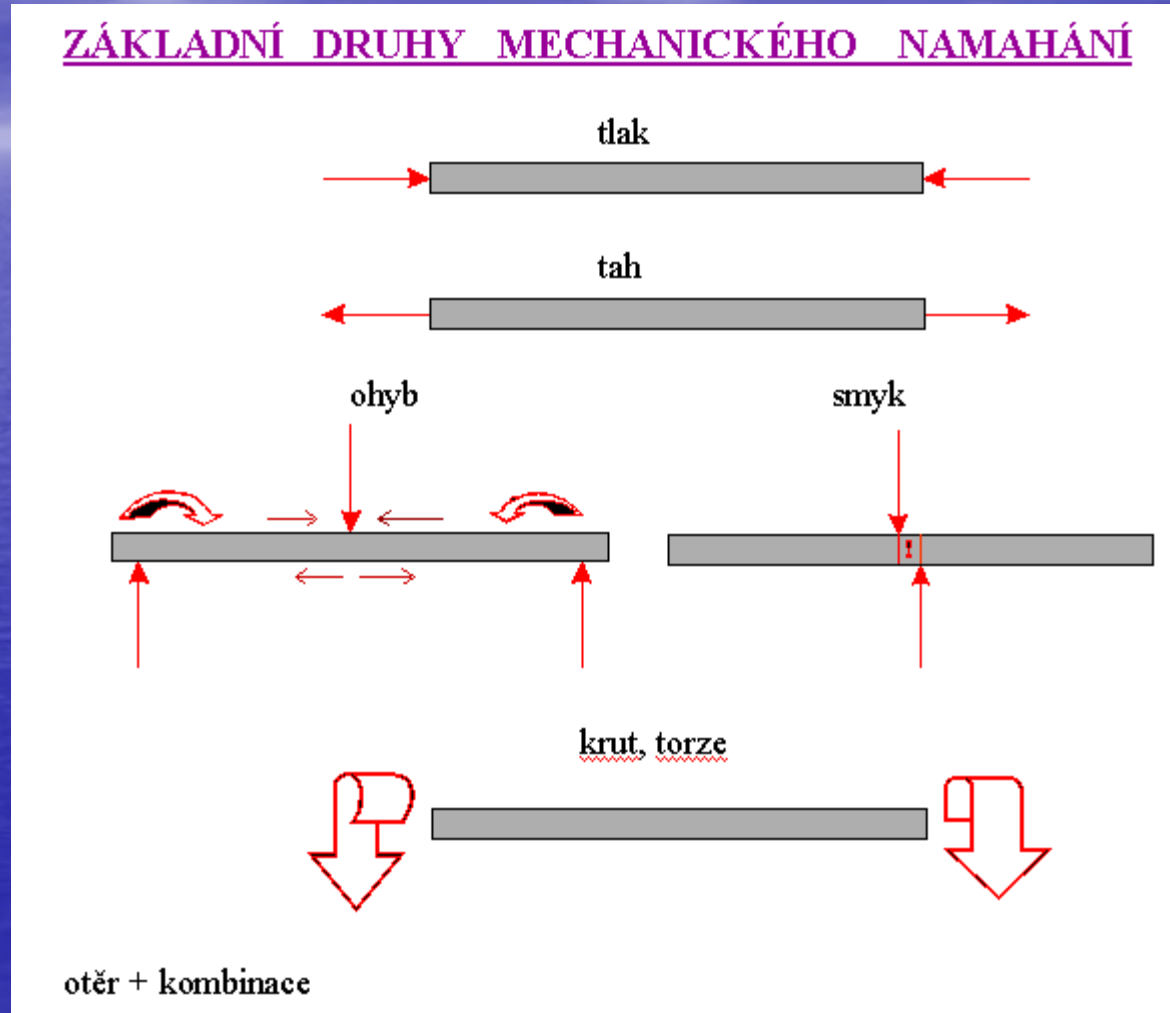
# Změny mechanických vlastností kostní tkáně

- Vzhledem k neustálé remodelaci kostní tkáně na základě mechanické zpětné vazby jsou její mechanické vlastnosti dány historií zatěžování. To znamená, že pokud je orgán imobilizován, snižuje se výrazně jeho pevnost a poddajnost a naopak opakovaným zatěžováním s dostatečnou intenzitou je možné předcházet poruchám remodelace (např. osteoporóza) a s tím spojeným zvýšeným rizikem zlomenin v důsledku snížení mechanické pevnosti.
- S věkem se mechanické vlastnosti mění ve smyslu zvyšování pevnosti a snižování maximální deformace. Celkově je kost starší osoby schopna absorbovat menší množství deformační energie v porovnání s mladým jedincem.



# Typy zlomenin kostí

- Podle tvarových a materiálových charakteristik kosti a vnějšího uspořádání působících sil dochází ke zlomeninám ohybovým, smykovým, kompresním a v krutu s charakteristickým tvarem a průběhem lomu.



# Pevnost kostí

- Pod tlakem kost pažní ve směru dlouhé osy unese asi 600kg,
  - kost stehenní 760kg,
  - kost lebeční 650kg,
  - kost holenní 1350kg,
  - bederní obratel 620kg.
  - Tyto hodnoty se ve stáří snižují asi o 10-20%.
  - Ještě větší hodnoty lze dosáhnout v tahu směrem dlouhé osy kosti.
  - Co se týče lomu, hodnoty jsou zhruba o poloviční než při zatížení ve směru dlouhé osy( kost pažní 240-300kg).
  - Nejmenší pevnost je při zkrutu ( klíční kost 8kg, lýtková kost 6kg)
- 
- **Box** – (Steve Petramale) – sledgehammer – 453,6 kg
  - **Taekwondo** - spinning back kick – 680,4 kg
  - **Kung fu** - flying double kick – 453,6 kg



# OBECNÉ BIOMECHANICKÉ VLASTNOSTI BIOLOGICKÉ TKÁNĚ

viskoelastické vlastnosti

závislost na rychlosti deformace  
relaxace a creep

anizotropie

v různých směrech různé mechanické vlastnosti

nehomogenita

nerovnoměrné rozložení hmoty

adaptabilita

realizována na základě zpětné vazby

vliv historie zatěžování

sdílení hmoty, energie, informací

otevřený systém

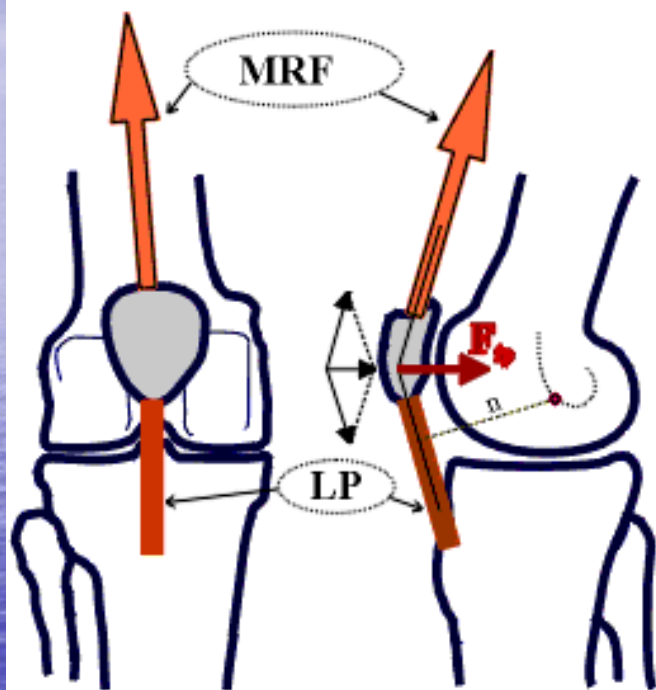
stárnutí

změny vlastností věkem

inteindividuální závislost

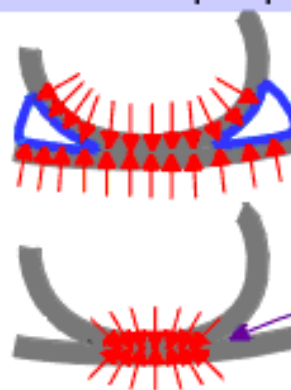
různé dispozice každého jedince

# ZÁTĚŽ V KOLENÍM KLOUBU



přítlačná síla ve femoropatelárním skloubení a vztah její velikosti k odlehlosti ligamenta patela od okamžitého středu otáčení  $S$

normální, fyziologické rozložení kontaktních tlaků a vznik koncentrace napětí po meniscectomii



**Příklad** (koleno po meniscectomii):

Při pomalém vystupování po schodech dosahuje velikost silové zátěže kolena 3 až 5-ti násobek tíhy těla.

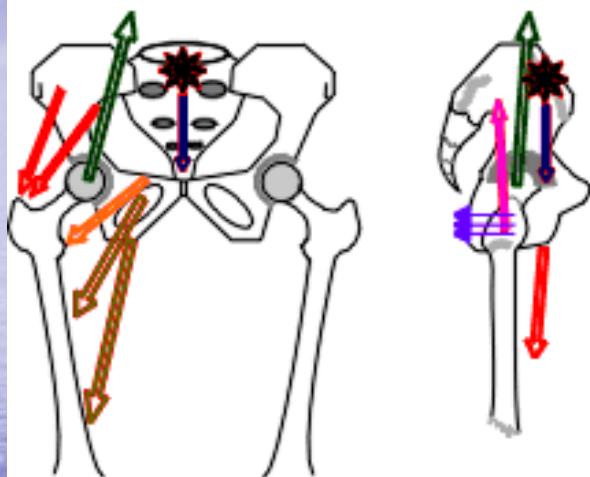
Hmotnost pacienta  $m = 90 \text{ kg} \Rightarrow s_c = 9 \text{ MPa}$

Mezní napětí chrupavky  $s_{ca} = 10 - 12 \text{ MPa}$

!  $\sigma_c \longrightarrow \sigma_{ca}$  !



## ZÁTĚŽ V KYČELNÍM KLOUBU



Celkové zatížení v kloubu je dáno podíly:

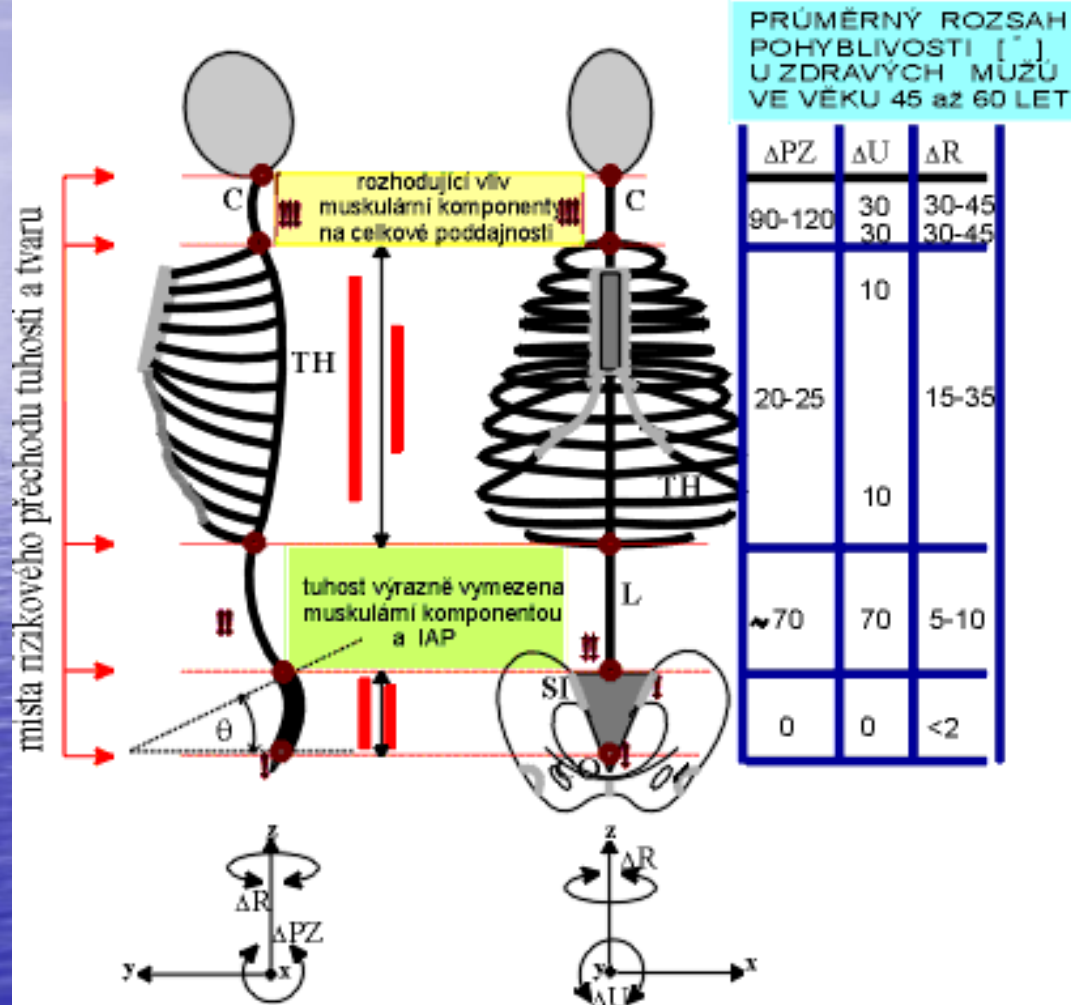
- celková hmotnost
- setrvačné síly vyvozené pohybem
- síly vyvozené tahem svalů
- vnitřní odporové síly vyvozené tkáněmi skloubení (extra a intra artikulární odpory)

Příklady maximálního zatížení kloubu:  
**stoj na jedné noze** - 2,6 x celková váha  
**velmi pomalá chůze** - 1,6 x celková váha  
**pomalý běh** - 5 x celková váha

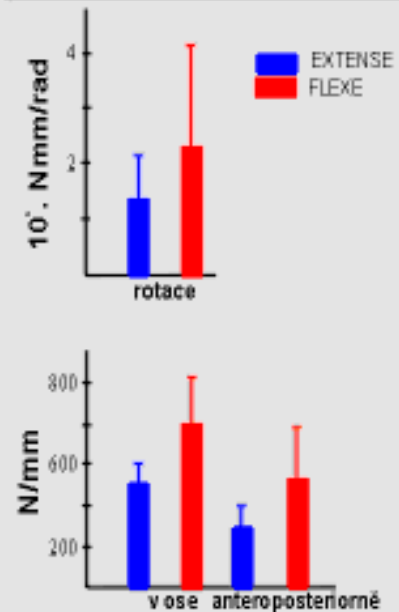
### Průběh zátěže při rychlé chůzi



# TUHOST A POHYBLIVOST PÁTEŘE



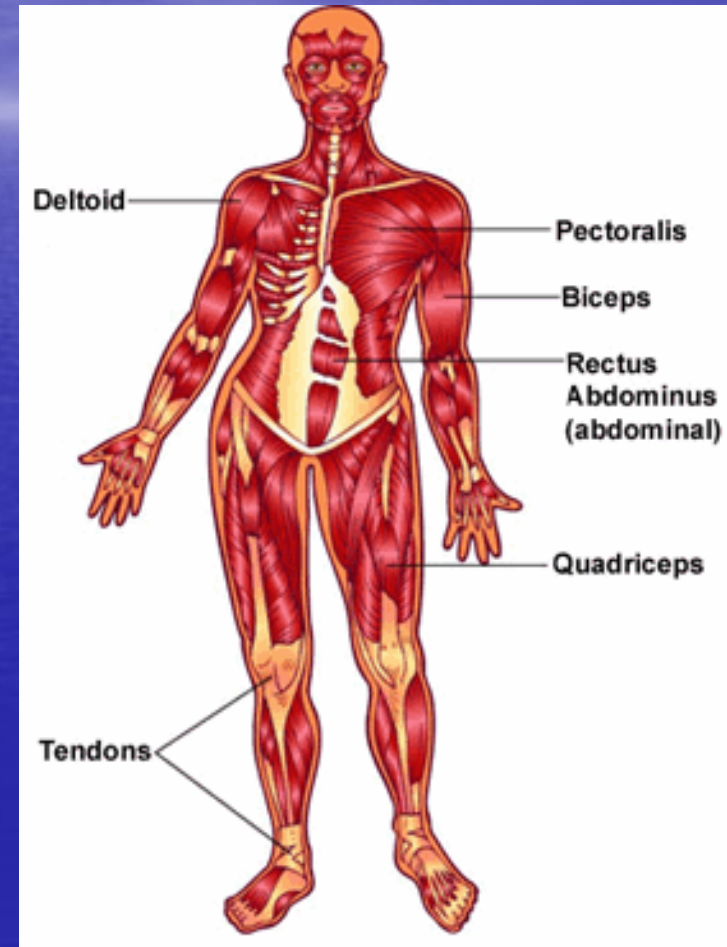
histogram průměrných hodnot koeficientů tuhosti flektované a extendované lumbální páteře ve vybraných směrech





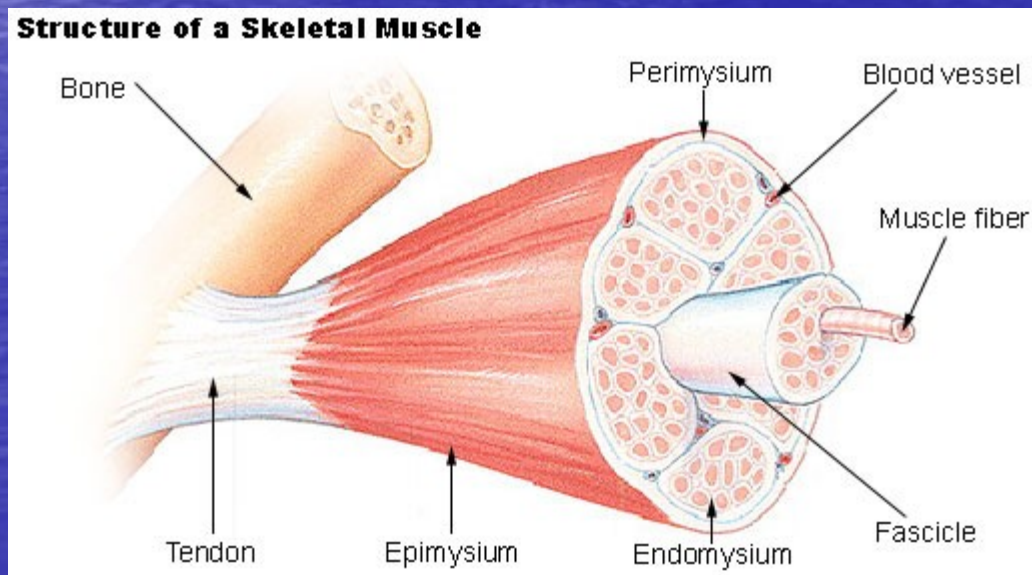
# Mechanika kosterního svalu

- Systém kosterních svalů tvoří příčně pruhované a většinou párové svaly. V lidském těle je jich kolem 600, přibližně 300 na každé polovině lidského těla. Největší počet svalů působí v oblasti dolní končetiny, asi 55 %, horní končetiny asi 30 % a asi 25 % v oblasti hlavy a trupu.
- **Chemické složení svalu**  
Největší složkou svalové hmoty je voda. Sval je složen ze 75% vody, z 24% organických látek a z 1% anorganických látek.



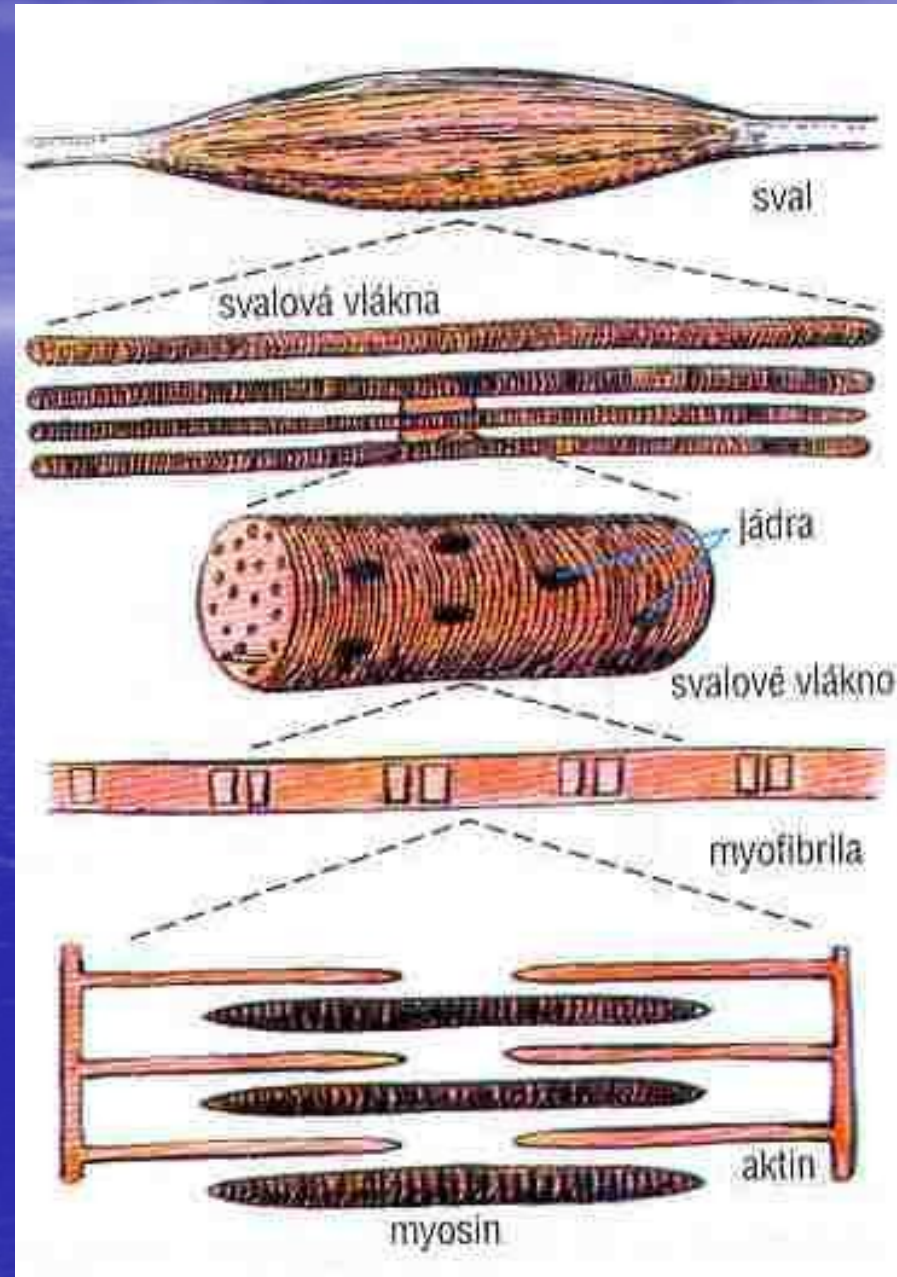
# Stavba kosterního svalu

- Na kosterním svalu rozlišujeme masitou část svalu (bříško) a šlachy. Základem masité části je příčně pruhovaná svalová tkáň. Skládá se z mnohjaderných svalových vláken mikroskopické velikosti ( průřez je asi 20 až 150 mikrometrů, délka 0,5 až 20 cm ), která jsou sdružena v makroskopicky viditelné snopečky. V snopečku bývá 10 až 100 svalových vláken.
- Na obou koncích svalů jsou šlachy ( tendo ), které jsou většinou pevně napojeny na kosti jako začátky a úpony svalů. Mají vzhled bělavých, velmi pevných provázků. Někdy se šlacha rozšiřuje do plochy. Svaly jsou doplněny cévami a nervy.





- V myofibrilách ( = svalové vlákénko, je základní kontraktální jednotkou svalové buňky s průměrem cca 1  $\mu\text{m}$  (pro porovnání: např. tloušťka vlasu je 42 - 95  $\mu\text{m}$ ) jsou bílkoviny **aktin a myozin**, ty se zúčastňují svalové kontrakce.





- Elasticita svalu není dokonalá. Elastické vlastnosti svalu v kontrakci mají přímý vztah ke kontrakční síle.
- Pevnost v tahu neaktivního živého svalu je závislá na pevnosti konstrukčních a podpůrných struktur (vazivo) a jak ukázala měření, zejména na pevnosti vnitřních struktur svalového vlákna.
- Mez pevnosti v tahu činí 0,26-0,9 MPa a závisí na druhu svalu, jakož i na trénovatelnosti a teplotě svalu.
- Ireverzibilní změny svalu nastávají při protažení nad 40 % klidové délky, kritické protažení se udává u svalu 150-200 % a u vlákna cca 200 %.
- Pevnost maximálně kontrahovaného svalu je cca 1,25 MPa, u vlákna cca 0,3-0,7 MPa a u šlach cca 60-120 MPa.
- Při kontrakci se spotřebovává chemická energie a vzniká odpadové teplo. Měří se síla svalů ruky, kousacích svalů atd. Chlapci ve věku 15 až 18 let stisknou rukou silou 390 N až 490 N, dívky 290 N až 390 N. Praváci mívají v průměru o 50 N větší sílu v pravé ruce. Žvýkácí svaly člověka vyvinou sílu až 4 000 N.

- Výsledná síla je výsledek tří faktorů, které se překrývají:  
**fyziologická síla** (velikost svalu, procházet přes plochu průřezu, dostupné crossbridging, odezvy na školení),
- **neurologická síla** (jak silný nebo slabý je signál, který řekne sval kontraktu), a
- **mechanická pevnost** (sval má silové hledisko na páce, délka ramena páky, schopnosti kloubu).



# VÝKON A ÚČINNOST

- Výkon těla či jeho orgánů je měřen zejména ve sportovním lékařství. Při zátěžovém měření EKG měřený člověk obvykle šlape na rotopedu, takže lze měřit jeho okamžitý výkon, který je přibližně 50 W až 150 W.
- Klidový (bazální) výkon celého lidského organismu je asi 100 W a mírně klesá s věkem. Na lidském těle se určují výkony některých orgánů, zejména svalových.
- Celkový výkon srdce na čerpání krve a na stálé napětí svalů je přibližně 13 W. Ze znalosti energetických poměrů v organismu můžeme stanovit i účinnost některých fyziologických dějů.
- Účinnost svalové práce je asi 20%, 80% energie se mění na teplo. Jen asi 10 % výkonu srdce je určeno na čerpání krve, téměř 90% je spotřebováno na napětí srdečního svalu.



# ZRANĚNÍ V BOXU, WRESTLINGU A BOJOVÝCH UMĚNÍCH V USA V LETECH 2002 – 2005

- Úpolové sporty obsahují údery, házení nebo imobilizace soupeře, proto jsou ve srovnání s jinými sporty považované za nebezpečnější. Snahou je snížit počet zranění, proto došlo k určitým úpravám pravidel nebo zavedení některých chráničů, jako např. v taekwono. Výsledky studií se ve výsledcích rozcházejí. Jedni uvádějí, že v bojových sportech dochází ve srovnání s jinými sporty k častějším zraněním, jiní tvrdí opak. Ve výzkumu byl celkový počet zjištěných zranění 7290.

- Tabulka ukazuje procentuální zastoupení zraněných anatomických částí těla. Je evidentní, že horní končetiny a hlava je nejzranitelnější, u boxu to dělá 87%.

Anatomická část	Box	Wrestling	Bojová umění
Horní končetiny	63,7 %	44,3 %	32,0 %
Dolní končetiny	4,5 %	20,5 %	41,6 %
Trup	8,2 %	17,9 %	14,0 %
Hlava / obličej	23,3 %	16,9 %	11,1 %
Jiné	0,3 %	0,3 %	0,5 %

**Table 2. Distribution of injuries per diagnosis for boxing, wrestling, and martial arts. National estimates.**

Injury	Boxing		Wrestling		Martial arts	
	Number of injuries*	% of total injuries	Number of injuries*	% of total injuries	Number of injuries*	% of total injuries
Concussions	1503	3.2	3840	3.0	1211	1.2
Contusions/abrasions	12817	27.2	20227	16.0	23333	23.2
Dislocations	1766	3.8	7514	5.9	4029	4.0
Fractures	12573	26.7	26941	21.3	24458	24.3
Lacerations	4057	8.6	7612	6.0	4552	4.5
Internal organ injuries	1339	2.8	3245	2.6	1996	2.0
Strains/sprains	9610	20.4	46092	36.4	31126	31.0
Not stated	2686	5.7	9367	7.4	8072	8.0
Total	47052	100	126610	100	100474	100

Concussion = otřes

Dislocation = vymknutí, vykloubení

Fracture = zlomenina

Contusion = pohmoždění

Abrasion = odřenina

Laceration = tržná rána

Strain = natažení

Sprain = vyvrtnutí



**Table 3. Injury rates and pair-wise comparison chi square statistic for boxing, wrestling, and martial arts.**

Injury	Injury rates per 100,000 player-days (95% Confidence Interval)			Pearson's chi square p-values		
	Boxing	Wrestling	Martial arts	Boxing vs. wrestling	Boxing vs. martial arts	Wrestling vs. martial arts
Concussions	.92 (.5-1.3)	1.20 (.8-1.5)	.07 (.03-.10)	.34	<.001*	<.001*
Contusions/ Abrasions	7.9 (6.4-9.3)	6.4 (4.8-7.9)	1.35 (1.0-1.6)	.16	<.001*	<.001*
Dislocations	1.1 (.7-1.4)	2.4 (1.7-2.9)	.23 (.1-0.3)	<.001*	<.001*	<.001*
Fractures	7.7 (6.4-8.9)	8.5 (6.5-10.4)	1.42 (1.0-1.7)	.45	<.001*	<.001*
Lacerations	2.5 (1.6-3.3)	2.4 (1.7-3.0)	.26 (.1-0.3)	.85	<.001*	<.001*
Internal organ injuries	.82 (.3-1.3)	1.02 (.6-1.3)	.11 (.07-.15)	.57	<.001*	<.001*
Strains/Sprains	5.91	14.52	1.81	<.001*	<.001*	<.001*
Total	29.0 (24.4-33.4)	39.9 (31.6-48.1)	5.8 (4.5-7.1)	.003*	<.001*	<.001*

\* statistically significant difference between the two compared groups.

# ZRANĚNÍ V BOXU

Activity	Kcal/hr. /lb. of body weight
Boxing, in ring	6.04
Running, 8-min. mile	5.68
Cross-country skiing	2.7–5.5
Swimming, freestyle	3.48
Cycling (10 MPH)	3.18
Aerobics	3.02
Golf, walking	2.32
Golf, power cart	0.9–1.4
Sitting	0.47



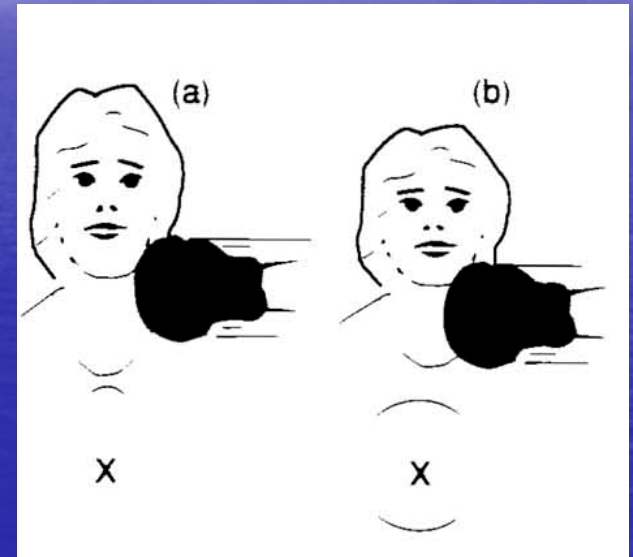
- Ve dvacátém století zemřelo na přímé následky boxu několik stovek lidí (od roku 1918 to bylo 450 lidí) a tisíce jich musely být hospitalizovány.
- Box představuje kombinaci brutality a umění. Box je sport, který vyžaduje sílu, koordinaci, vytrvalost, odolnost, přísnou disciplínu a odvahu. Je mnoho lidí, kteří se ptají, jak civilizovaní lidé mohou přihlížet a dokonce povzbuzovat a fandit sportu, kde je cílem knock outovat soupeře ničícím – někdy trvale – nervovou tkáň životně důležitého centra mozku. Je pravda, že i ve fotbale a jiných kontaktních sportech je riziko zranění, ale v těchto hrách jsou zranění vedlejším projevem, ne předmětem či cílem.



- Síla úderu pochází jak z lineárního pohybu paže, tak z rotačního pohybu kyčle, následně ramene. Celková hybnost je pak součtem lineární i rotační hybnosti.
- Když se zdvojnásobí rychlost ruky při úderu, dvakrát se také zvětší doba zastavení pohybu a co je více důležité – čtyřikrát se znásobí brzdící dráha.  $S = v^2 / 2a$
- Se zvýšením rychlosti na dvojnásobek se zvětší kinetická energie úderu čtyřnásobně, což znamená, že úder pronikne čtyřikrát hlouběji.  $E_k = \frac{1}{2} m v^2$
- Proto není překvapující, že cílem tréninku je zvýšit rychlost ruky. Ačkoli je síla úderu velmi důležitá, je podstatný také cíl, do kterého je úder mířen. Jestliže je úder absorbován velkou plochou je oslabující úder zmírněn. Ale jestliže je úder nasměrován např. na nosní můstek, což je velmi malá plocha, je úder velmi oslabující. Poměrně slabý úder do nosu tak může být mnohem více zničující než úder maximální silou do trupu.
- Britští inženýři z Univerzity z Manchesteru naměřili, že síla boxerského úderu trénovaných boxerů dosahuje průměrně 3400 N.

# POHYBY HLAVY A OTŘESY

- Když část mozku utrpí trauma (úraz), výsledkem je často otřes nebo narušení neurologických funkcí. V boxu, úder, který způsobí úhlové zrychlení hlavy, způsobí větší pohyb mozku než lineární síla, která hlavou neotočí.
- Při poranění mozkové části dochází k zlomeninám kostí lebky, k poranění mozku nebo jejich kombinaci. Poranění je vždy způsobeno silami buď vnějšími nebo setrvačnými.
- Statisticky zpracované případy ukazují, že častěji se při dopravních úrazech vyskytuje kontaktní poranění, které končí ve 22 % smrtí, případů způsobených zrychlením je méně, avšak 2/3 končí smrtí.





# Účinky gravitačního zrychlení

Člověk snáší dobře libovolnou stálou rychlost, ale mnohem hůře snáší zrychlení či zpomalení. Výsledkem je tzv. přetížení, udávané obvykle v násobcích "g". Směřuje-li síla směrem od hlavy k nohám, jedná se o kladné přetížení organismu. Při hodnotách vyšších než 5g dochází k velkému městnání krve v dolních končetinách, zatímco nedokrvení mozku může vést až ke ztrátě vědomí a nedokrvení sítnice má za následek "bílou slepotu".

Směřuje-li síla naopak od nohou k hlavě, jedná se o záporné přetížení, krev se městná v hlavě. Při přetížení větším než 3 g vzniká "červená slepota", v důsledku překrvení může dojít ke krvácení do sítnice a k porušení mozkových kapilár.

- Nebezpečí účinku na krevní oběh je možno podstatně snížit vhodnou polohou těla. Výhodná je taková poloha, kdy směr síly svírá s osou těla úhel 30 - 35 stupňů, tj. člověk je umístěn v poloze pololeže. V poloze kolmé na směr síly vzniká tlak na hrudník, dýchání je znemožněno. Trénink umožňuje částečnou adaptaci organismu na změny přetížení.



- Piloti v letadlech překonávajících nadzvukovou rychlost mají speciální oděvy, pro kosmonauty je vytvářeno umělou rotací přídatné gravitační působení. Je-li třeba, je odolnost kosmonauta zvýšena použitím antigravitačního oděvu, který je napuštěn vzduchem. Ten stlačuje cévy dutiny břišní a dolních končetin. Antigravitační oděv brání přesouvání krve z hlavy k dolním končetinám, čímž zabraňuje ztrátě zraku a vědomí z nedokrevnosti mozku.
- Člověk vydrží krátkodobě zrychlení až 30 g, hrozí ale poškození vnitřních orgánů, svalů či zlomeniny kostí. Působí-li mírnější zrychlení delší dobu, dostaví se snížená pohyblivost a ztráta zraku.

- **Srdce je pumpou života**

Rekord: celkový výkon lidského srdce během sedmdesáti let života je takový, že by dokázal vytáhnout lokomotivu až na nejvyšší evropskou horu Mont Blanc (4807 m)

Neuvěřitelné: všechny cévy našeho těla by po spojení měřily 100 000 km, což je jako dvaapůlkrát kolem rovníku

Velikost srdce si můžeme představit jako svoji sevřenou pěst.

Ovšem jeho váha se liší – často podle povolání jeho majitele:

úředník může mít hmotnost 300 g, těžce pracující či sportovec až dvakrát tolik.

- Za den srdce udělá 100 800 úderů, za rok přes 36 milionů. V pouhém klidovém stavu každou minutu přečerpá pět litrů krve. Ta by za 70 let života naplnila kanál široký 1 m, hluboký 2 m a dlouhý jako trasa z Prahy do Pardubic.

Tep, při kterém vychází krev z levé komory do srdečnice, způsobuje vlnovité rozšíření, jež se přenáší po tepně rychlostí 11 metrů za sekundu, což odpovídá 40 km/hod.



- **Jakou rychlost zvládnou naše nohy?**
- Musíme vzít v úvahu, že většinu pohybu při běhu obstarávají čtyřhlavé svaly na stehnech, které jsou připojeny ke koleni šlachou. Podle lékařských výzkumů by tyto šlachy poškodil pohyb rychlejší než 9 sekund na 100 metrů.
- **Jak silný střet s vozidlem lze přežít?**

Rekord: jsou známy případy, kdy člověk přežil i přímý náraz vozu ve více než 100kilometrové rychlosti

Neuvěřitelné: při střetu s vozidlem jedoucím rychleji než 60 km/hod. má šanci přežít pouhé jedno procento lidí
- Mnozí lidé před chozením pěšky či běháním v dnešní moderní době dávají přednost rychlým kolům, především u vozítek s volantem. Občas se automobil střetne s chodcem. Jakou má šanci, že nechráněný člověk vyvázne?

Experimenty prokázaly, že pokud chodce porazí vozidlo jedoucí rychlostí 30–45 km/hod., má nešťastník 87% šanci na to, že přežije. Ovšem na pouhých 37 % takové štěstí klesne, pokud do něj předmět narazí při rychlosti 45–50 km/hod. (Přitom za volantem se taková rychlost zdá pomalá.)