

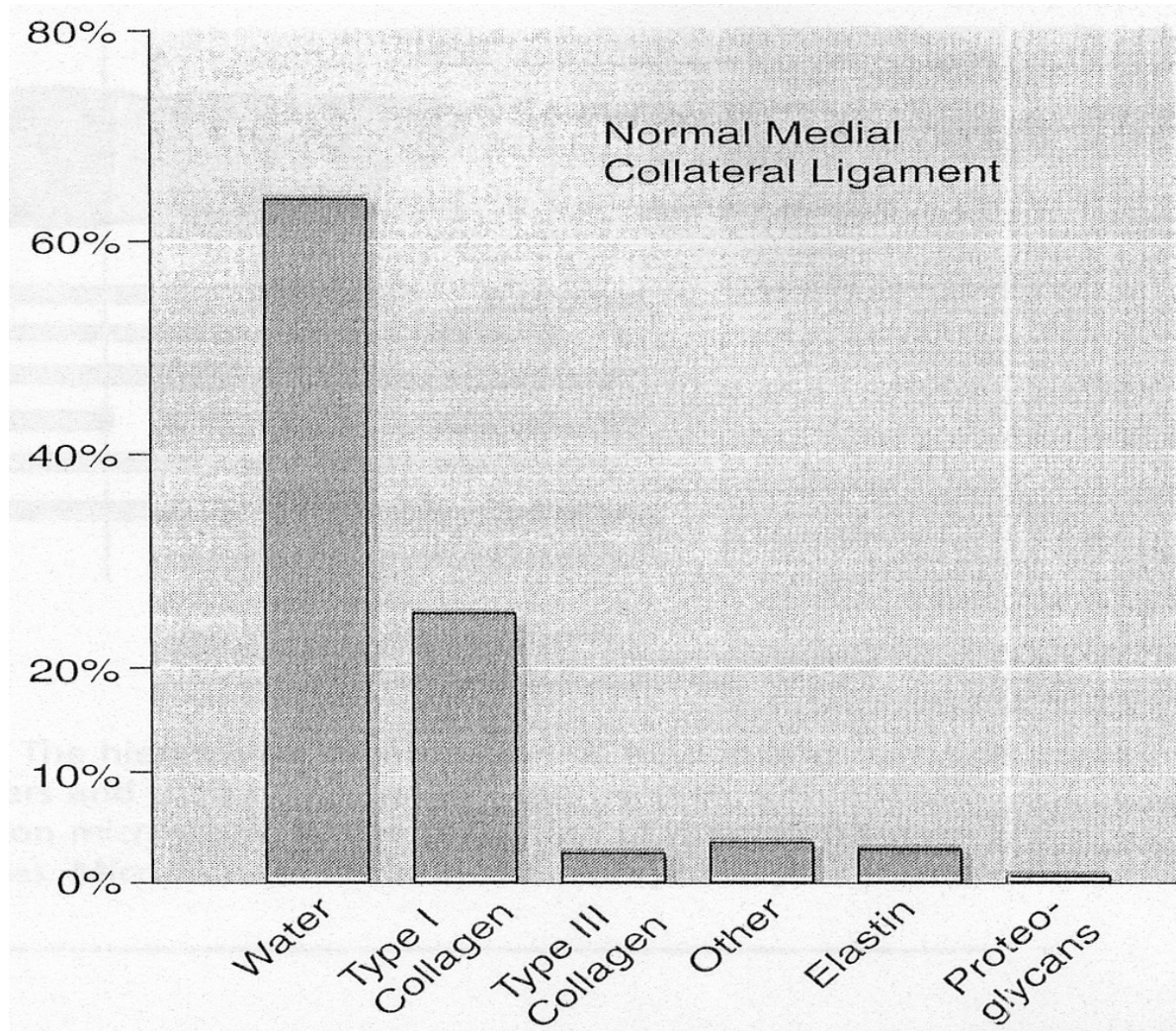
APLIKOVANÁ BIOMECHANIKA

VAZIVO

Struktura vaziva

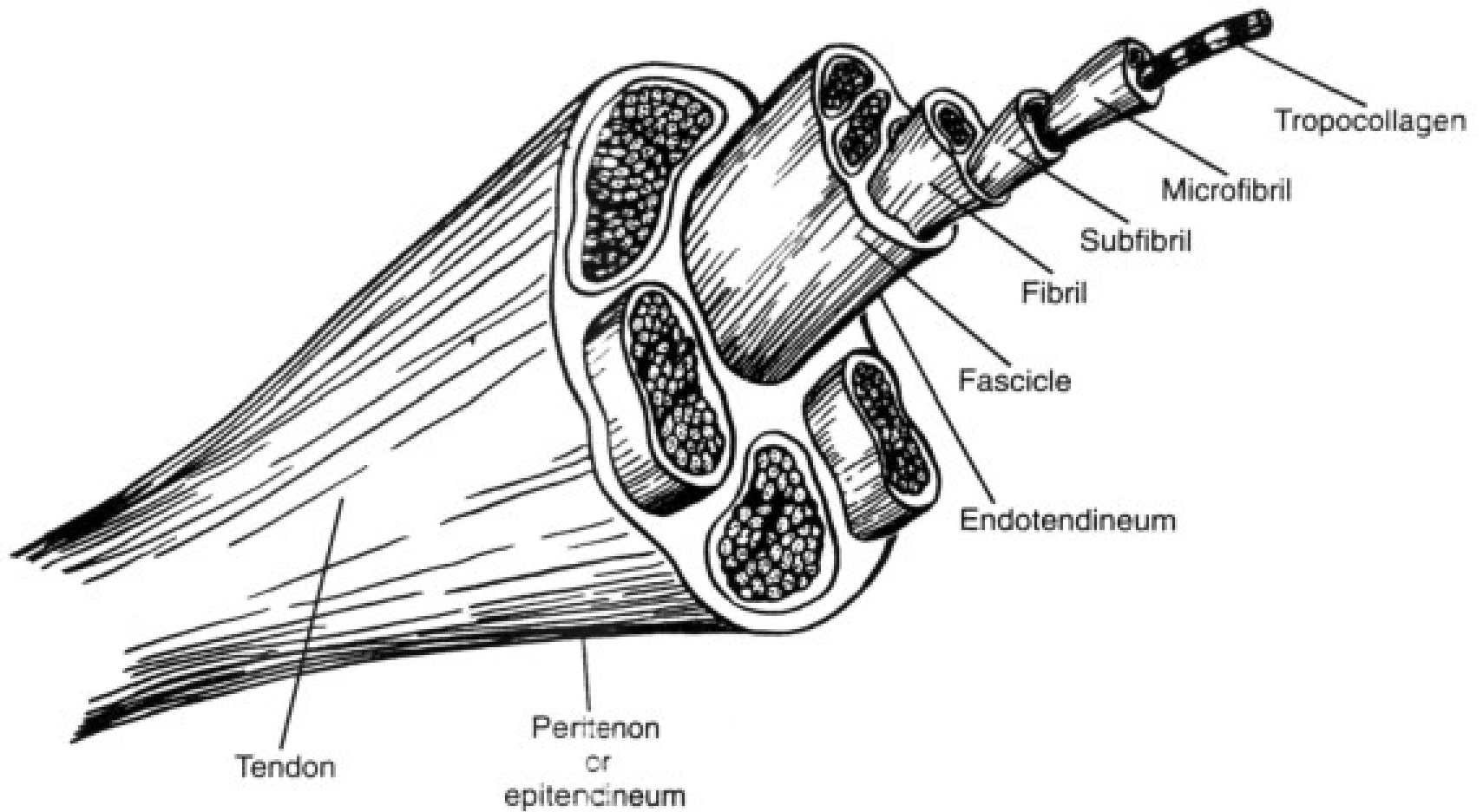
- Buňky (20% objemu tkáně)
 - fixní
 - fibroblasty (fibrocyty)
 - retikulární buňky
 - pigmentové buňky
 - tukové buňky
 - buňky bloudivé
 - makrofágy
 - žírné buňky
 - plazmatické buňky
 - krevní elementy
- Mezibuněčná hmota (80%)
 - amorfní
 - proteoglykany
 - voda
 - fibrilární
 - elastická vlákna
 - retikulární vlákna
 - kolagenní vlákna

Proporcionální zastoupení jednotlivých komponent ligamenta zajíce (mediální kolaterální lig.)



● Typy Vaziva:

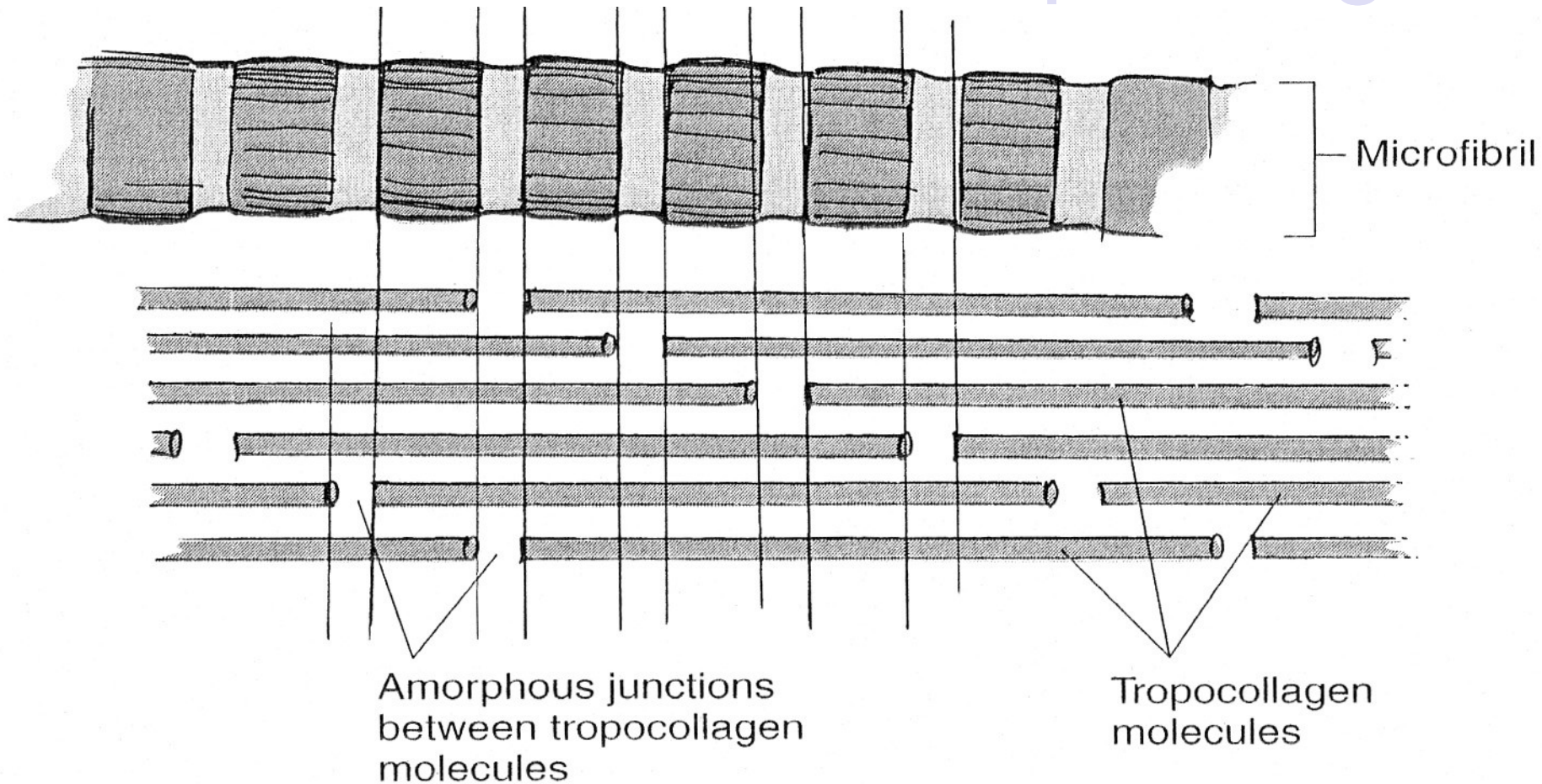
- mezenchym
 - embryonální tkáň
- rosolovité vazivo
 - embryonální tkáň
- kolagenní vazivo
 - fibrilární (řidké; výplň prostor)
 - fibrózní (tuhé; škára, kůže, ligamenta, fascie, periost, šlachy)
- elastické vazivo
 - lig. flavum
 - lig. nuchae
 - fibroblasty
 - fibrocyty
 - retikulární buňky
 - pigmentové buňky
 - tukové buňky
- retikulární vazivo
 - kostní dřeň, lymf. tkáň, lien
- tukové vazivo
 - bílá tuková tkáň
 - hnědá tuková tkáň



Tropokolagen	1,5 nm
Mikrofibrila	3,5 nm
Subfibrila	10-20 nm

Fibrila	50-500 nm
Fascikl	50-300 μm

Microstruktura vlákna tropokolagenu



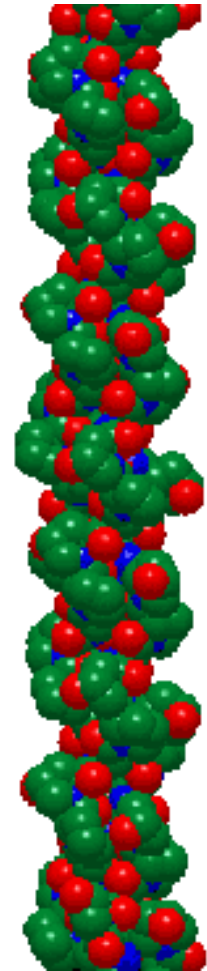
↑
místa primárního poškození při vyšším zatížení, než v elastickém regionu, popř. při nadměrném zatěžování v nižších regionech

Patologie

● Ehlers-Danlos syndrom

- geneticky podmíněná porucha tvorby:
 - I. typu kolagenu
 - nebo II. typu kolagenu
 - nebo III. typu kolagenu
 - nebo V. typu kolagenu

„kolagenových genů“ je více než 40



Struktura úponu kosterního ligamenta

● Přímý úpon

- zóna 1

- rovnoběžná kolagenní vlákna, minimum elastinu

- zóna 2

- vazivová chrupavka

- zóna 3

- mineralizovaná chrupavka (mísení kolagenu kosti s kol. vaziva)

● Nepřímý úpon

- úpon do periostu ve vývojových stádiích

Mechanické vlastnosti kosterního vazů

● Kolagenní vlákno

- Modul pružnosti $E \approx 10^3$ MPa
- Pevnost 50-100 MPa
- Max. protažení $\approx 4\%$

● Elastin (převaha pouze v lig. flavum + lig. interspinalia)

- Modul pružnosti $E \approx 0,6$ MPa
- Pevnost
- Max. protažení $\approx 130\%$

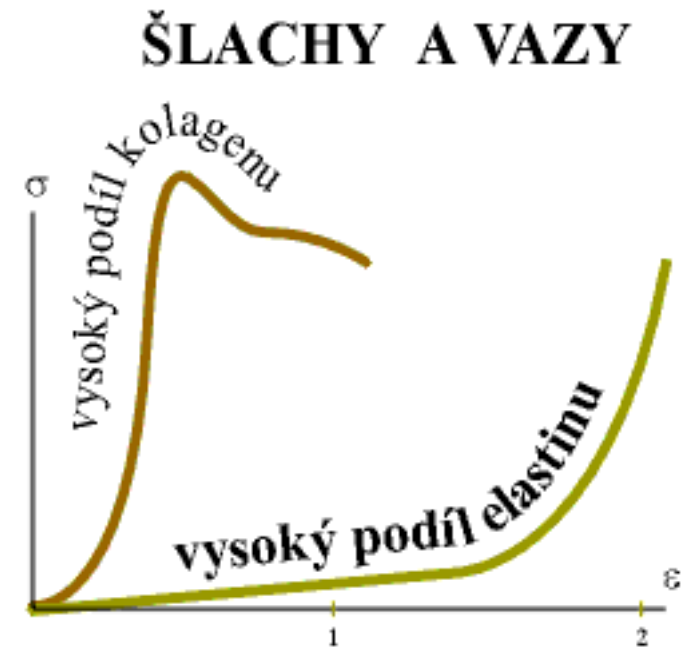
Biomechanické vlastnosti šlach a vazů

Závislost na podílu základních komponent:

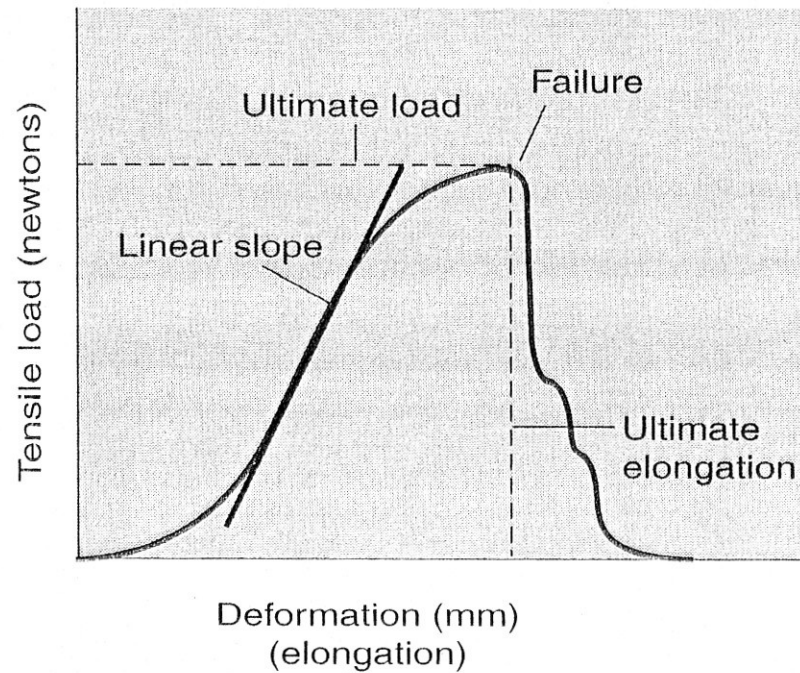
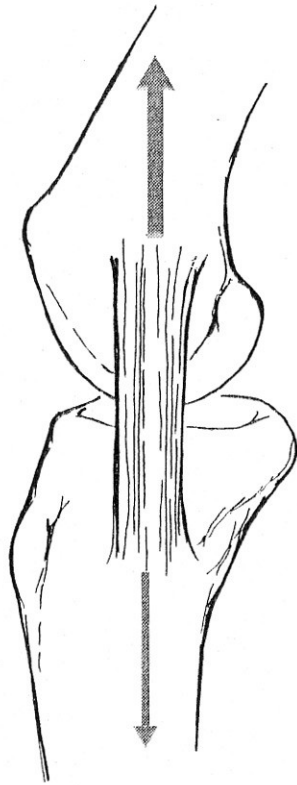
- kolagen
- elastin

Výrazné odlišnosti dle:

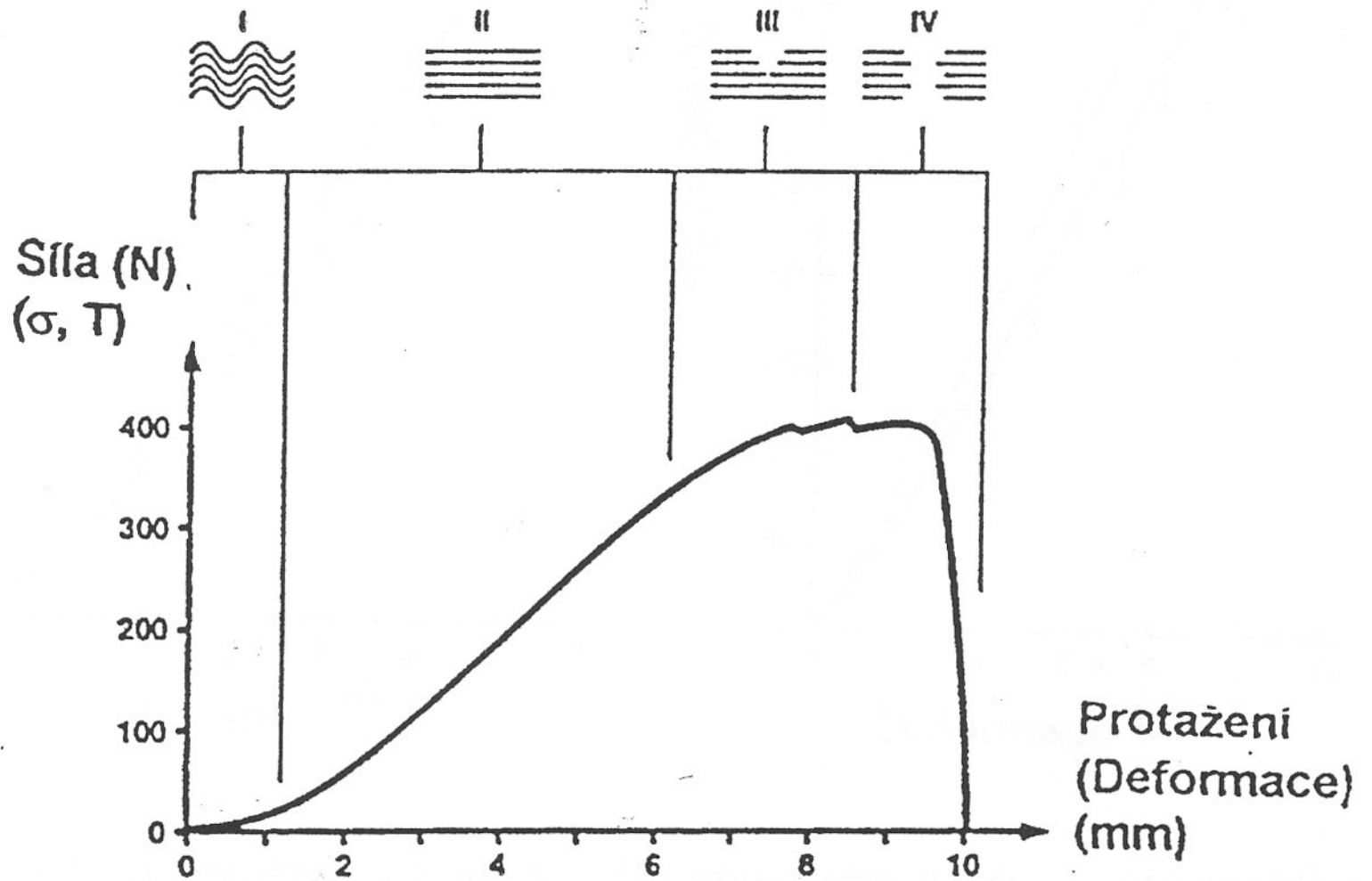
- lokalizace
- stáří
- zátěžové historie



Stress-strain křivka pro vzorek "bone - ligament - bone"

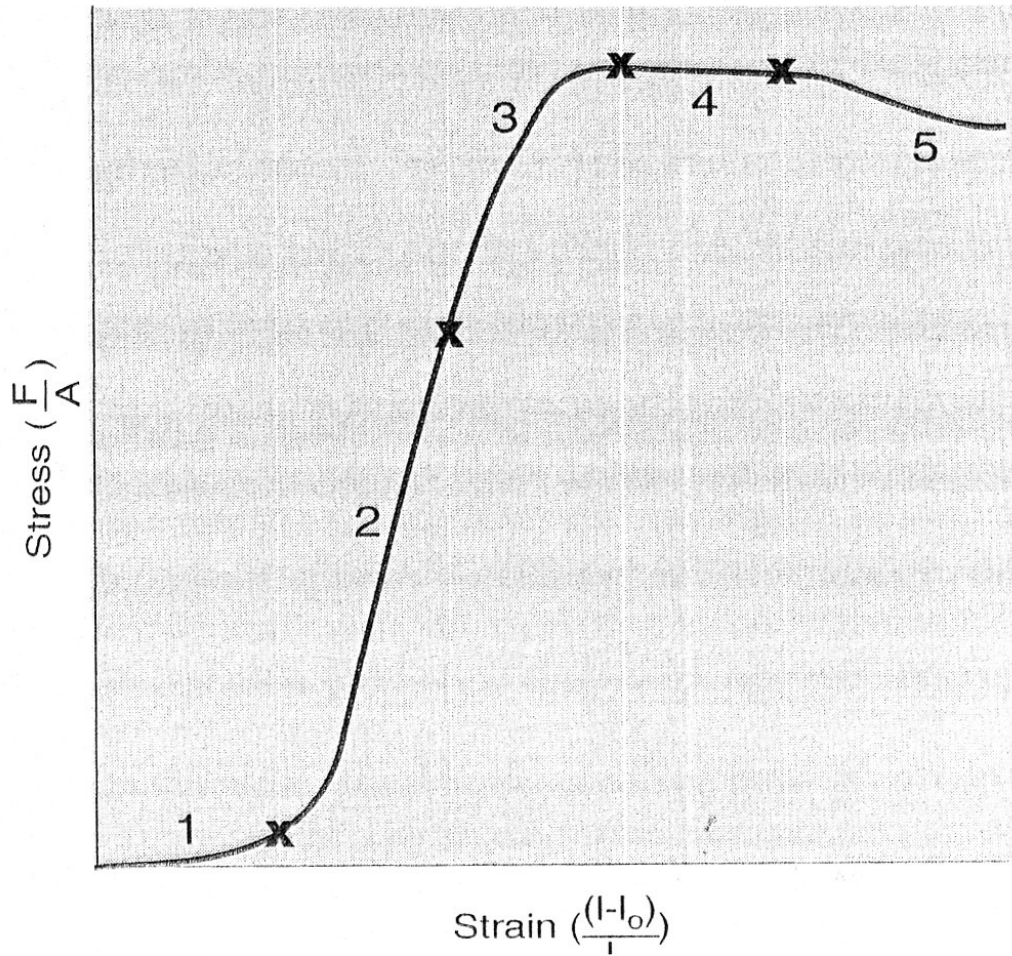


Stress-strain křivka - rozlišení 4 oblastí:



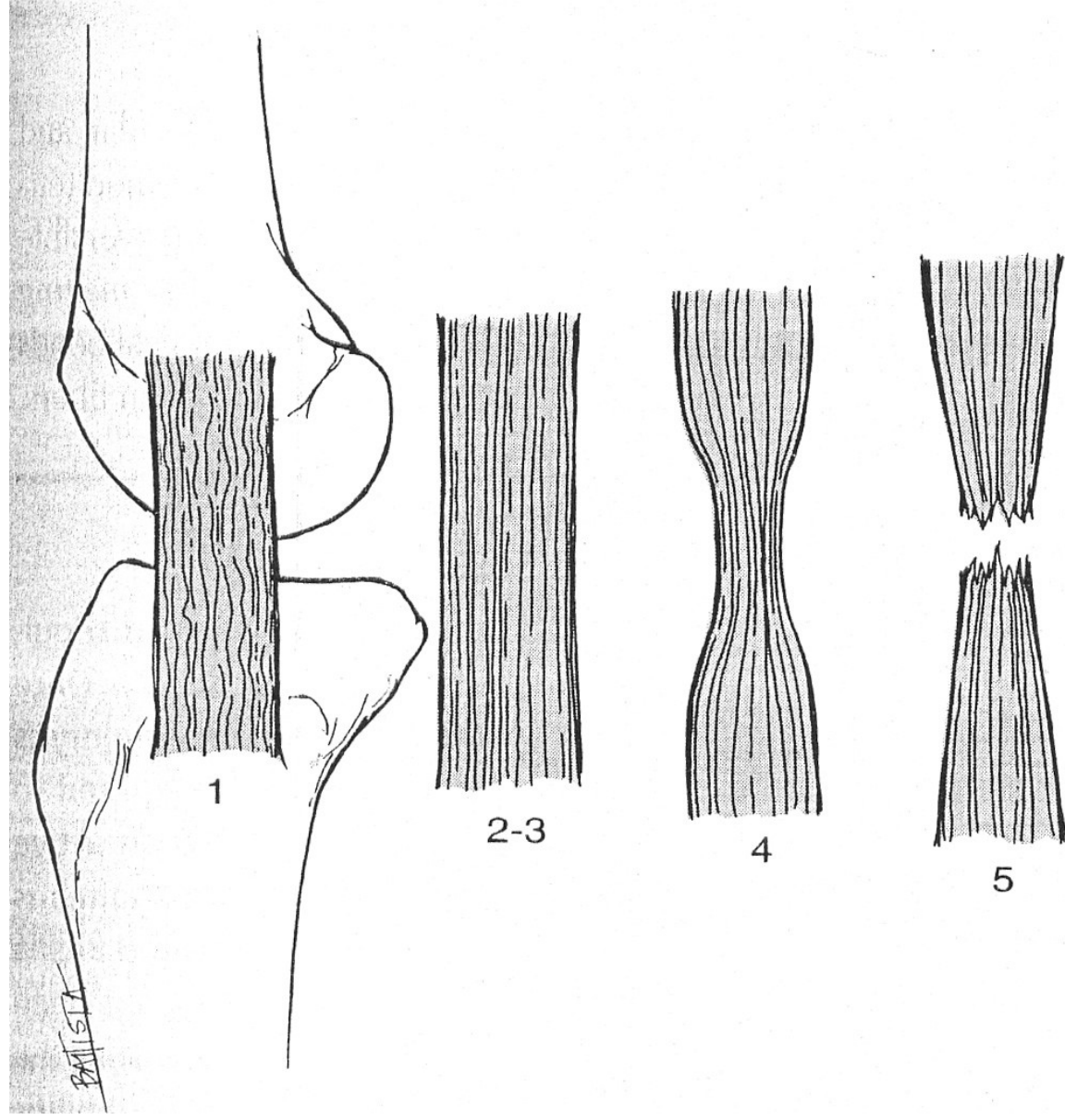
- I. úpatí
- II. lineární růst
- III. tvorba mikrotrhlin
- IV. přetržení vazů

Stress-strain křivka - rozlišení 5 oblastí:

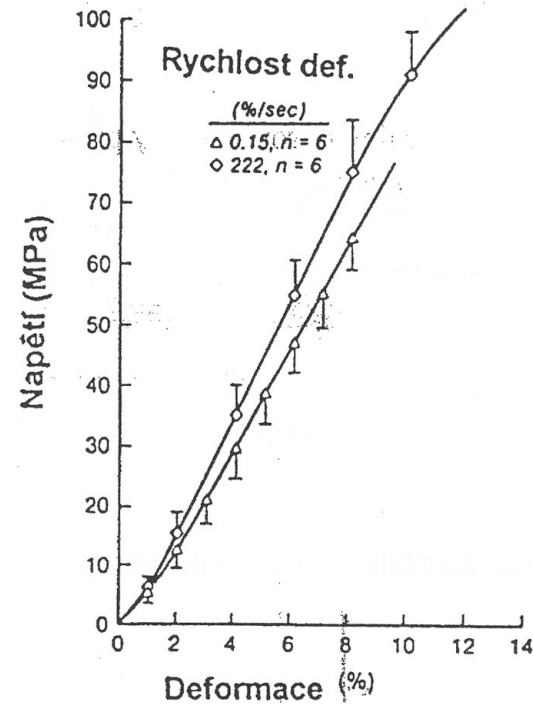
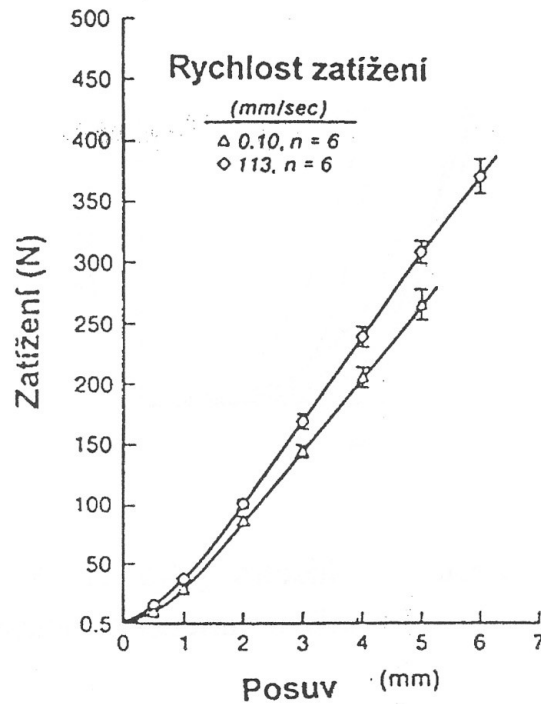


- I. úpatí
- II. lineární, elastický region
- III. progresivní selhávání, plastický region
- IV. region většinového selhání vazů
- V. region totální ruptury vazů

Makroskopické změny kolagenní tkáně vazů a šlach dle regionů stress-strain křivky



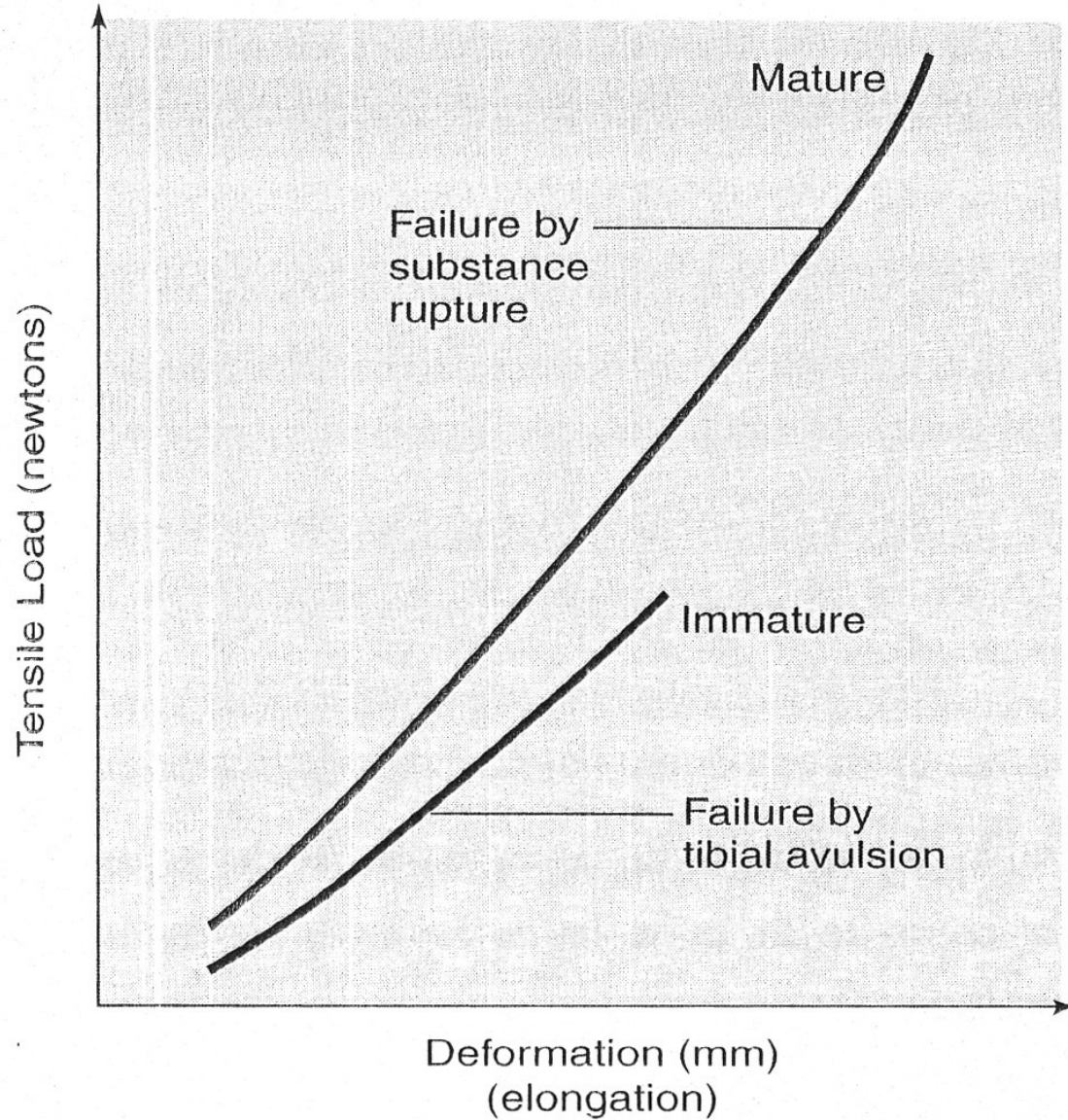
vztah rychlosti nárůstu zatížení a meze pevnosti



rychle narůstající napětí vede k ruptuře
vazu, pomalu narůstající napětí k avulzi

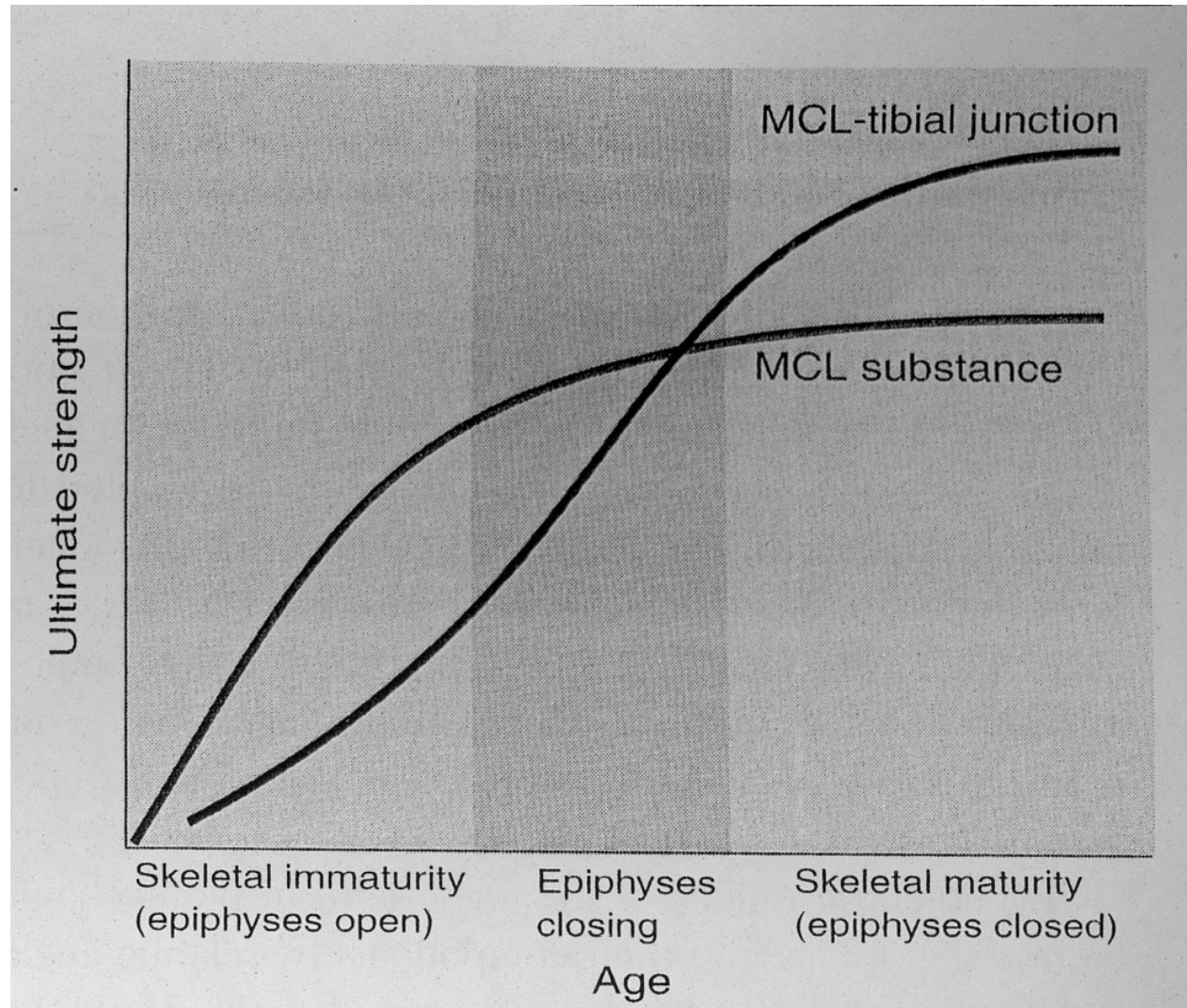
Efekt zrání a stárnutí na meze pevnosti

vývoj pravděpodobnosti ruptury
vazu a avulze ve vztahu k věku



Efekt zrání a stárnutí na meze pevnosti

vývoj maximální pevnosti - vztah mezi
pevností spojení kost-vaz a pevností
vlastního vazy u MCL králíka



Hodnoty u člověka ve věku 21 resp 79 let se liší o 200-300%

Hormonální zvláštnosti

ACTH+kortizol ↓ hladina glykosaminoglykanů

Kortizol ↓ syntéza kolagenu typu I.

relaxin ↑ extensibilita pánevních ligament
v těhotenství

estrogen, progesteron receptory doloženy v
ligamentech po zjištění většího
výskytu ruptur LCA u žen)

menstruační cyklus ???

Maximální prodloužení lidského LCA v průběhu různých terapeutických úkonů

Izometrická kontrakce kvadricepsu při 15°flexi	4,4%
Dřep se sportovním kordem	4,0 %
Aktivní flexe/extenze s „těžkou botou“ (odpor 45N)	3,8 %
Lachmanův test (150 N)	3,7 %
Dřepy	3,6 %
Aktivní flexe / extenze proti gravitaci	2,8 %
Stacionární bicykl	1,7 %

Efekt teploty

59-60°C teplota tání (ireversibilní zkrácení kolagenu)

aplikace při kloubních instabilitách - neinvazivní nebo miniinvazivní aplikace laserem, radiofrekvenční aplikace

x

↓ modul pružnosti

↓ pevnost

↓ mez deformace

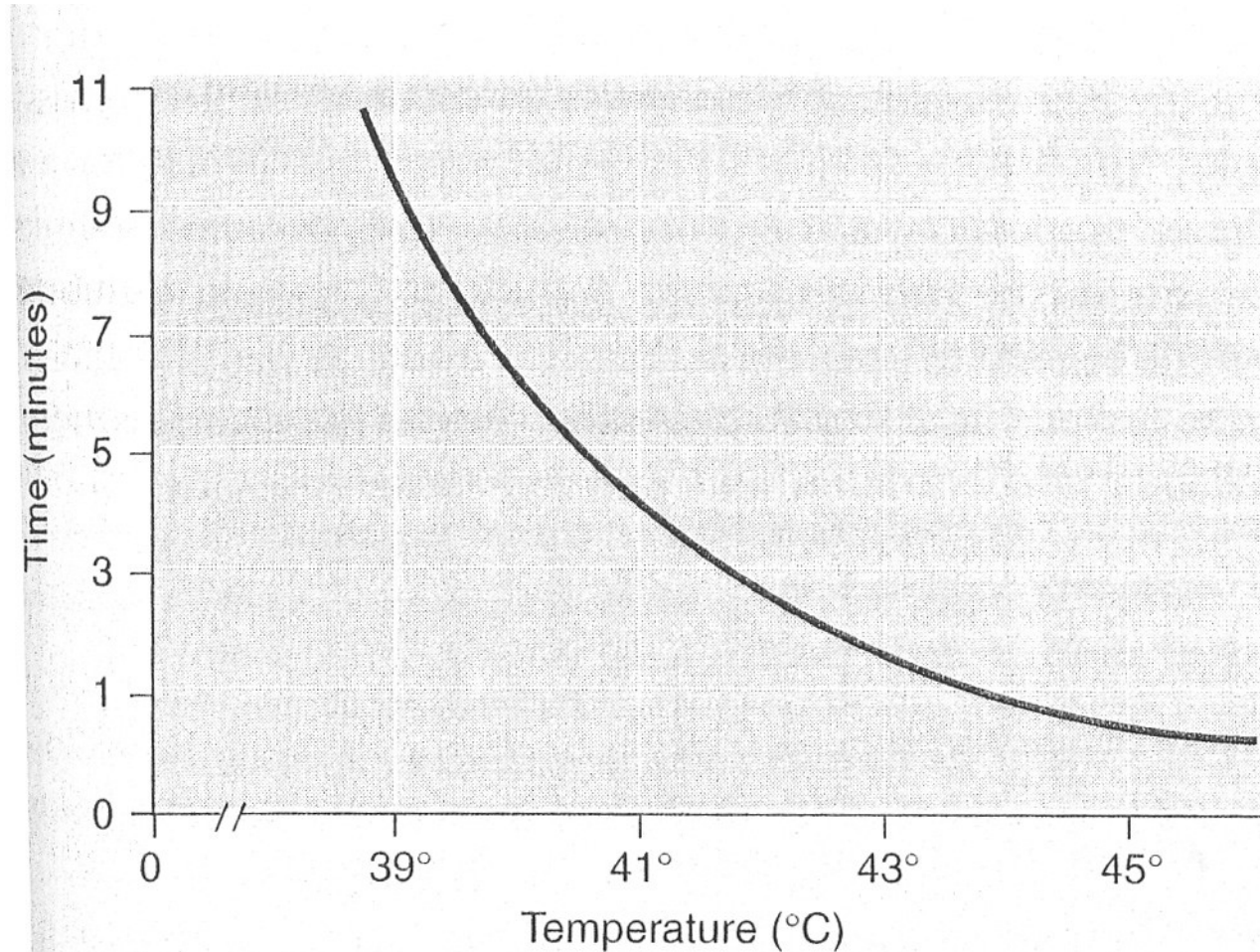
↓ mez skluzu

pouze krátkodobý efekt !!

Efekt teploty

37-40°C vzrůst relativního prodloužení ϵ při stejném zatížení ve srovnání s nižšími teplotami

Graf vztahu času a teploty potřebné k elongaci ligamenta o 3,6% (na modelu ligamenta krysího ocasu)



Efekt imobilizace

↓ pevnosti

↓ tlakové odolnosti

↓ rezistence proti maximální zátěži

↓ modulu pružnosti

↑ syntézy a degradace kolagenu (do 9 týdnu po imobilizaci, celkový objem kolagenu nezměněn)

↓ kolagenní hmoty a atrofie po 12 týdnu

↓ uspořádanost kolagenních vláken

↓ velikost svazků kol. vláken

↓ obsah vody

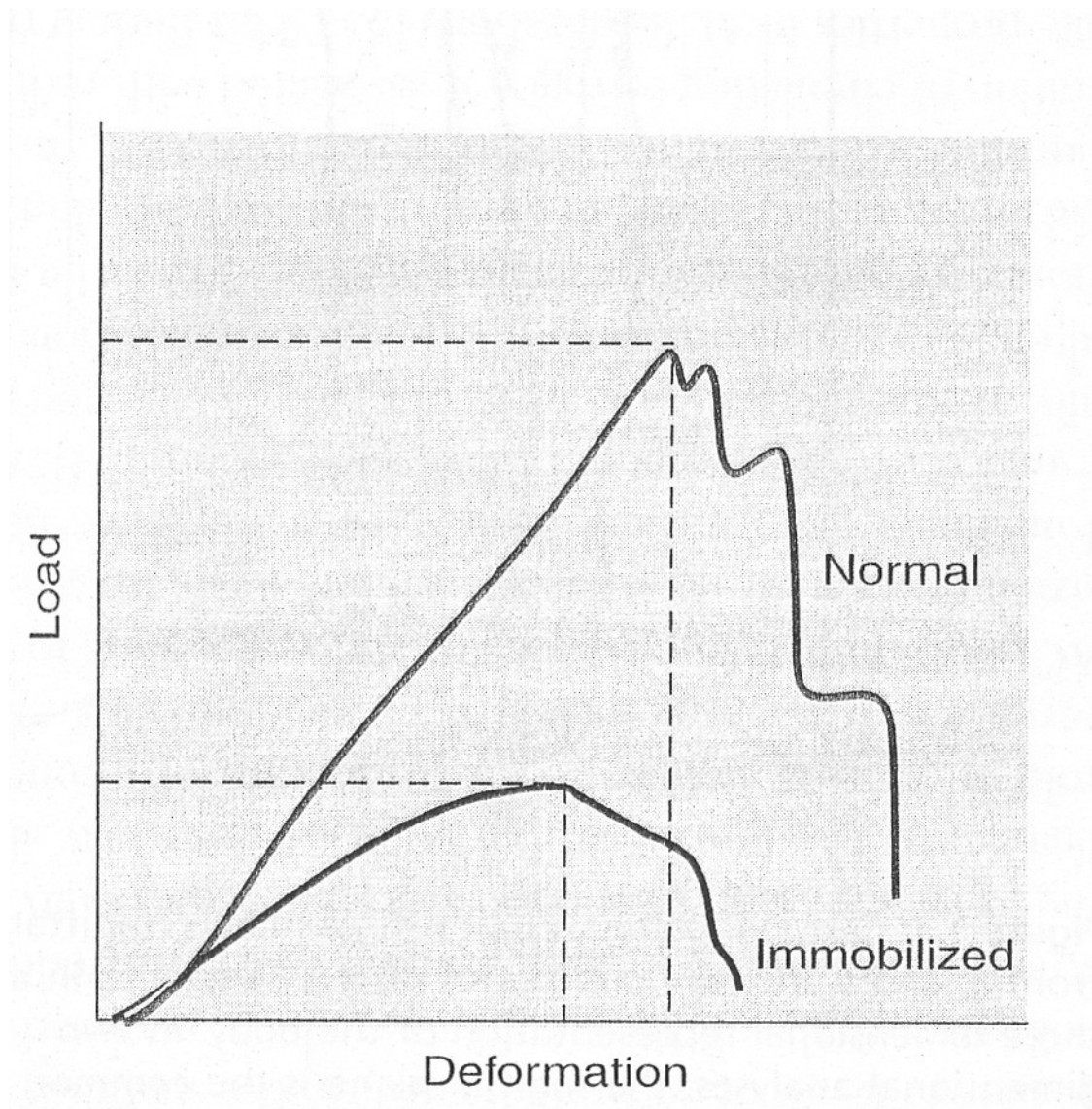
↓ glykosaminoglykanů

nerovnováha ve výše uvedených pochodech mezi jednotlivými vazivovými strukturami je výsledkem rozdílu v napětí imobilizovaných vazivových struktur

- čím větší napětí, tím menší degradace -

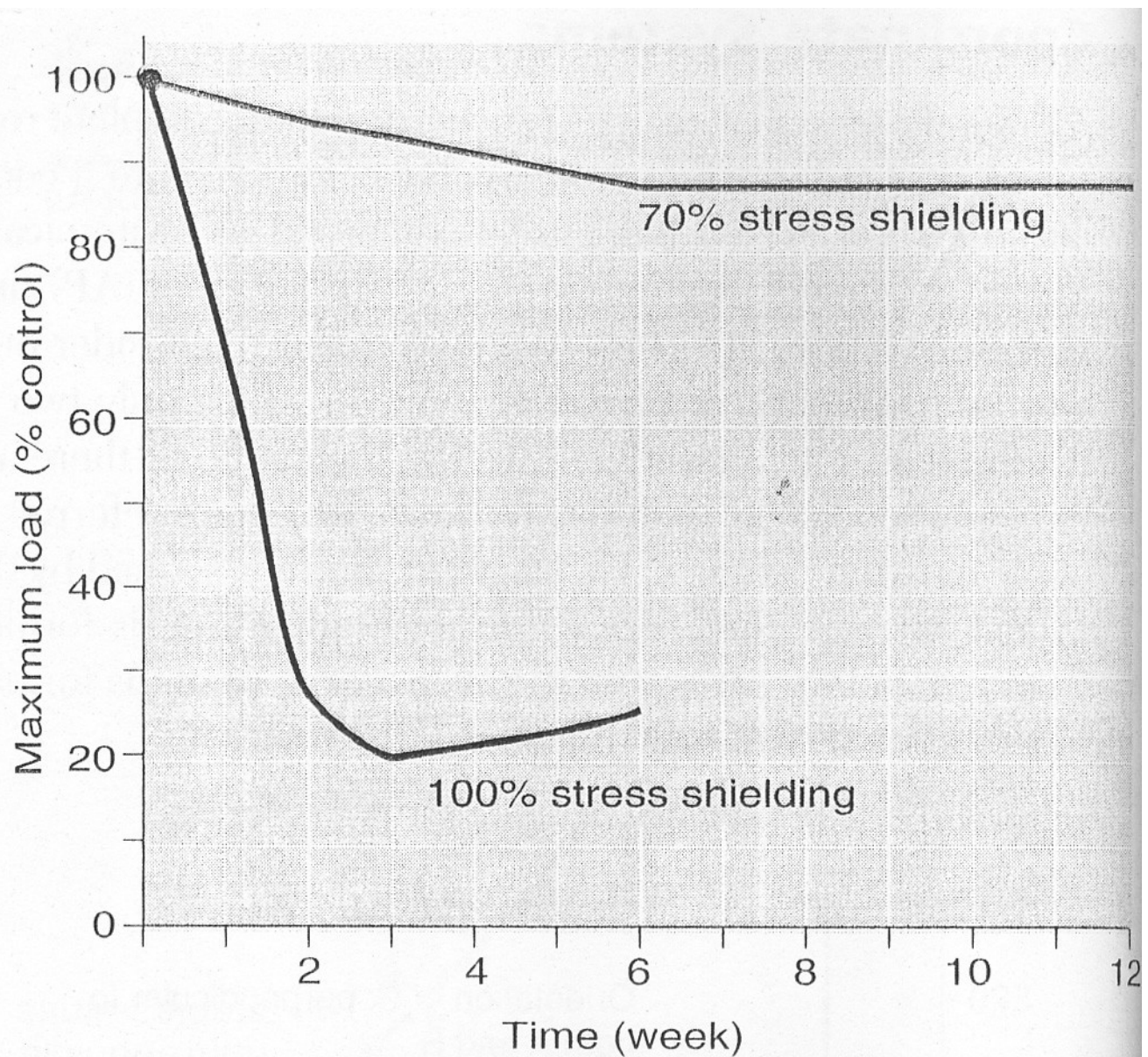
křivka zátěž - deformace pro
normální a imobilizovaný kloub

Efekt imobilizace



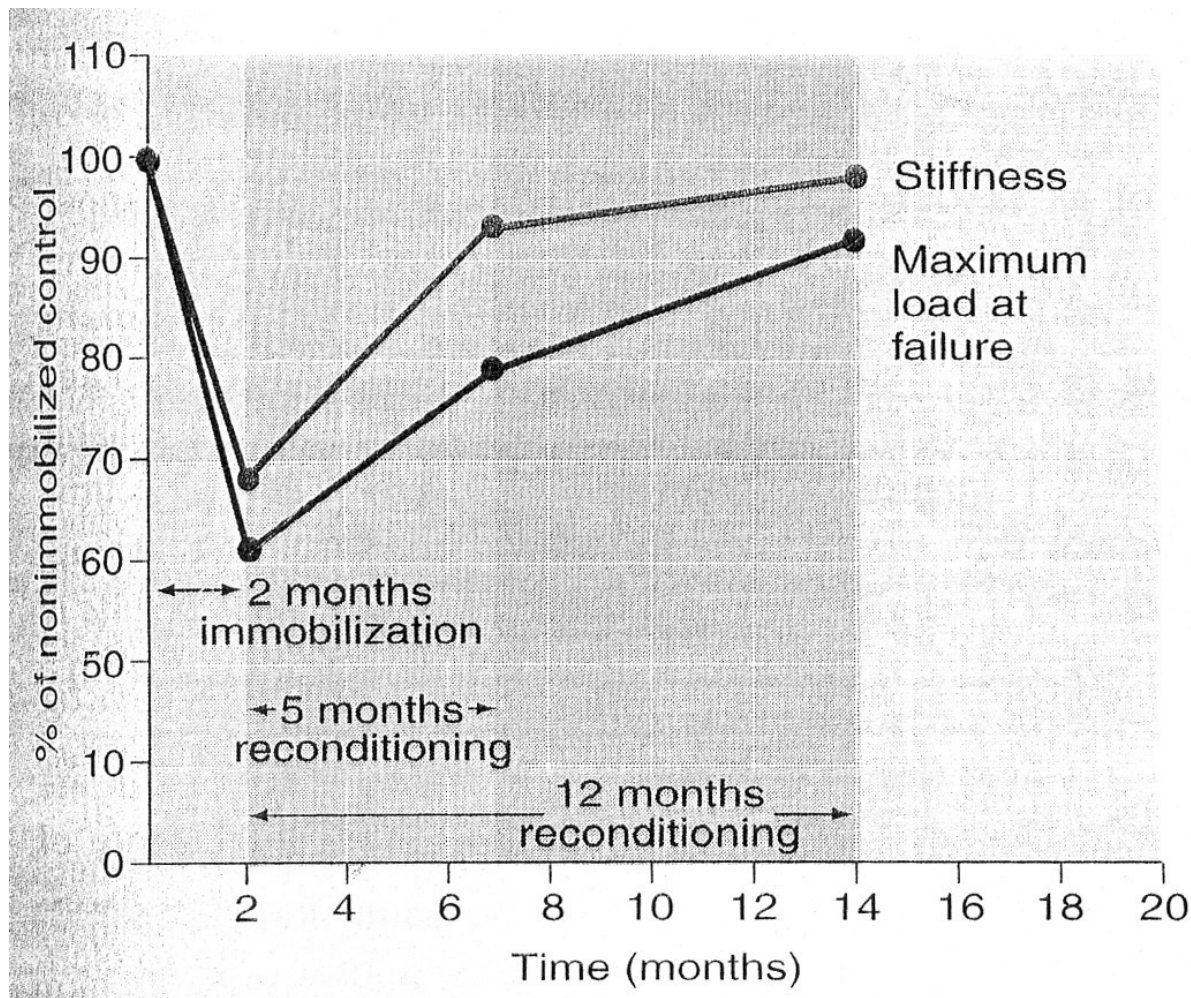
Efekt imobilizace

Efekt omezení namáhání
patelárního vazů králíka v %



Efekt rekondice po imobilizaci

Testování na vzorku ACL primátů



Hojení pojivové tkáně

- Fáze I.: vyplnění ruptury krví + zánětlivá reakce lymfocytů a leukocytů
- Fáze II.: zánětlivá fáze s makrofágy, neovaskularizace a formace granulační tkáně, chemotaxe fibroblastů a jejich proliferace
- Fáze III.: produkce kolagenu I, III a V a amorfní mezibuněčné matrix (I. týden po zranění)
- Fáze IV.: remodelace, maturace, zvyšování density mezibuněčné matrix, orientace kolagenních vláken
- Kvalita závislá na nutrici + adekvátně stimulující zátěži!!!

Hojení pojivové tkáně

↓ pevnosti

↓ tlakové odolnosti

↓ rezistence proti maximální zátěži

↓ modulu pružnosti

↑ podíl kolagenu III

↓ uspořádanost kolagenních vláken

↓ velikost svazků kol. vláken

↓ obsah vody

↓ glykosaminoglykanů

!!! časná mobilizace !!!

(využití částečné fixace ortézami, tapingem, dlahováním, ...)

vhodná zevní aplikace růstových faktorů (BB, β_1)

Výsledky hojení pojivové tkáně

Vždy nižší kvalita než před poraněním!!

Nestejná tendence ke zhojení
např. LCA vs. LCM, LCL

Závislost na časnosti mobilizace!!
(specifický vs. nespecifický RHB plán)

NÁVRH POSTUPU REHABILITACE PO ARTROSKOPICKÉ PLASTICE LCA ¶

I.-II. týden ¶

Chůze s 2 francouzskými berlemi bez zatížení operované DK (1. den po operaci třídobá chůze a co možná nejméně, postupně dvoudobá chůze). ¶

Izometrie mediálního vastu quadricepsu (minimálně každou hodinu 5x). ¶

Aktivní cvičení na periferii – hlezení kloub. ¶

Dosažení plné extenze v^o kolenním kloubu (v I. týdnu „towel extension“, ve II. týdnu „prone hangs“ – obě polohy pouze při omezení plné extenze!! – viz. příl.) ¶

Dosažení 90° flexe v^o kolenním kloubu (motodlaha postupně od 60 do 75 až 90°, od druhého týdne „wall slide“ – viz. příl.) ¶

Proti otoku: elevace do zvýšené polohy, kryoterapie (ledování), nízko a středofrekvenční elektroterapie. ¶

Mobilizace femoropatelního kloubu po odstranění stehů. ¶

Měkké techniky k péči o jizvu/y. ¶

Cvičení PNF v^o kotníku proti manuální rezistenci. ¶

Doporučuje se používat kolenní ortézu typu „limited motion“ s^o omezením rozsahu pohybu do flexe v^o rozsahu 0-90°. ¶

Doporučuje se redukce hmotnosti až po dosažení ideální hmotnosti, tj. dle BMI (hmotnost [kg]/výška [m]²) pro ♂ 20-24, ♀ 20-25. ¶

¶

III. týden ¶

Kolenní ortéza s^o možností omezení rozsahu pohybu (0-90°). ¶

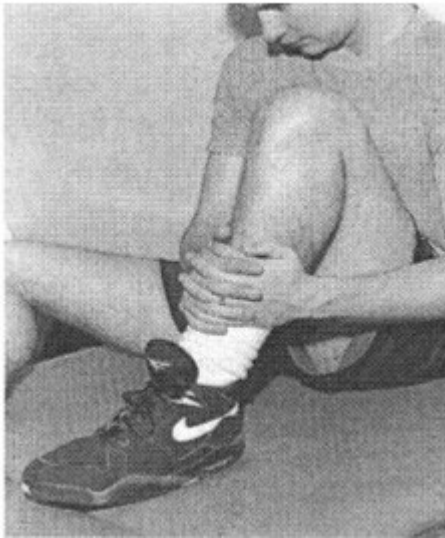
Chůze s 2 francouzskými berlemi, postupně zvyšovat zátěž až do 50%. ¶

Začíná se aktivní flexe v^o kolenním kloubu (možno proti manuální rezistenci). ¶

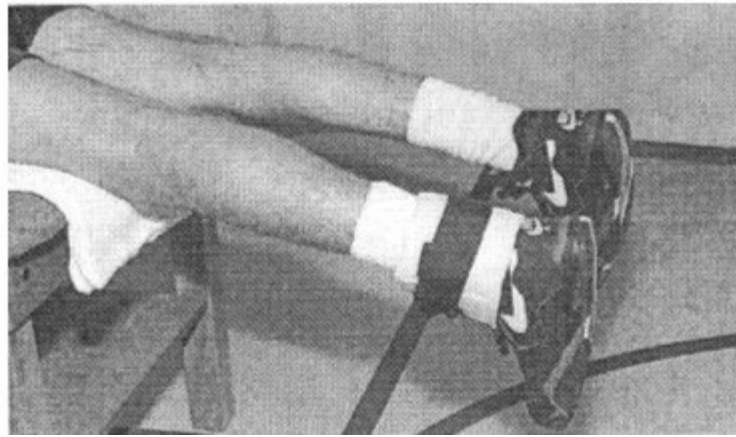
Začíná se s^o cvičením na nestabilních plochách (s ortézou a dopomocí, je-li potřebná). ¶

Začíná se cvičení PNF flexe, extenze a diagonál v^o kyčelním kloubu s^o extendovaným kolenem a odporem kladeným nad kolenem. ¶

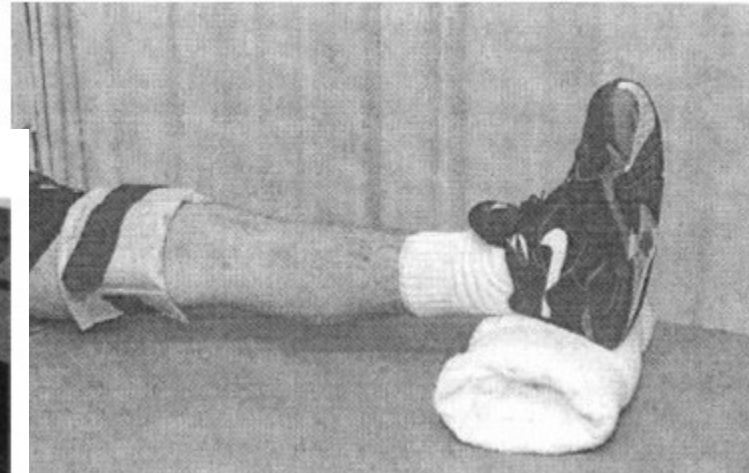
Heel slides



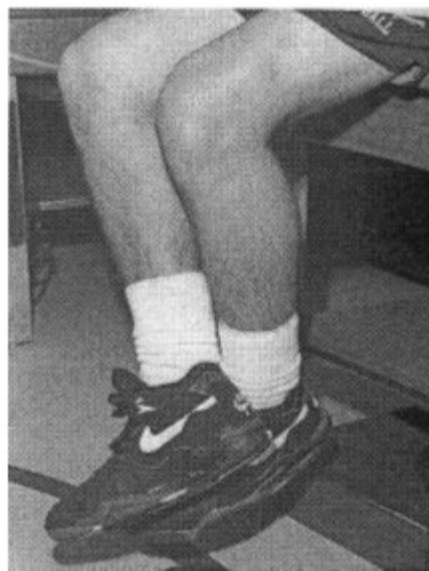
Prone hangs



Towel extension

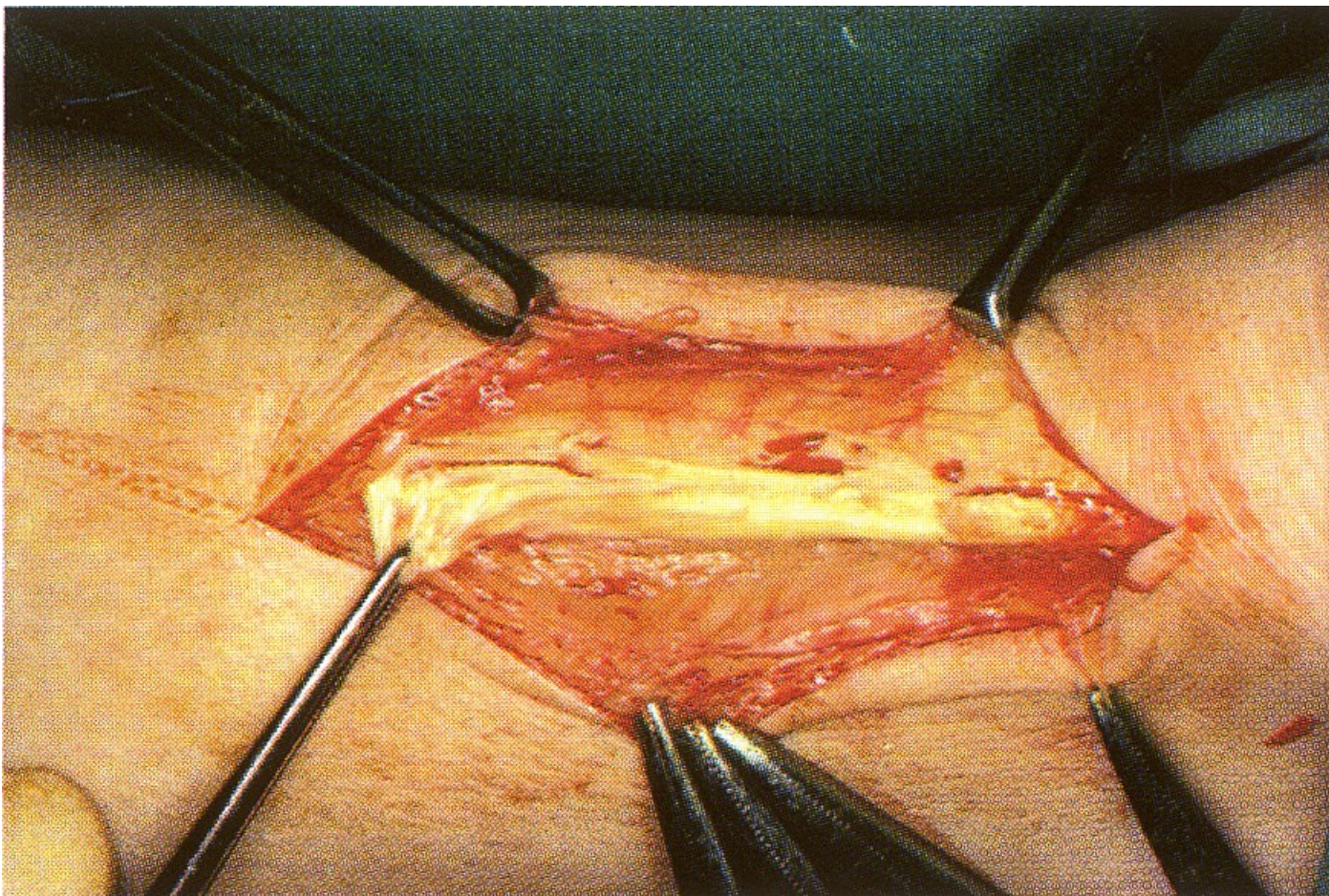


Aktivní asistovaná flexe

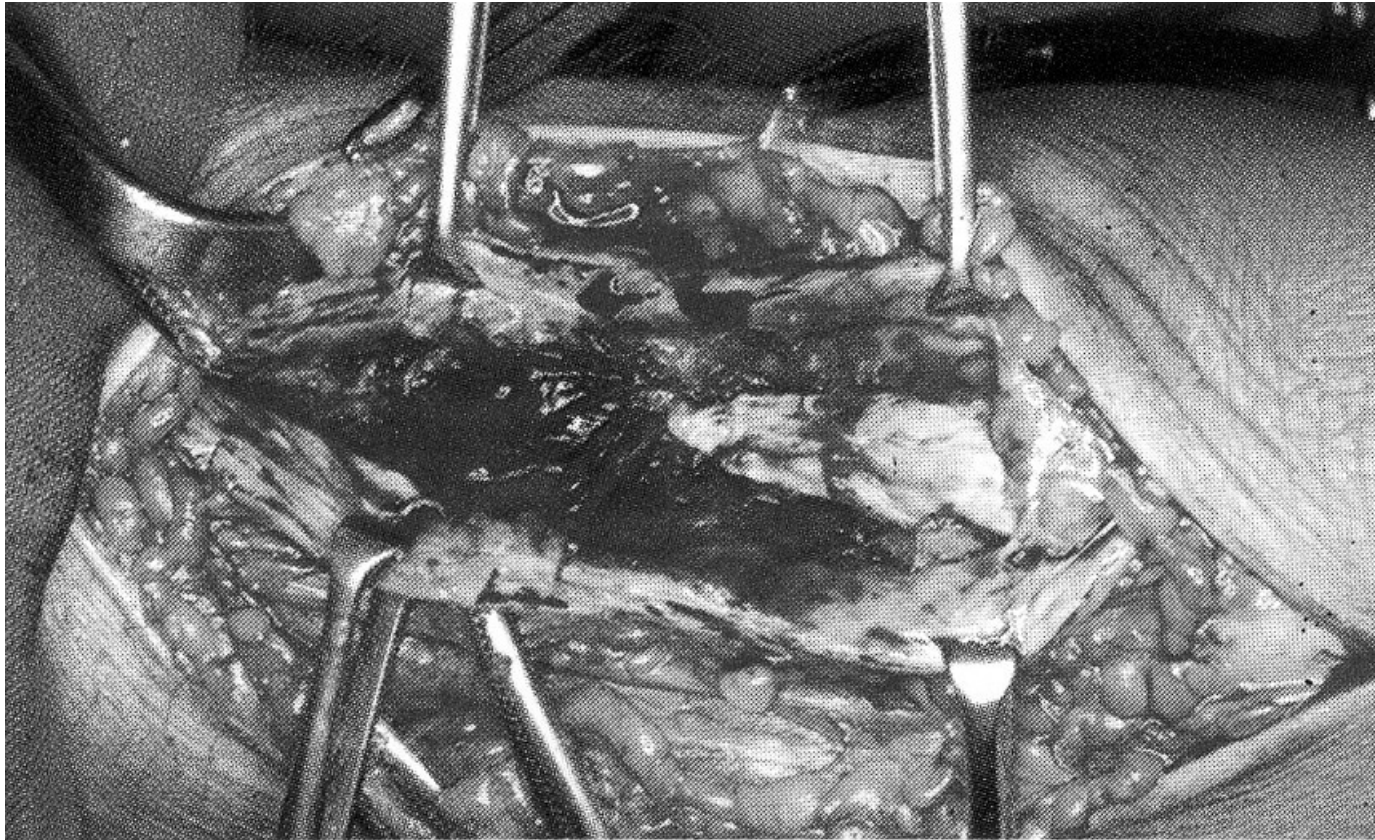


Wall slide

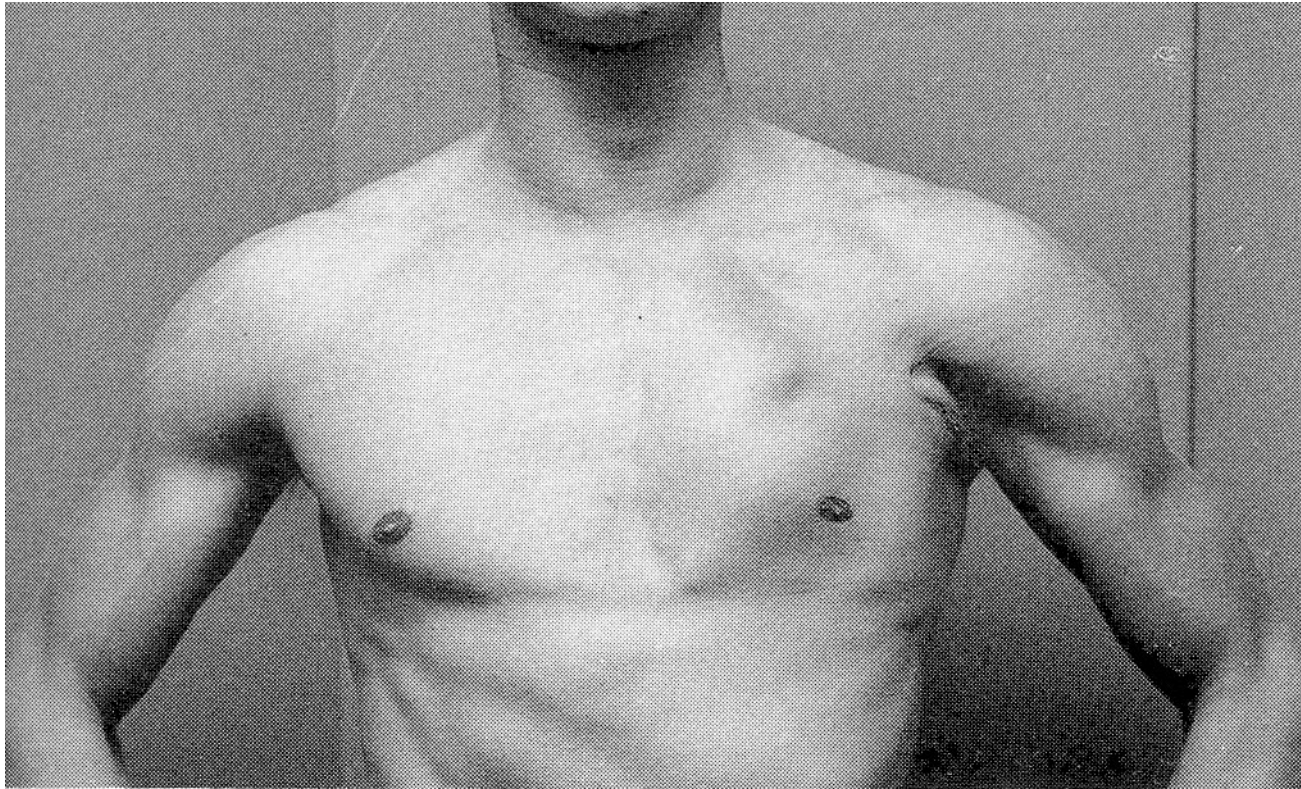




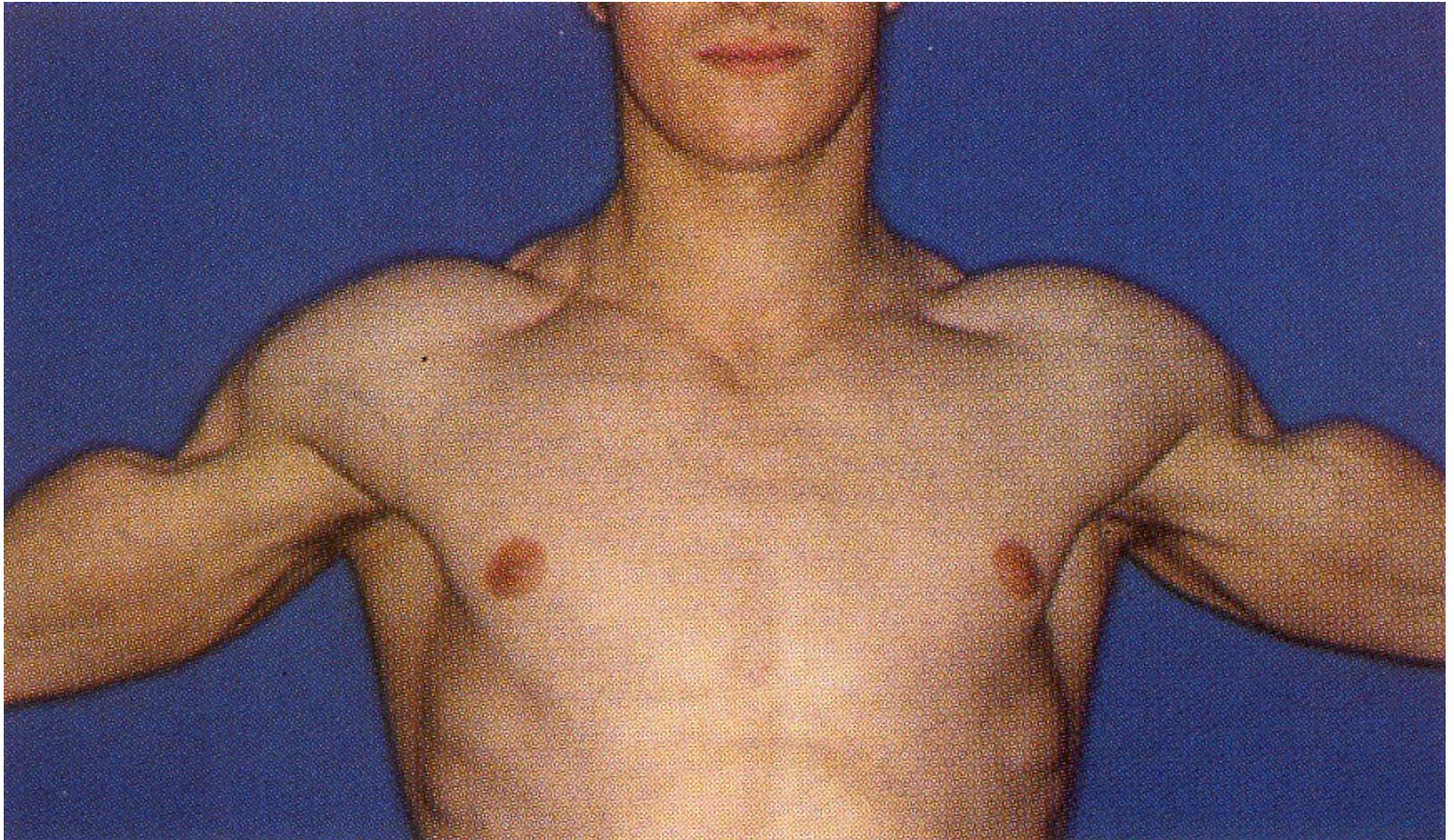
parciální ruptura Achillovy šlachy



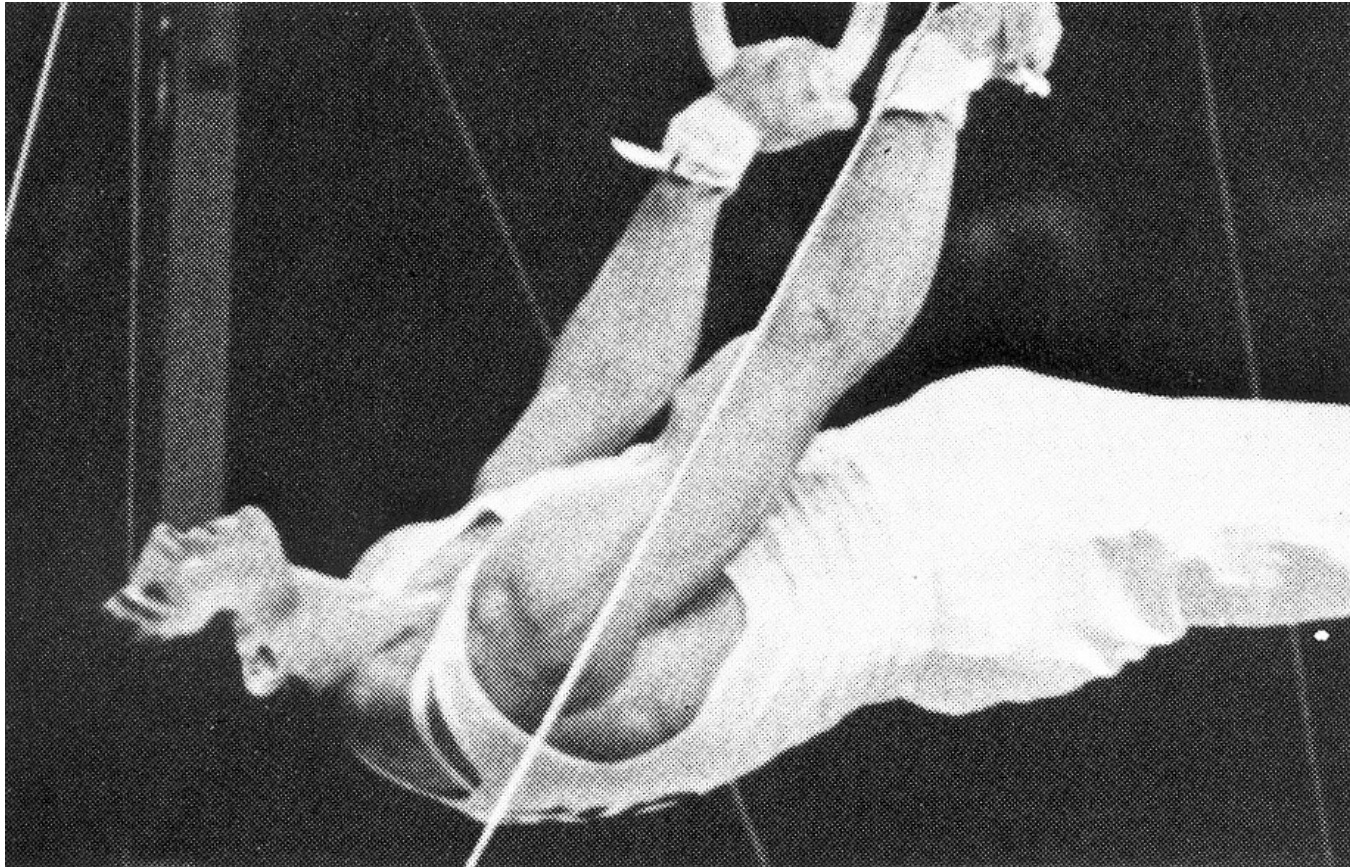
kompletní ruptura Achillovy šlachy u profesionálního hráče netballu



ruptura šlachy m. pectoralis major u vodního lyžaře



ruptura šlachy dlouhé hlavy bicepsu u gymnasty

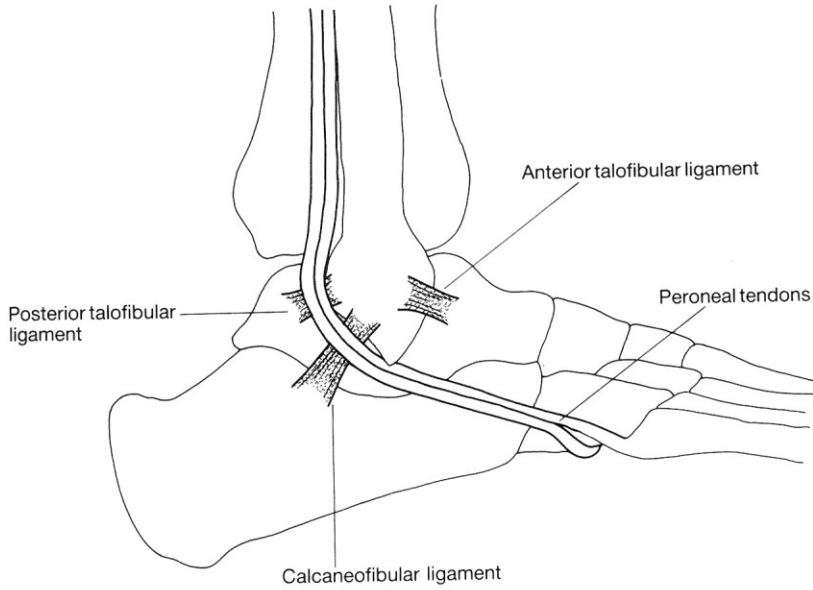


Gymnasté nepotřebují dlouhou hlavu bicepsu ???

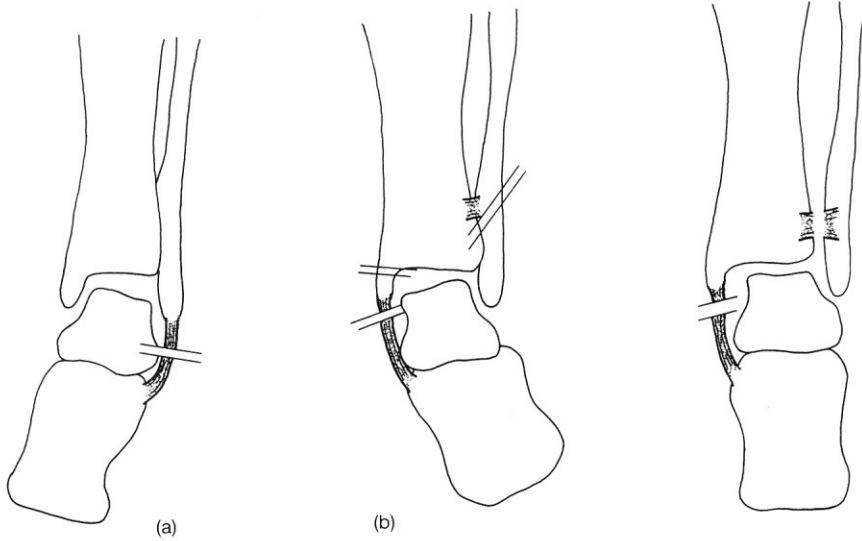


spondylolisthesis

ruptury ligament v oblasti hlezna



a) ruptura lig. fibulocalcaneare při násilné inverzi



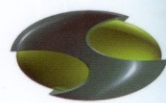
b) ruptura lig. deltoideum, lig. tibiofibulare při násilné everzi

luxace horního hlezna - test přední zásuvky ++



luxace horního hlezna - talární tilt > 20°





SportVis™

Keeping active people active

PRO LÉČBU DISTORZE KOTNÍKU

1. a 2. stupně

- ✓ zkracuje dobu hojení
- ✓ snižuje počet rekurencí



STABHA™ (Soft Tissue Adapted Biocompatible Hyaluronic Acid)

SportVis obsahuje biokompatibilní kyselinu hyaluronovou upravenou pro aplikaci do měkkých tkání (STABHA).

Biokompatibilita STABHA s měkkými tkáněmi je zaručena

- ✓ unikátním výrobním procesem
- ✓ vysokou čistotou
- ✓ vysokou dynamickou viskozitou
- ✓ optimálním pH



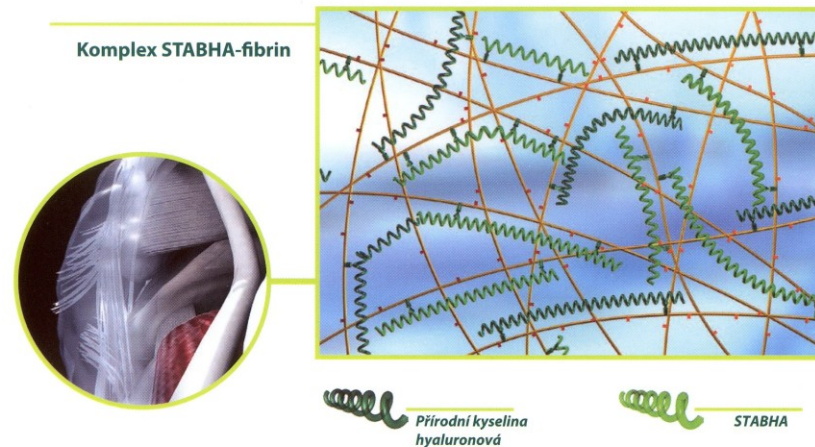
Jiné přípravky s kyselinou hyaluronovou nelze aplikovat do měkkých tkání, protože nesplňují požadavky na biokompatibilitu a nemají žádoucí fyzikální vlastnosti.

Mechanismus účinku

STABHA vytváří v poškozeném vazu komplex s fibrinovými vlákny

Komplex STABHA-fibrin

- ✓ Mechanicky zpevňuje poškozené vazy – funguje jako „vnitřní dlaha“
- ✓ Zlepšuje kvalitu hojení – snižuje zjizvení tkáně
- ✓ Reguluje migraci zánětlivých buněk – působí protizánětlivě a analgeticky

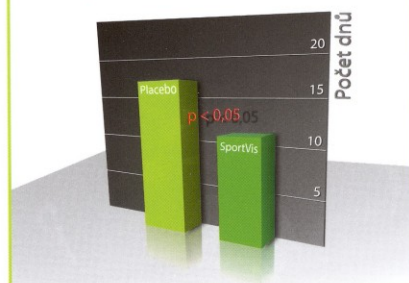


„STABHA se specificky váže na fibrin ... zvyšuje a stabilizuje objem a fyzikální strukturu fibrinového gelu. STABHA je schopná navázat velký objem vody a vytvořit porézní viskoelastický gel“ Weigel et al.

Výsledky klinických studií

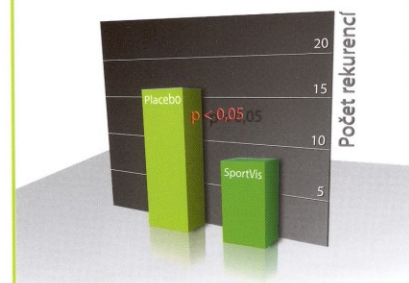
STABHA zkracuje o třetinu dobu hojení a umožňuje tak rychlejší návrat ke sportovním aktivitám

Doba hojení (do návratu ke sportovním aktivitám)



STABHA snižuje o polovinu počet rekurencí distorze kotníku

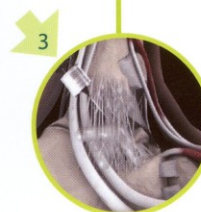
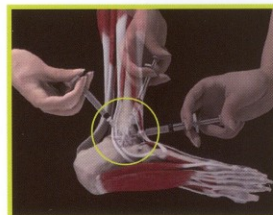
Počet rekurencí distorze kotníku během 18 měsíců



Jak použít SportVis?

- ✓ První injekci SportVisu aplikovat do 48 hodin od zranění, druhou injekci za dalších 48 hodin
- ✓ Doporučená velikost jehly: 0,40 x 20mm
- ✓ Doporučená technika aplikace: Jedním vpichem se aplikuje obsah injekce postupně do 3 míst (tzv. vějířovitá neboli fanning technika)

Vějířovitá
technika
aplikace

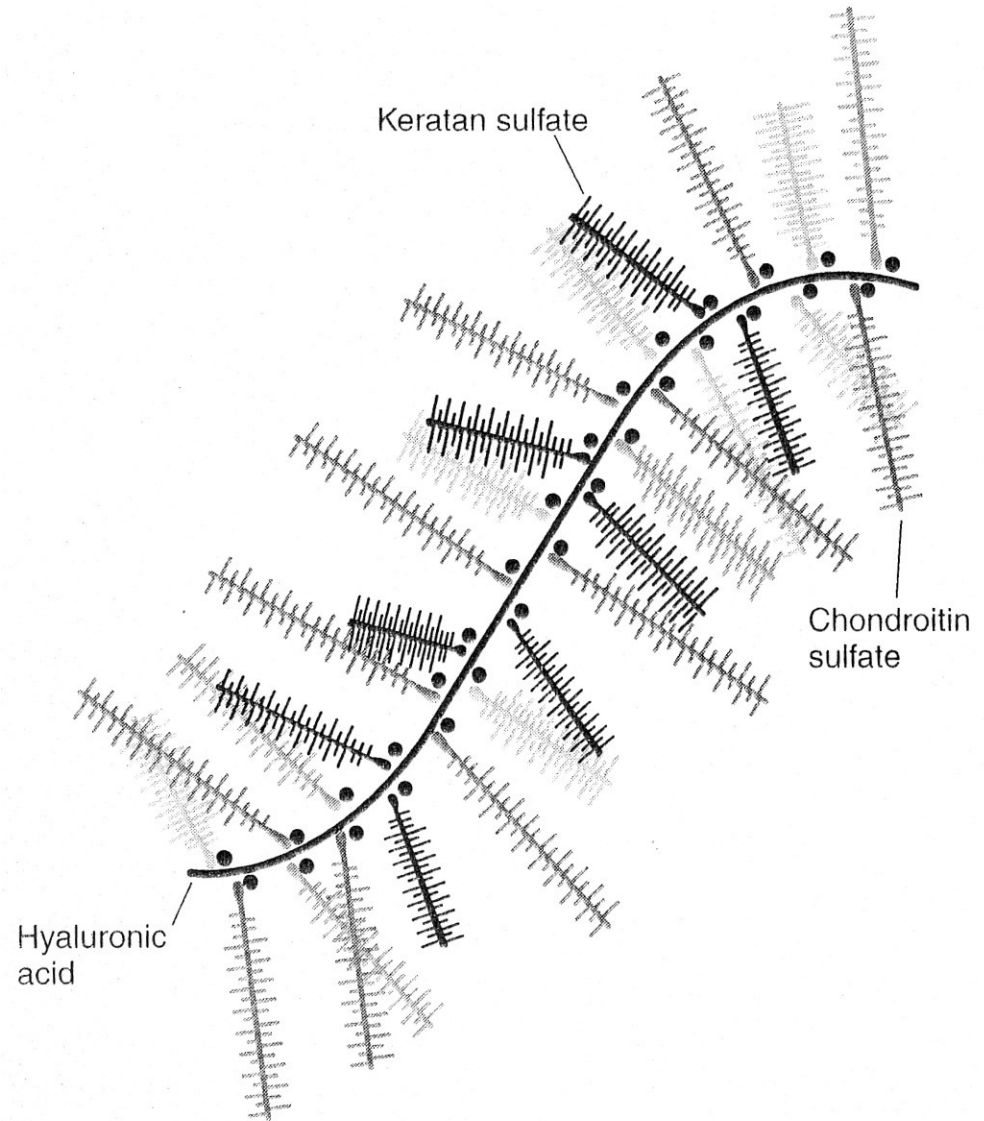


CHRUPOAVKA

Struktura chrupavky

- Buňky (20% objemu tkáně)
 - fixní
 - chondrocyty(fibrocyty)
 - retikulární buňky
 - pigmentové buňky
 - tukové buňky
 - buňky bloudivé
 - makrofágy
 - žírné buňky
 - plazmatické buňky
 - krevní elementy
- Mezibuněčná matrix
 - voda (70-85%)
 - proteoglykany(30% sušiny)
 - kolagen (60-70% sušiny)

Vztah jednotlivých složek amorfní hmoty



Mechanické vlastnosti chrupavky

- hyalinní chrupavka (klouby, nos, skelet průdušnic, žebra)
- elastická chrupavka (ušní boltce, Eustachova trubice)
- vazivová chrupavka (meziobratlové disky)

Mechanické vlastnosti kloubní chrupavky jsou dány:

- poměrem mezi vlákny elastinu a kolagenu
- uspořádáním vláken a tekutiny mezibuněčné hmoty (80%)

Vlastnosti:

- anizotropní
- nehomogenní

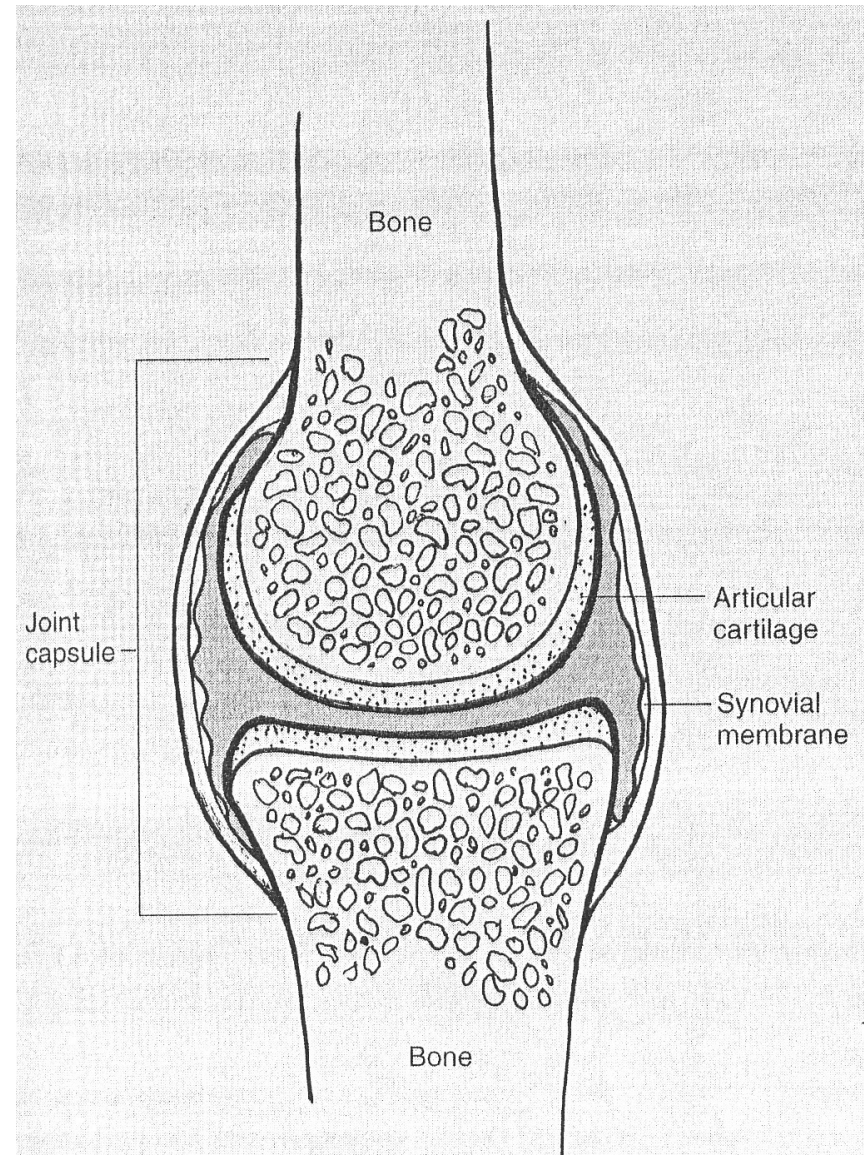
Fyziologické zatěžování v tlaku

Význam kloubní chrupavky

- přenášení tlakového zatížení v kloubním spojení kostí
- rozložení tlakového zatížení na větší plochu
- tlumení rázových zatížení (tzv. superfiltrační schopnost chrupavky – vytékání tekutiny z pórovité matrice – snižování objemu chrupavky – snižování tuhosti)
- snižování koeficientu tření mezi styčnými plochami kostí
 - valivý odpor
 - kluzný pohyb (význam synoviální tekutiny)

- průměrná tloušťka hyalinní kloubní chrupavky člověka 2,21 mm

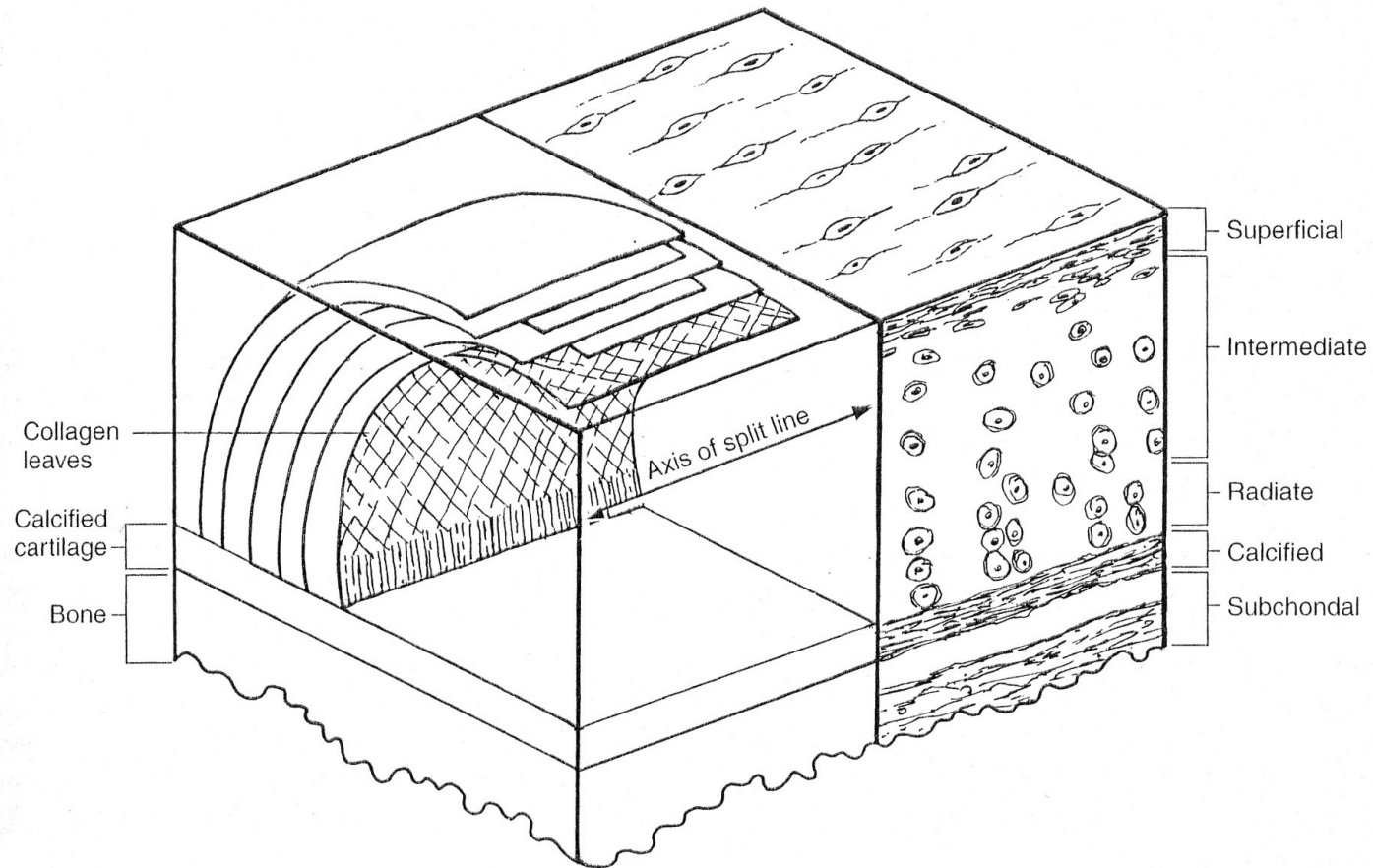
- synoviální tekutina průměrného kloubu nepřesahuje 1 ml



Lubrikace kloubu

- Koeficient tření mezi chrupavkami: 0,001
- Koeficient tření materiálu teflon: 0,04

Stratifikace hyalinní chrupavky



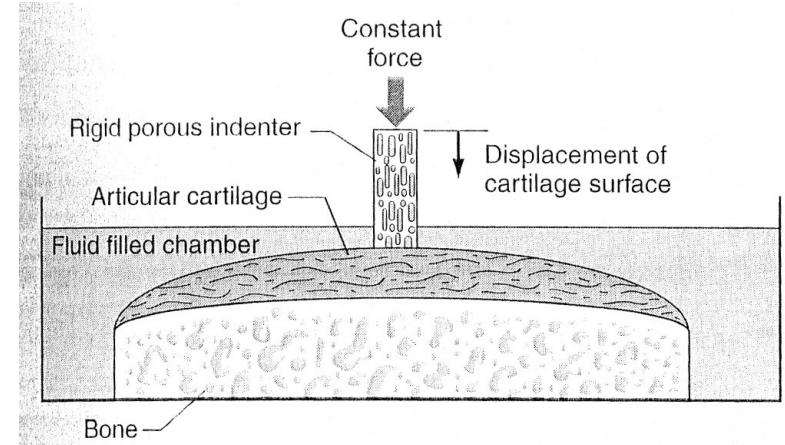
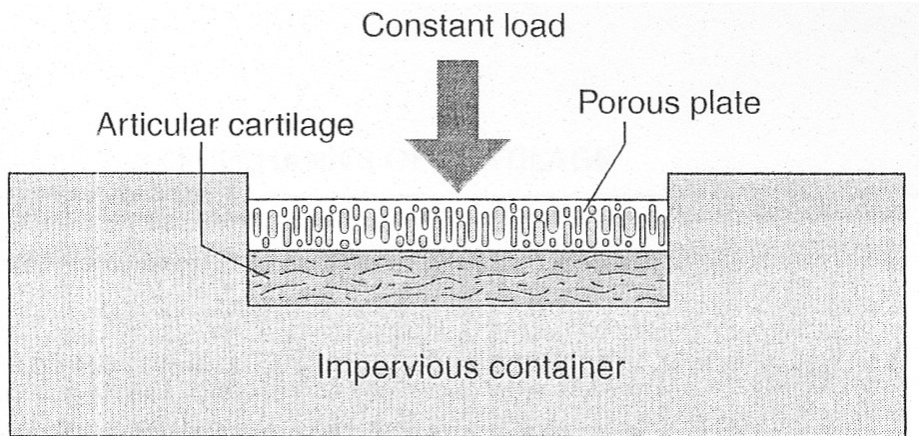
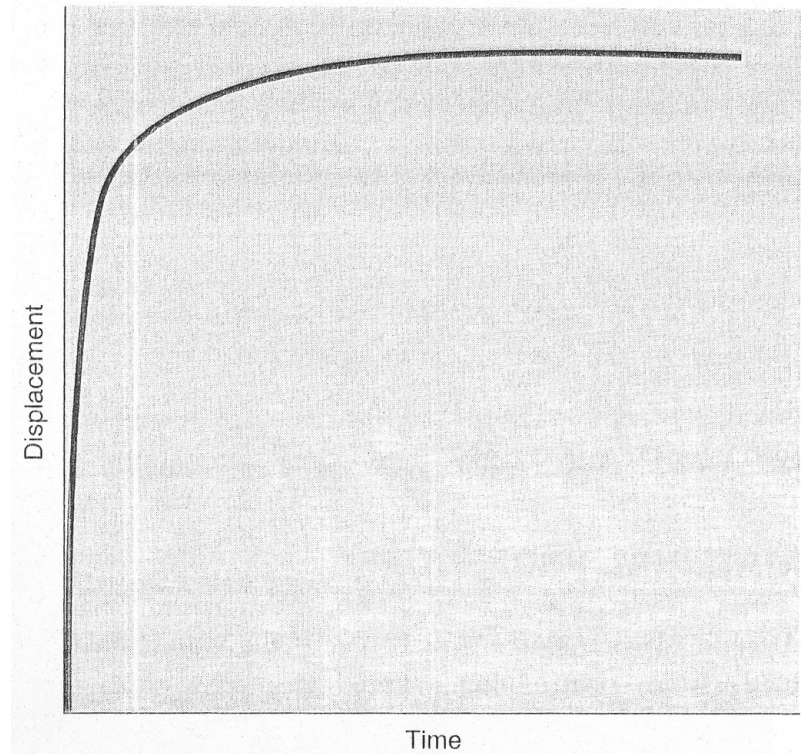
Bifázický model chrupavky

Dvojí podstata mechanické funkce chrupavky:

- Fluidní fáze (migrace vody - nestlačitelné!)
- Solidní fáze (elastická, nestlačitelná)

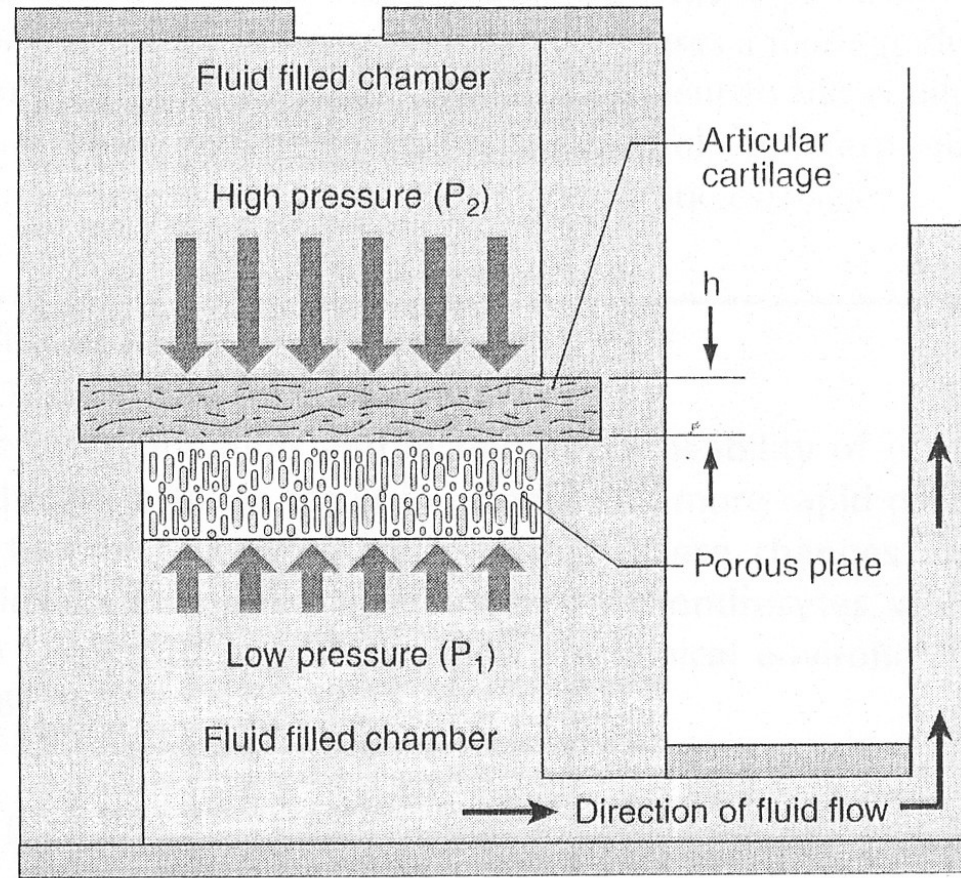
Změna výšky chrupavky při zatížení je výsledkem fluidních vlastností, nikoli stlačitelnosti chrupavky!!

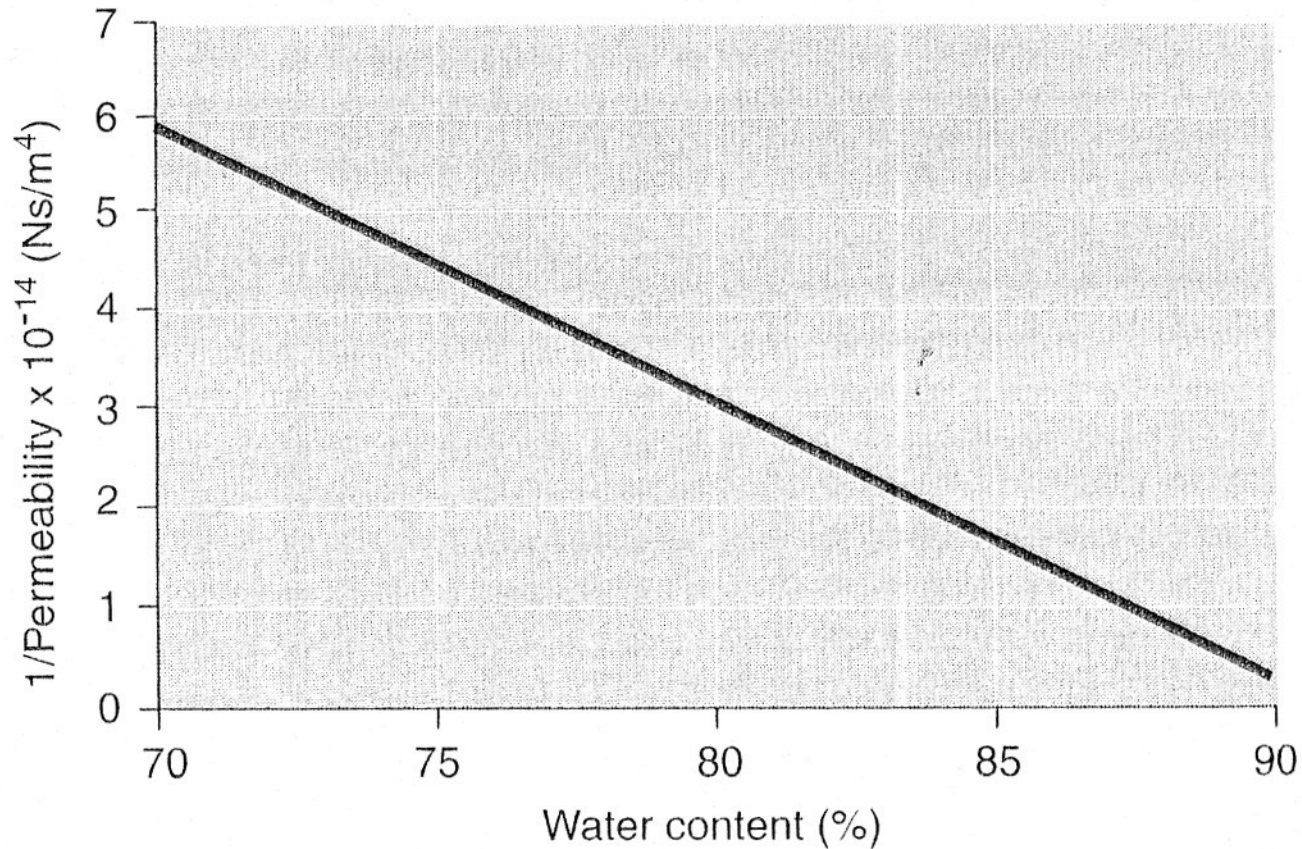
Testování změny výšky chrupavky při zatížení



Rozdílná permeabilita jednotlivých zón chrupavky

Při zatížení převažuje proudění vody směrem k povrchu kloubní plochy





závislost obsahu vody v
chrupavce a permeability

Patologie chrupavky

Osteoartróza (v USA 2. nejčastější příčina disability)

+

kloubní instabilita (mají stejný projev):

↑ permeabilita chrupavky (rychlejší ztráty vody)

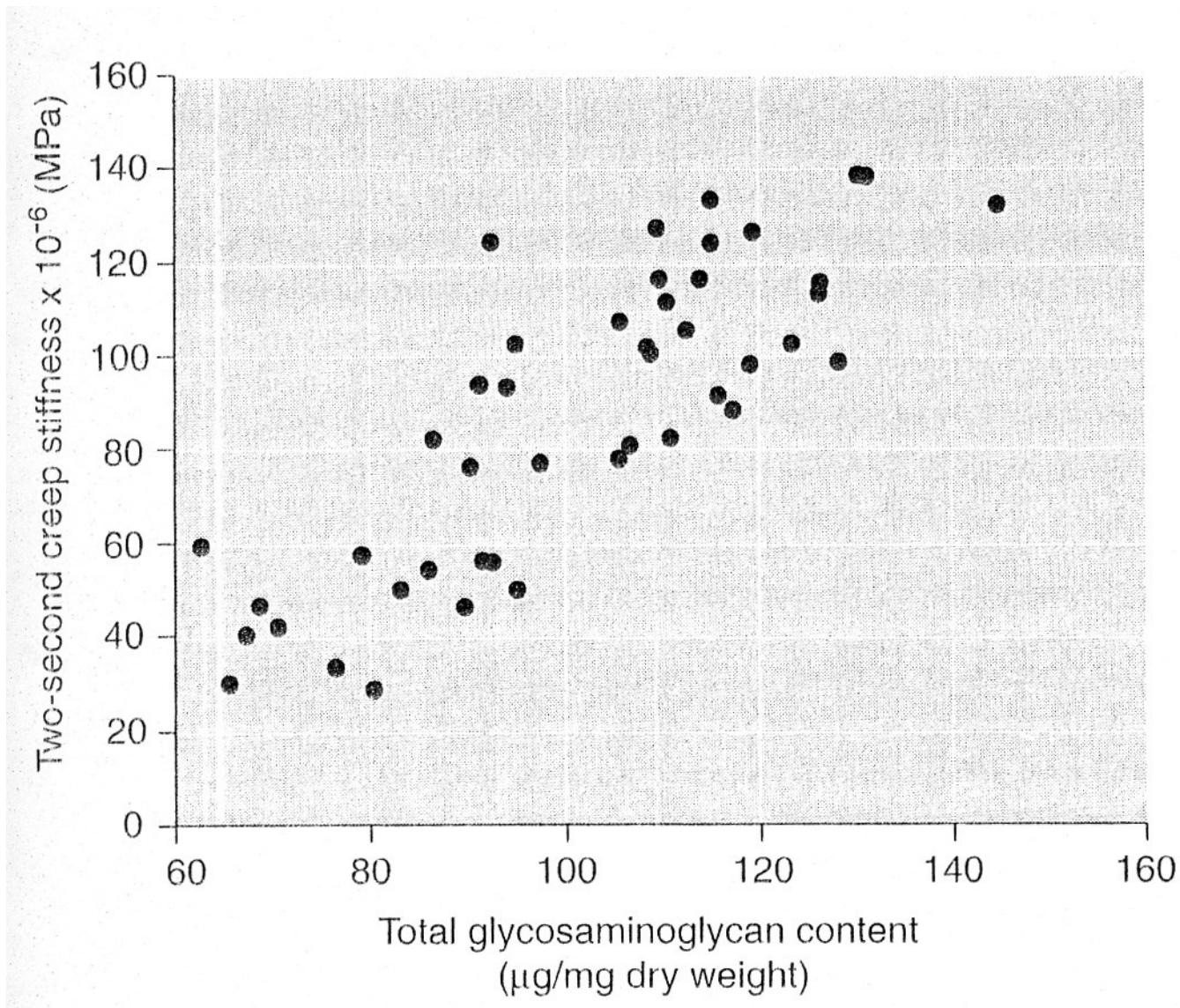
↓ modul pružnosti (snížená tuhost)

↓ hladina glykosaminoglykanu (snížená tuhost)



snadná deformovatelnost a náchylnost ke vzniku trhlin, fibrotizaci a "opotřebení"

(důkazy na testech s králíky, psi, ...)



vztah mezi obsahem glykosaminoglykanu a tuhostí chrupavky

Faktory ovlivňující kvalitu chrupavky

Věk (80% osob nad 65 let, 100% osob nad 80 let)

+

Pohlaví (po 55 roku převládá u žen)

+

Heritabilita

+

Mechanismus pohybu v kloubu (špatné nebo nadměrné zatěžování kloubu - spíše intenzita zátěže než frekvence a délka zatížení)

+

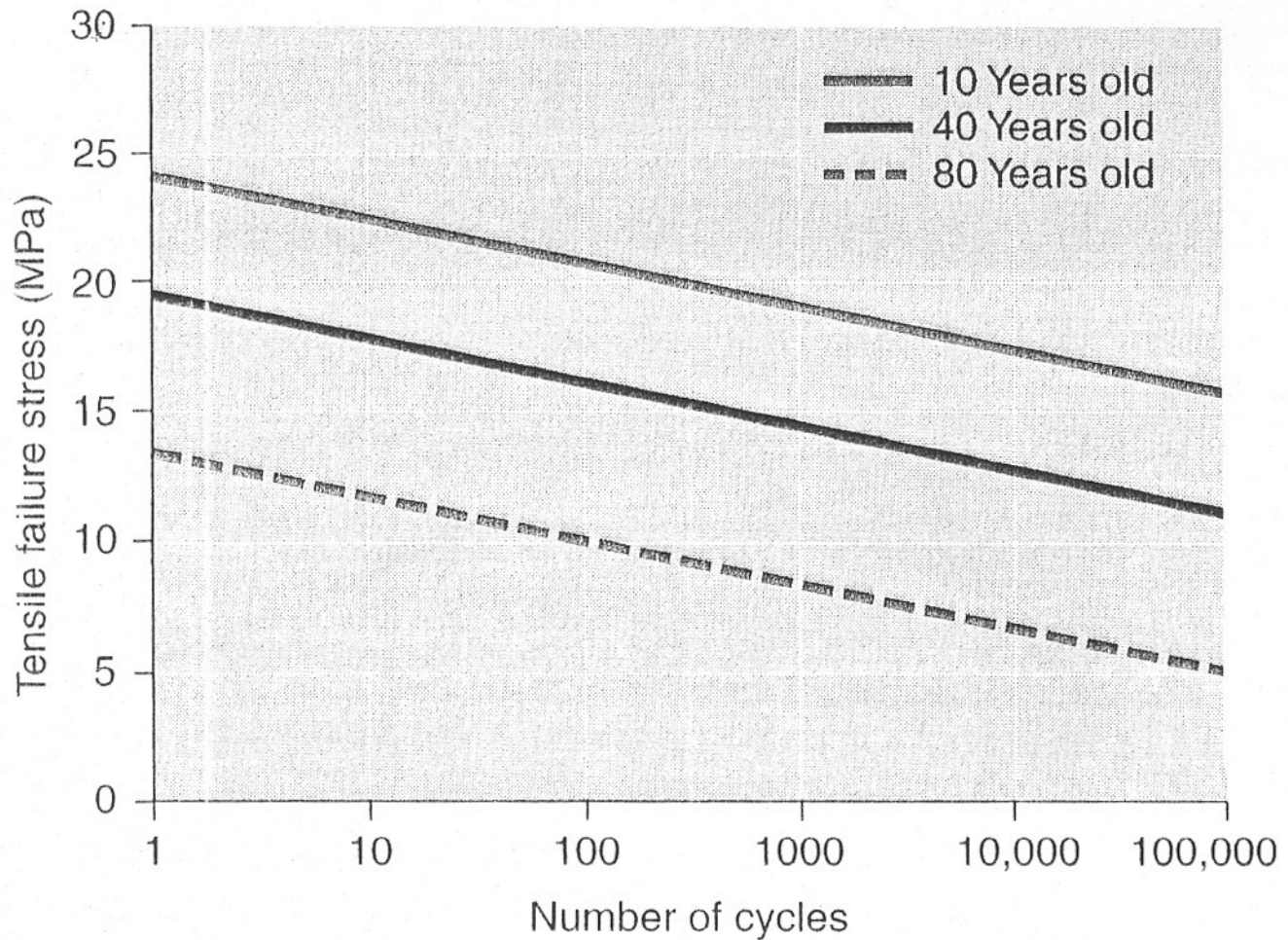
biologické vlastnosti chrupavky

+

biochemické vlastnosti chrupavky

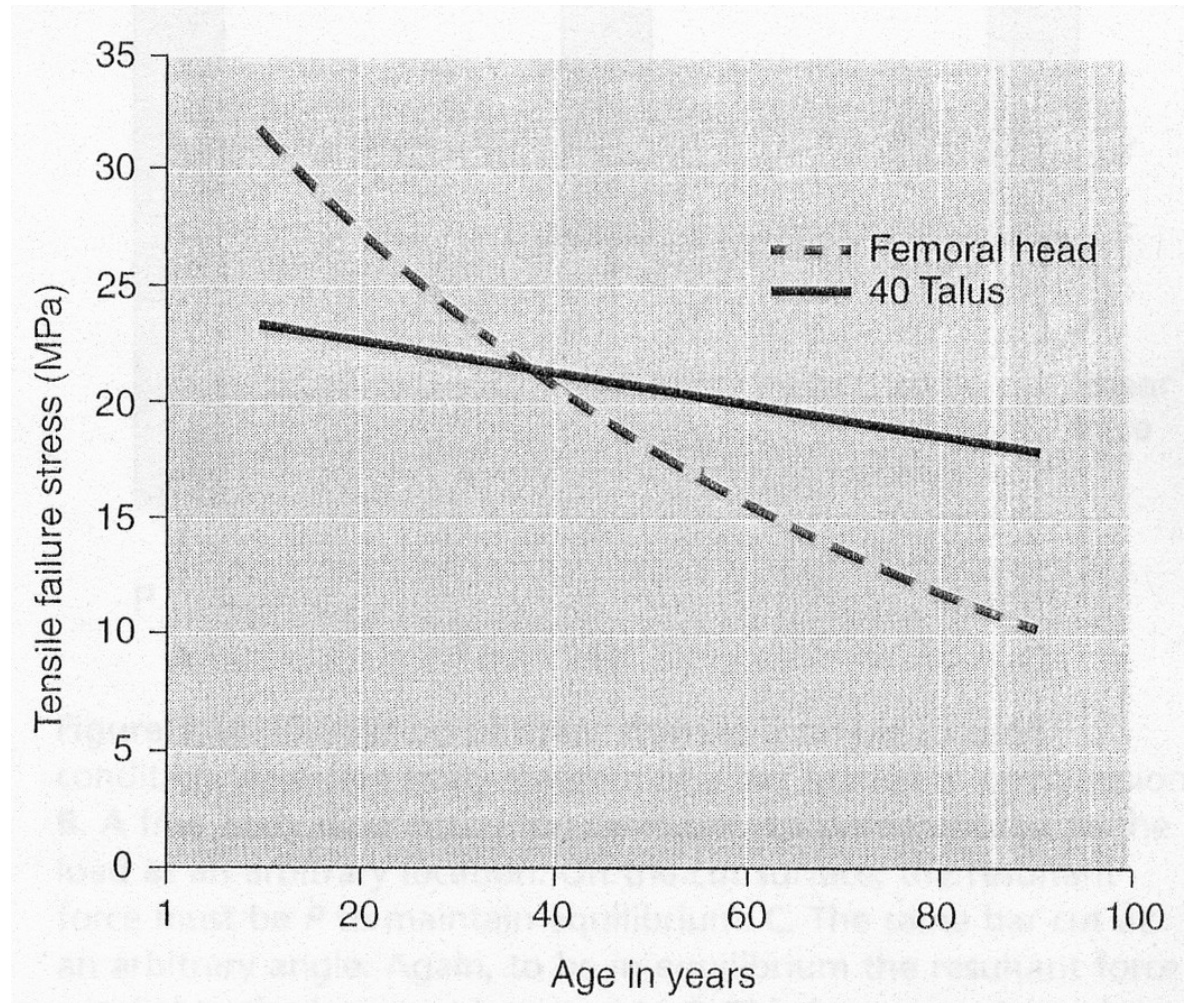
Vliv věku na kloubní chrupavky

Vztah mezi opakovaným tlakovým zatížením a tlakovou odolností chrupavky

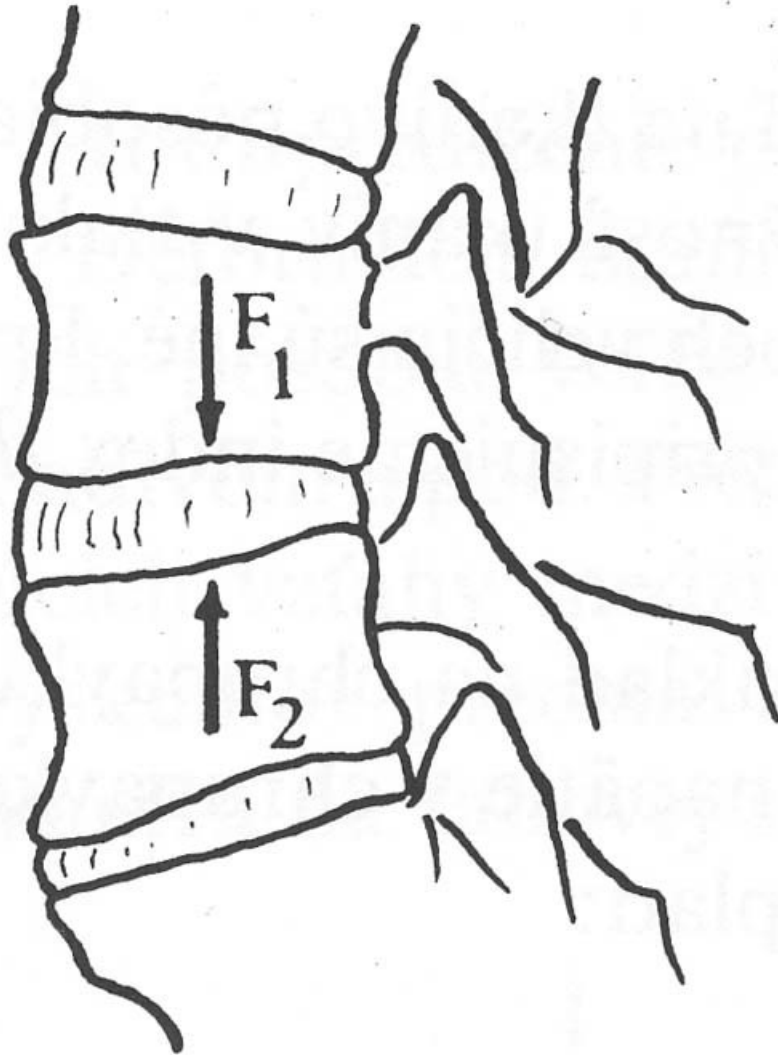


Vliv věku na kloubní chrupavky

Vliv věku na kloubní
chrupavky rozdílné
lokalizace



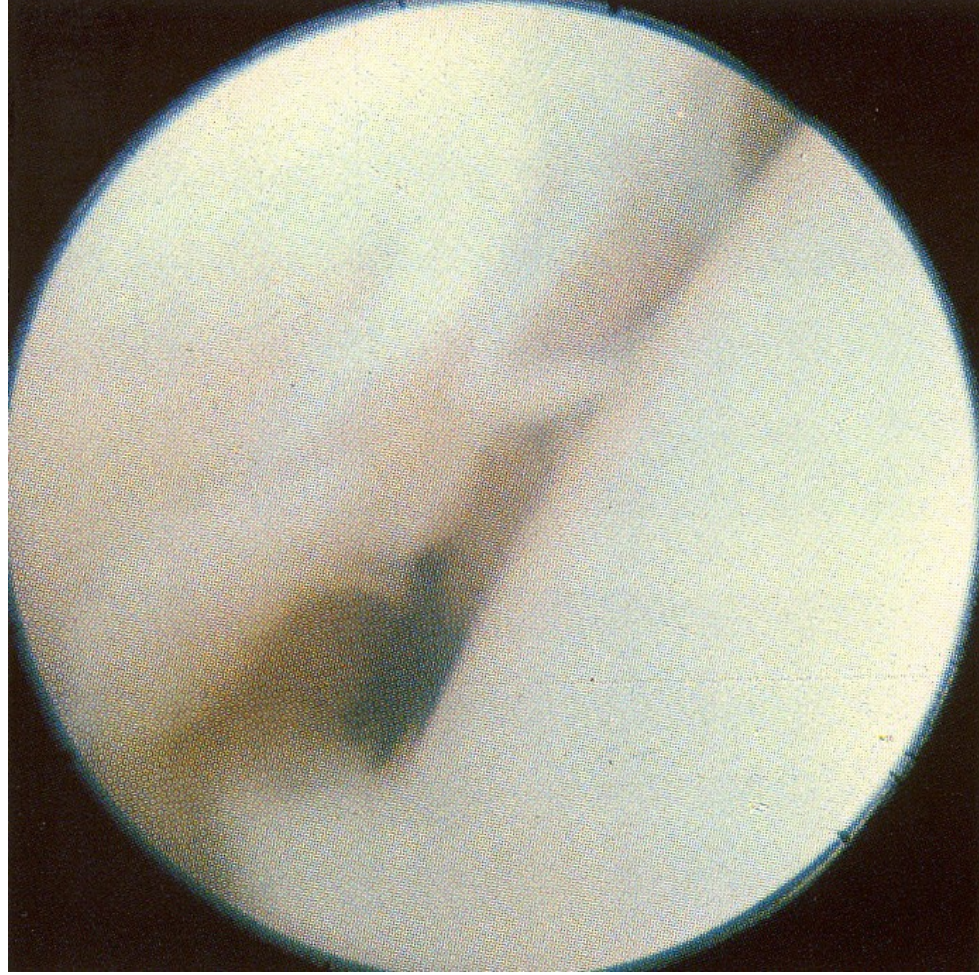
Deformace tkáně vlivem tlaku



- při dosažení meze skluzu dochází k deformaci soudkovitého tvaru (vznik tlakových kuželů)
- nižší odolnost chrupavčité tkáně oproti kostní
- při zatížení velkými tlakovými silami dochází primárně k poškození chrupavčité tkáně, teprve potom tkáně kostní (doskoky z velkých výšek, zvedání těžkých břemen atd.)

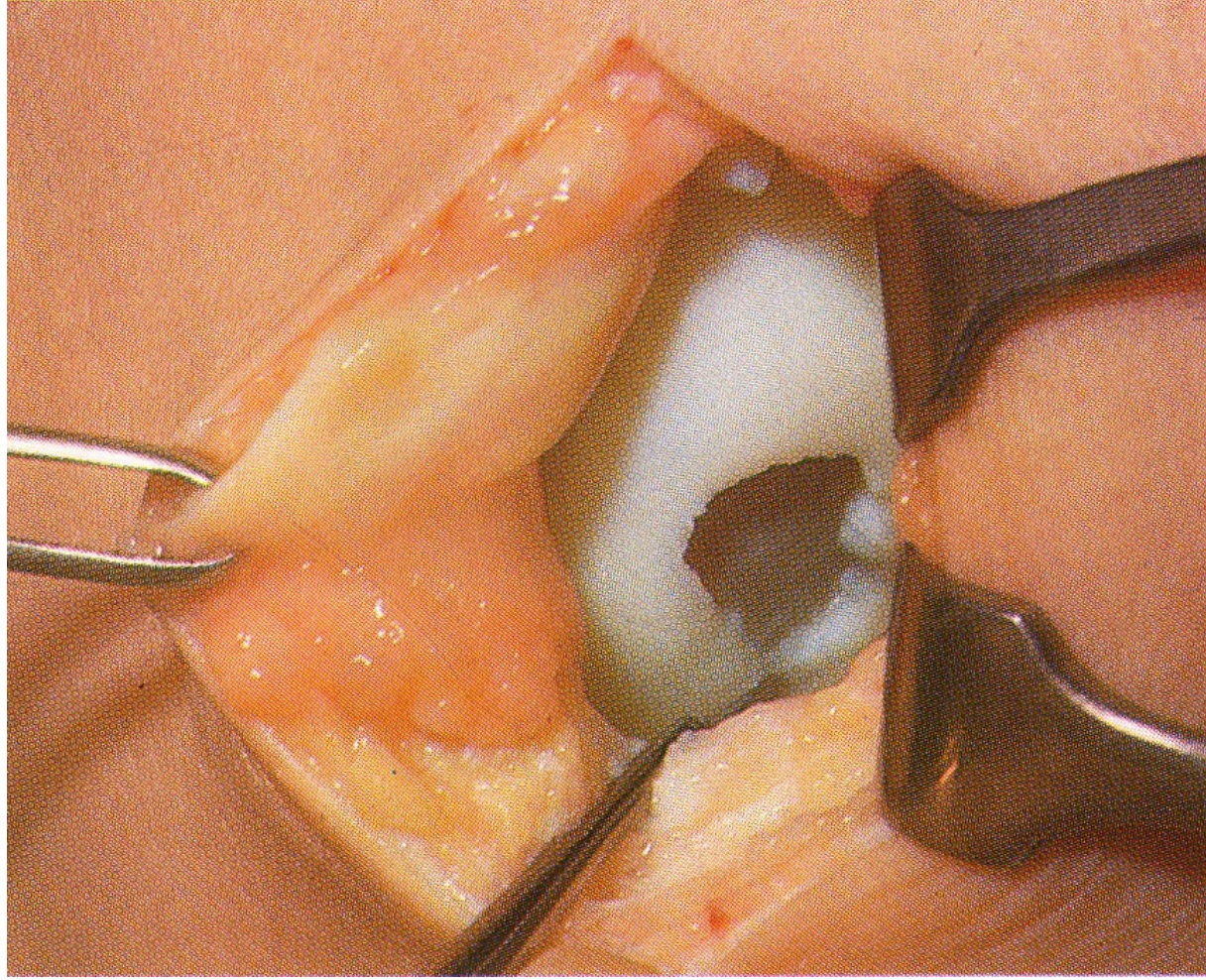
Patologie kloubní chrupavky

Chondromalacie patelly
artroskopicky

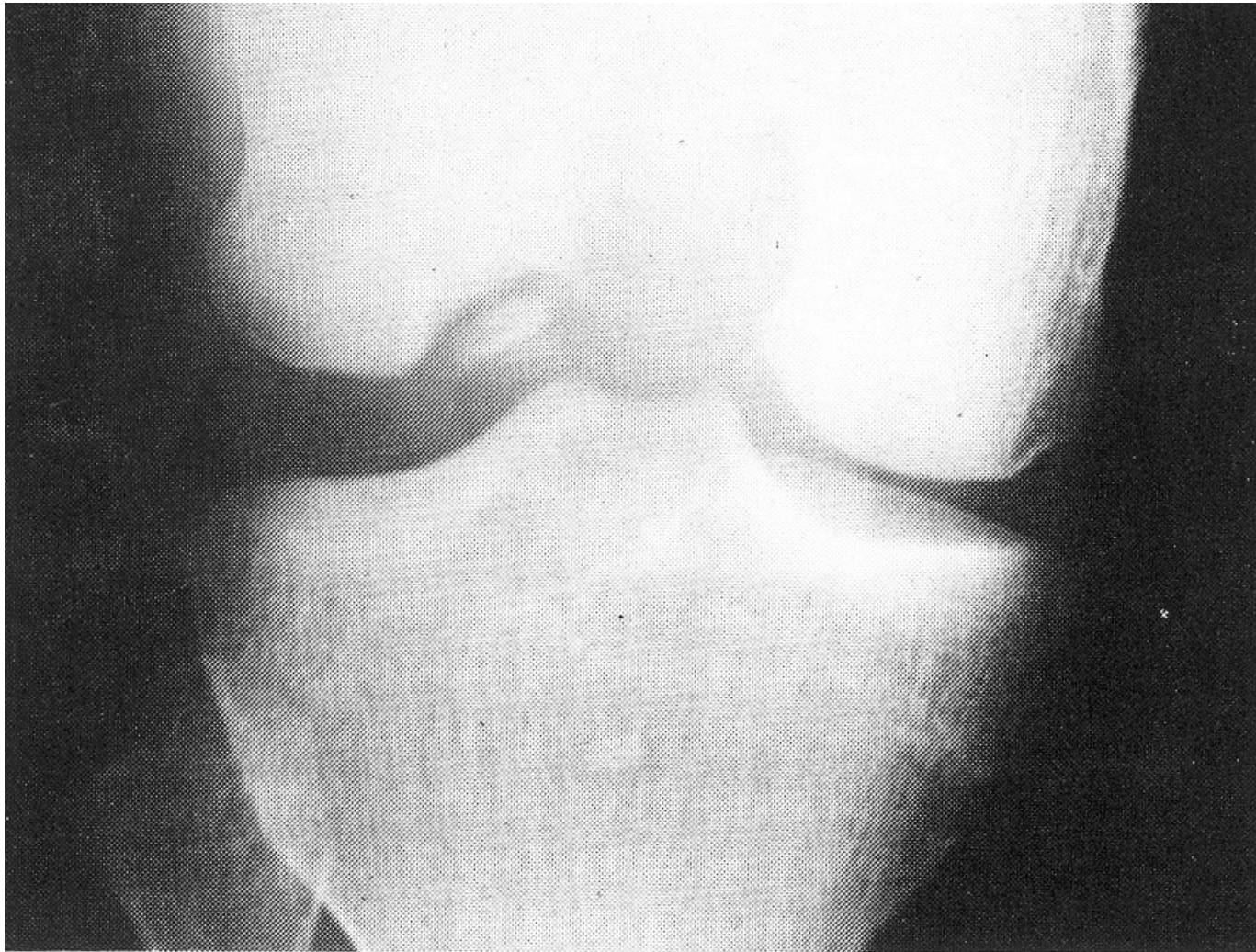


Patologie kloubní chrupavky

Eroze femorálního
kondylu u pacienta se
subchondrální frakturou

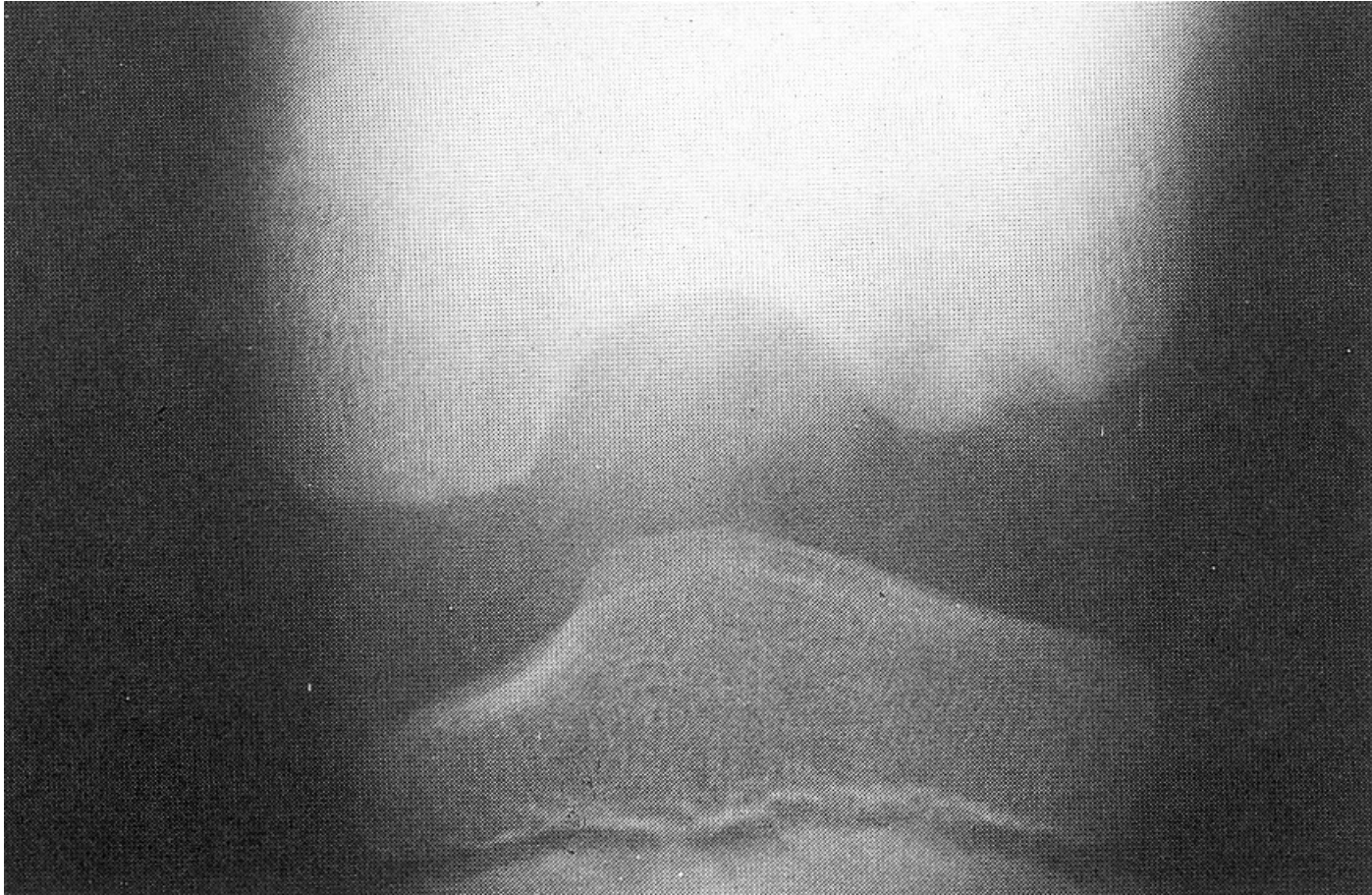


Patologie kloubní chrupavky



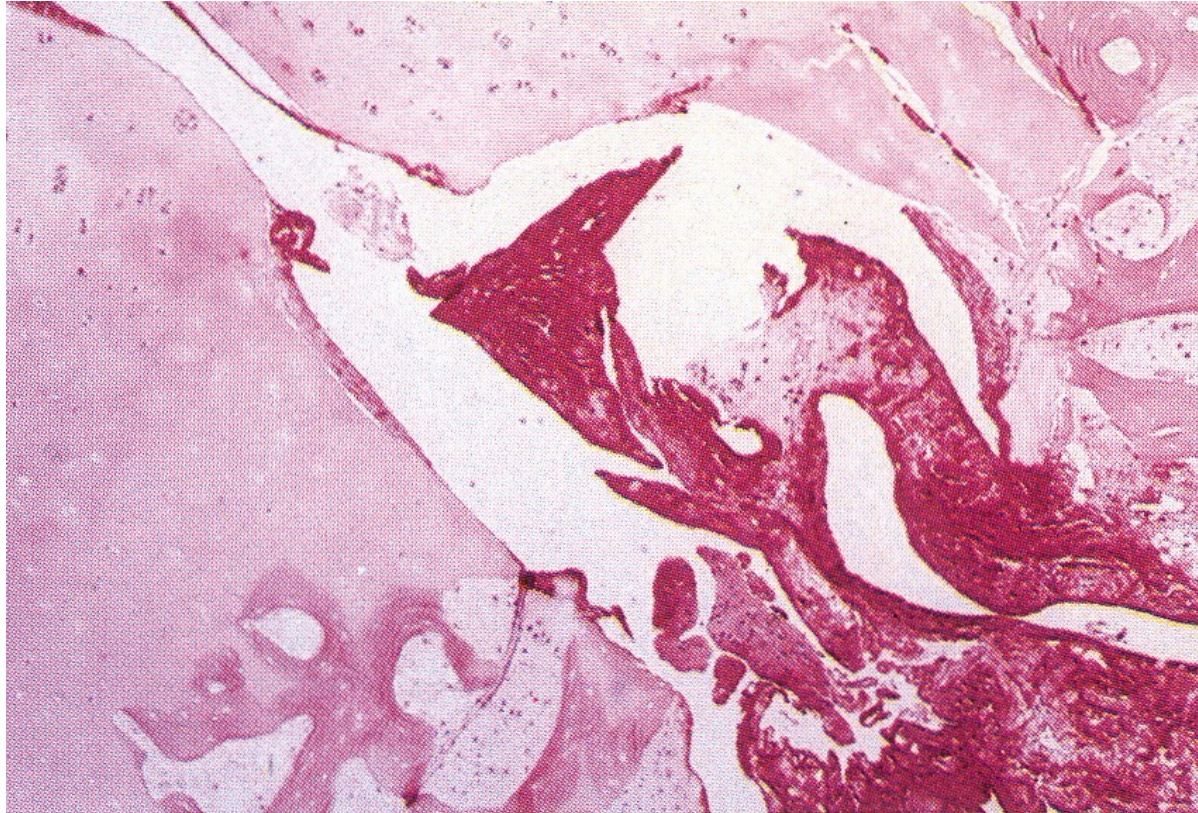
Osteochondritis dissecans s viditelnou formací volného tělíska v nejčastější lokalizaci - kolenní kloub

Patologie kloubní chrupavky



Osteochondritis dissecans femorálního kondylu

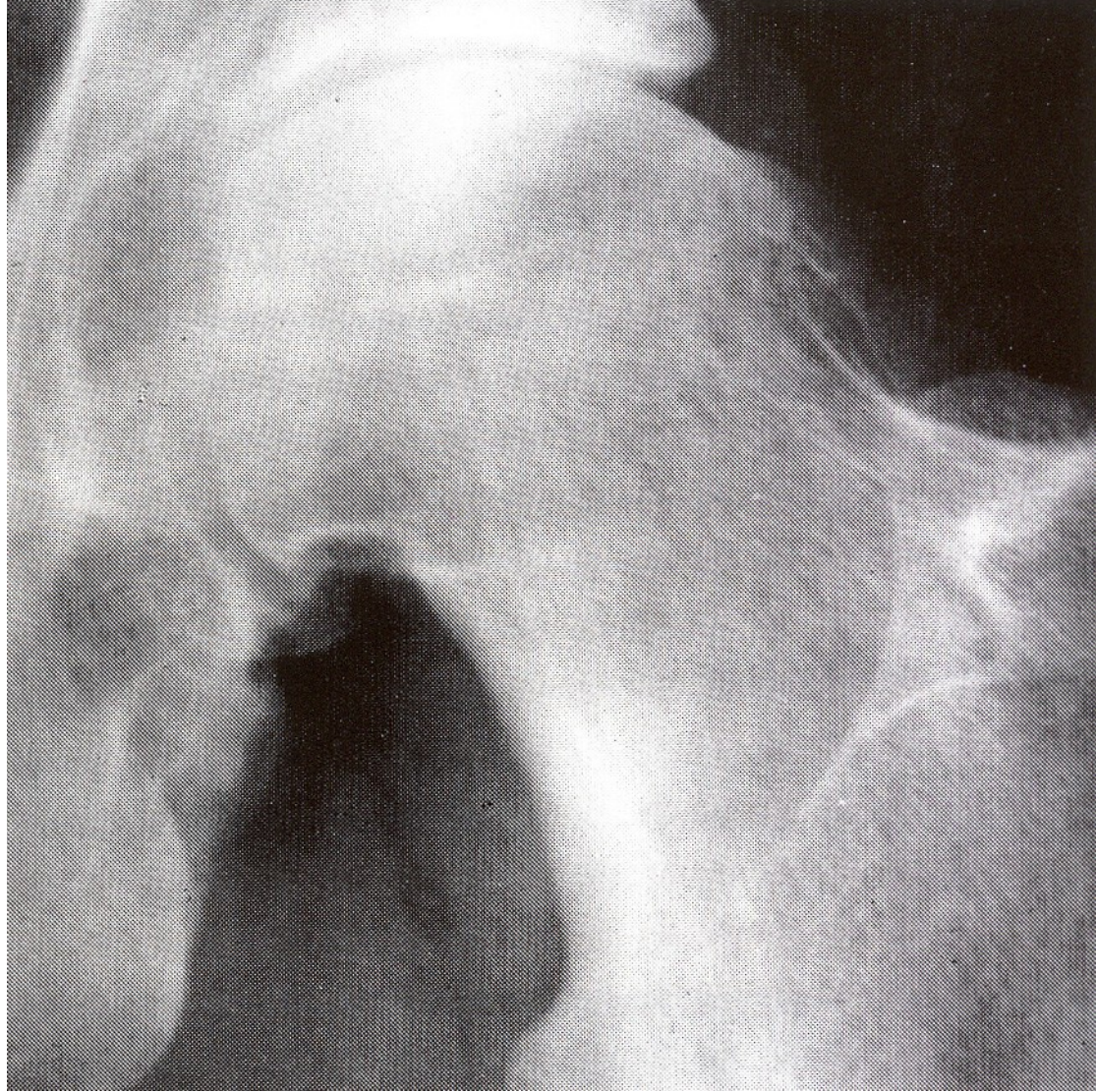
Patologie kloubní chrupavky



Osteochondritis dissecans femorálního kondylu
- histologický nálezn -

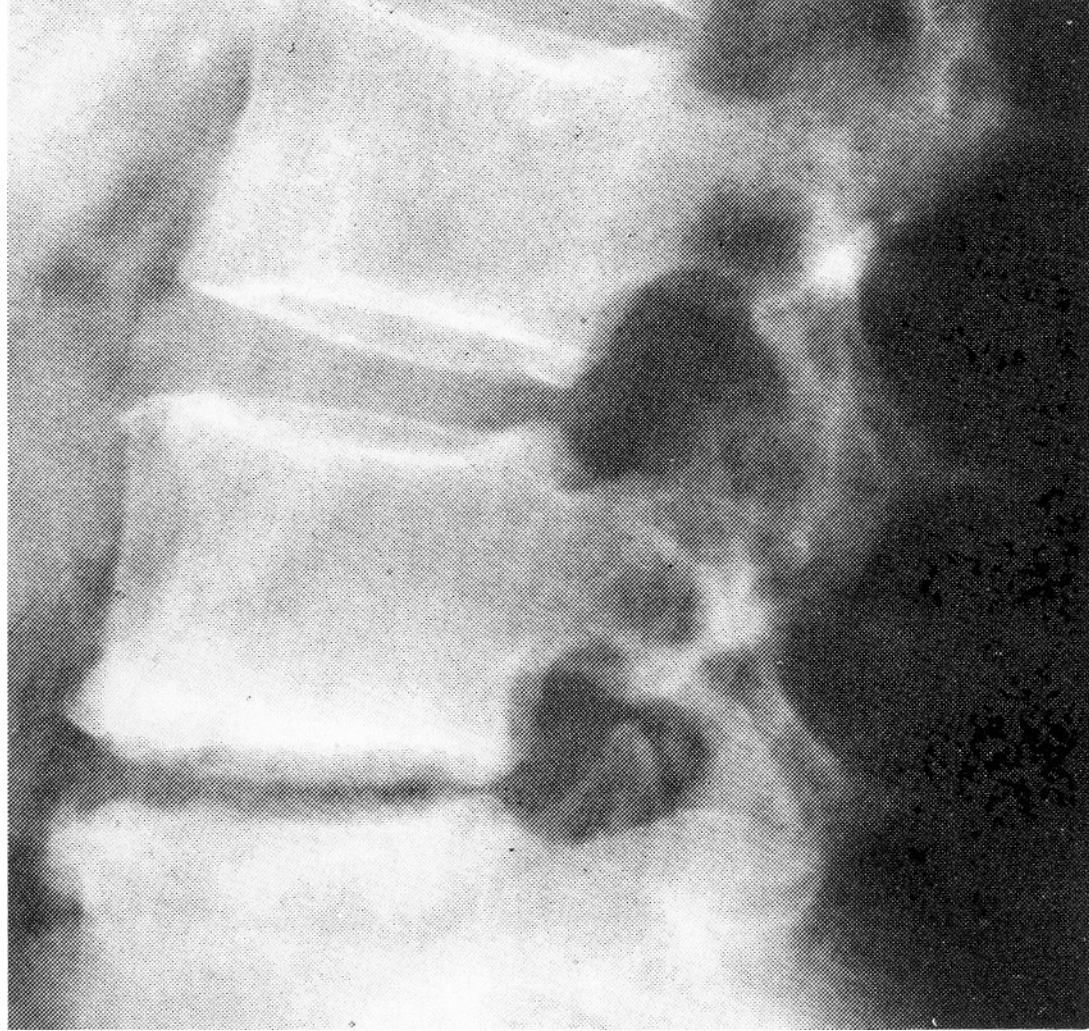
Patologie kloubní chrupavky

Osteoarthritis kyčle u
závodníka v chůzi



Patologie kloubní chrupavky

Degenerace disku L4-L5



Patologie kloubní chrupavky

Osteoarthritis loketního
kloubu u vzpěrače

