

9MOP

Projekt disertační práce

**Tvorba mazacího filmu v kontaktu synoviálního kloubu
v závislosti na smykové rychlosti**

Ing. Pavel Čípek

Ústav konstruování

Fakulta strojního inženýrství

VUT v Brně

Metody a organizace vědecké práce, FSI VUT v Brně
27.6.2017

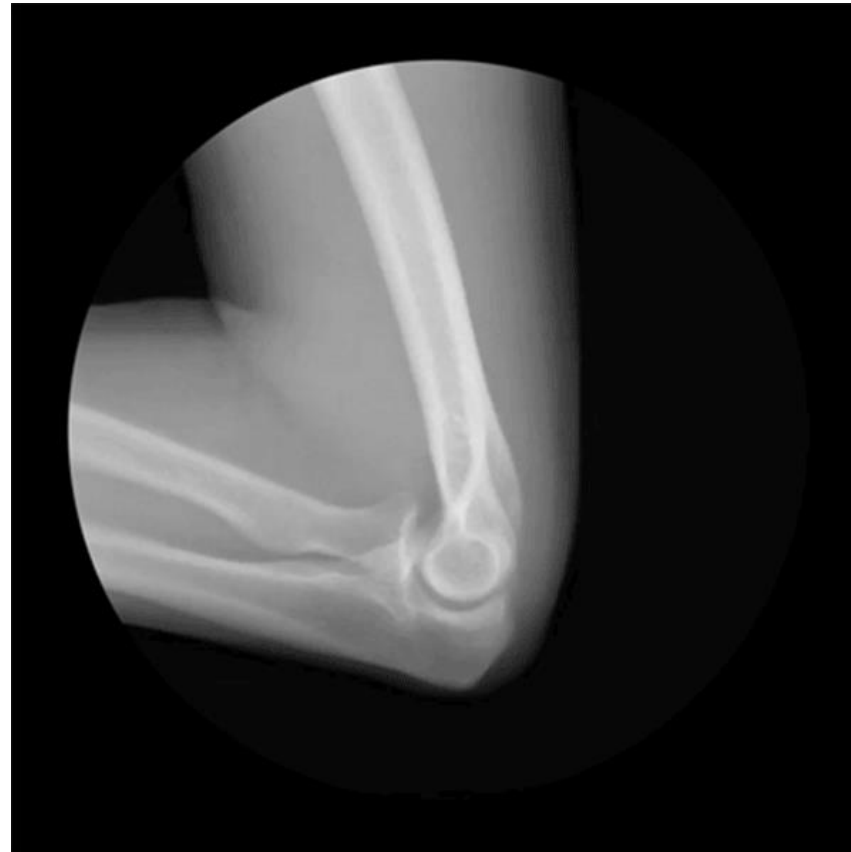
Název práce a klíčová slova

■ Název práce:

- Tvorba mazacího filmu v kontaktu synoviálního kloubu v závislosti na smykové rychlosti

■ Klíčová slova:

- Režim mazání
- Tření
- Opotřebení
- Tloušťka mazacího filmu
- Fluorescenční mikroskopie
- Chrupavka
- Synoviální kapalina



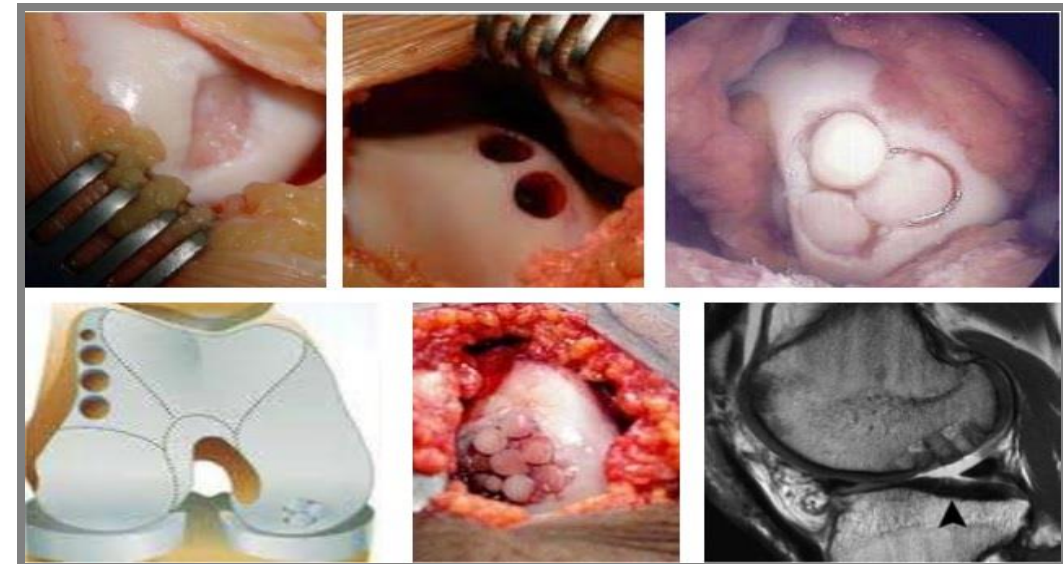
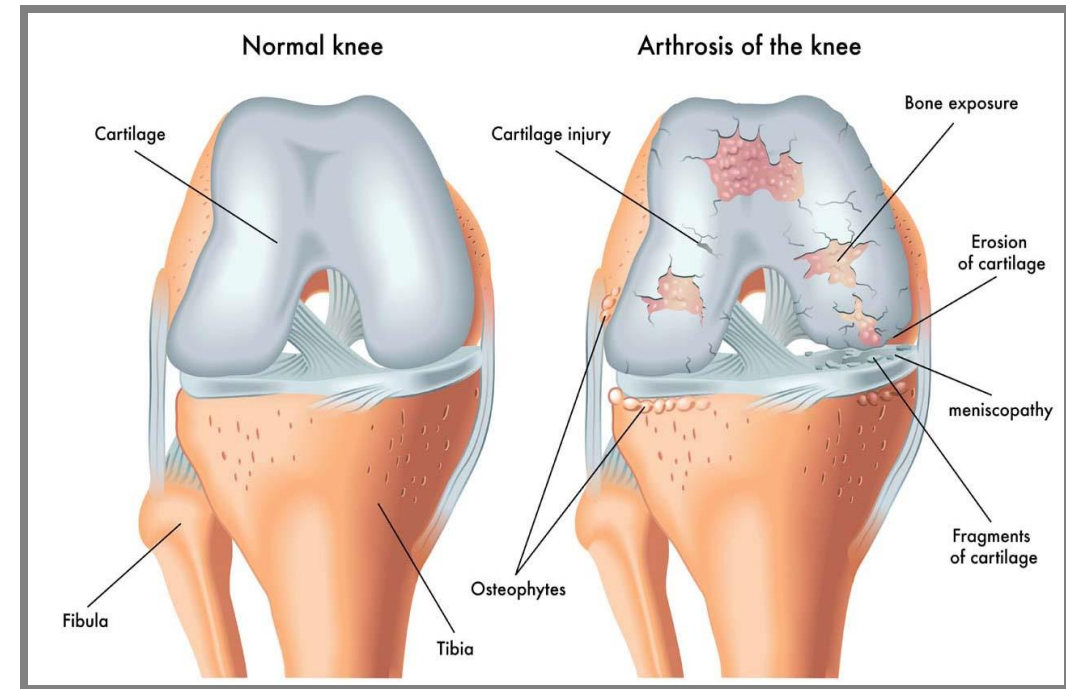
Úvod do problematiky

■ Synoviální kloub

- Jedna z nejdůležitějších částí pohybového ústrojí
- Bezbolestný chod – předpoklad aktivního života
- Zajišťuje přenos zatížení téměř bez tření
- Dvě styčné plochy, kosti, zakončené chrupavkami

■ Onemocnění synoviálního kloubu

- Projevují se bolestmi v oblasti kloubu
- Vnáší do života nepříjemnosti a obtíže
- Dvě metody léčby
 - Totální endoprotéza – velký rozsah onemocnění
 - Konzervační léčba – štěpy, viskosuplementace, ...

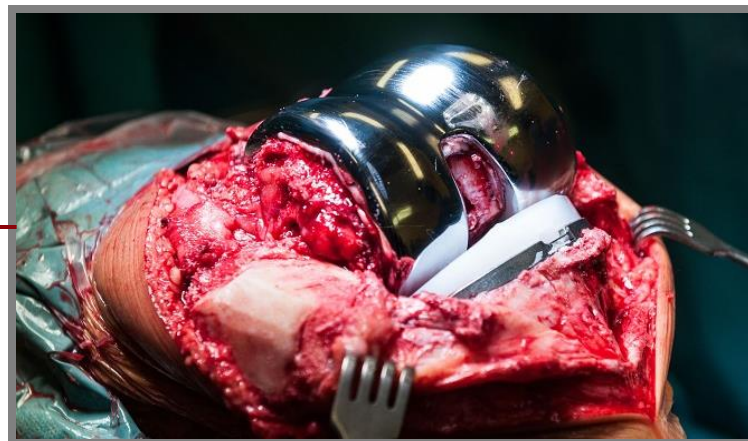
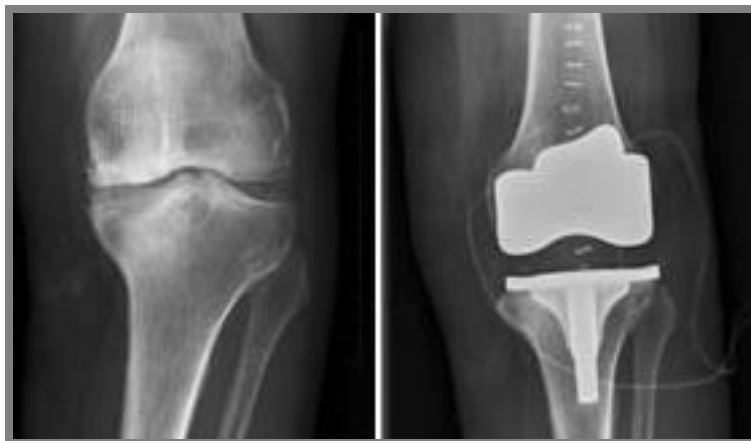
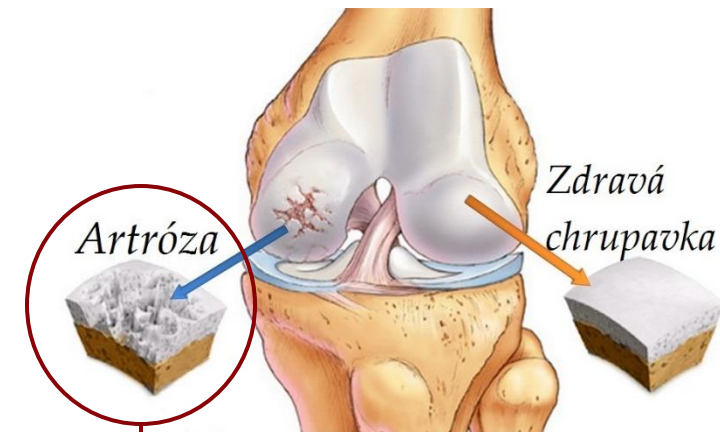


Metody a organizace vědecké práce

27.6.2017, FSI VUT v Brně, Česká republika

Motivace

- Základní výzkum – pochopení mazacích procesů v synoviálním kloubu
- Totální endoprotéza má omezenou životnost
 - Snaha operace co nejvíce oddálit
- Nemocnou chrupavku lze vyměnit i za umělou chrupavku
- Umělé chrupavky
 - Dobré mechanické vlastnosti, ale nedořešené tribologické vlastnosti
 - Pochopení principů mazání
 - Poznatky použity pro vývoj umělých tkání (chrupavek)



Současný stav poznání

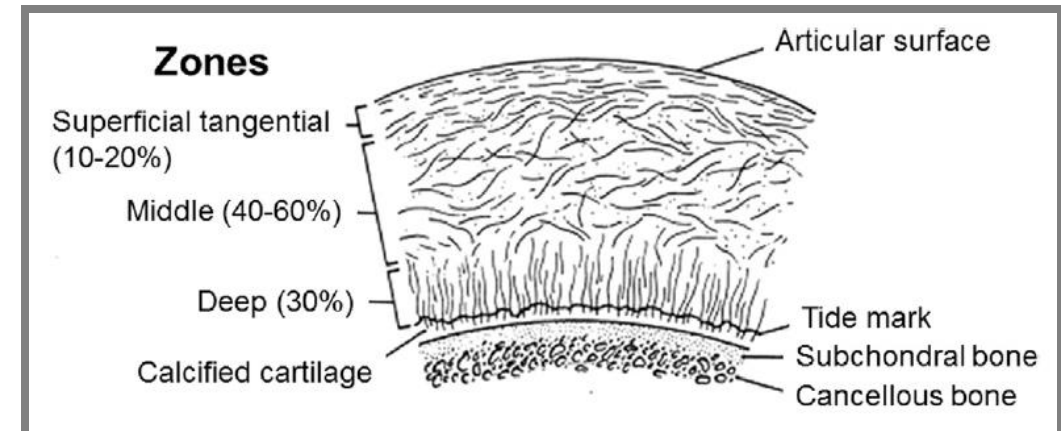
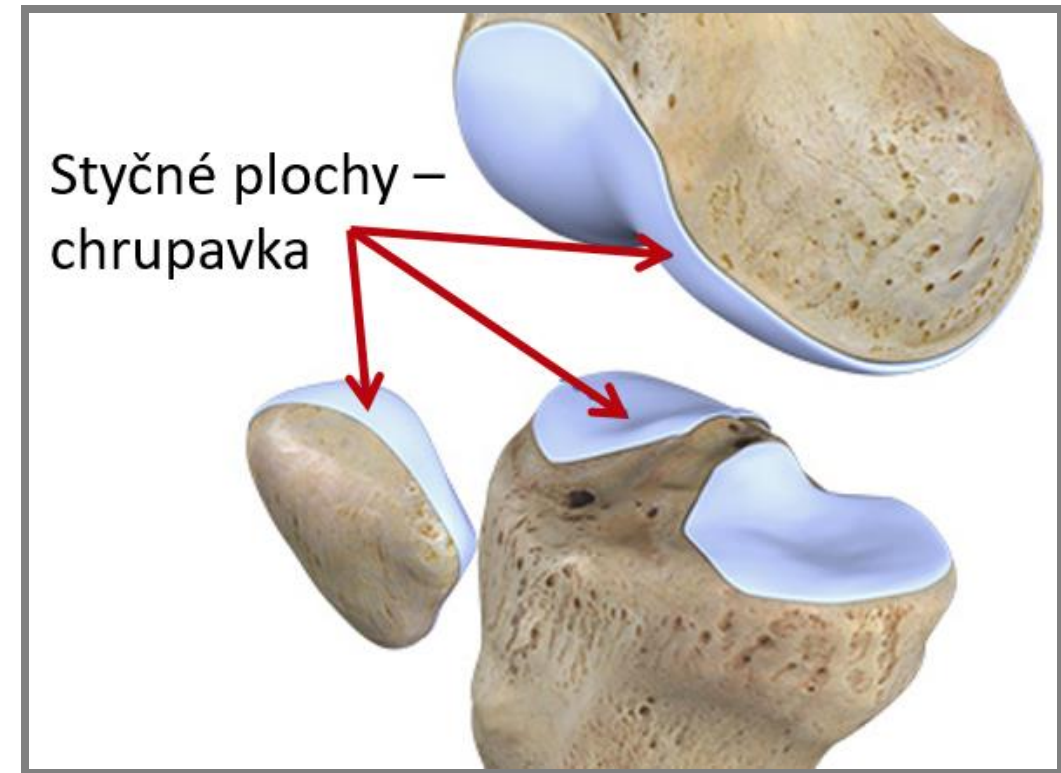
■ Synoviální kloub

■ Chrupavka

- Umístěná na konci kostí
- Plynule navazuje na subchondrální kost
- Obsahuje 60 – 80 % vody a 2 – 10 % buněk
- Matrice složena z kolagenu typu II
- Má 3 vrstvy – rozdíl v orientaci kolagenových vláken

■ Synoviální kapalina

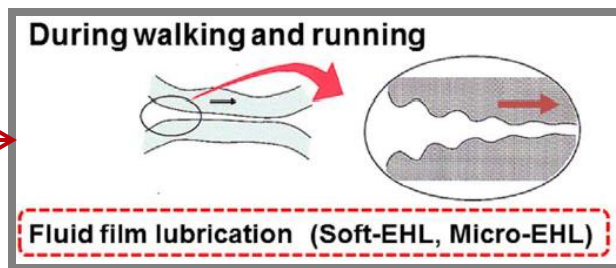
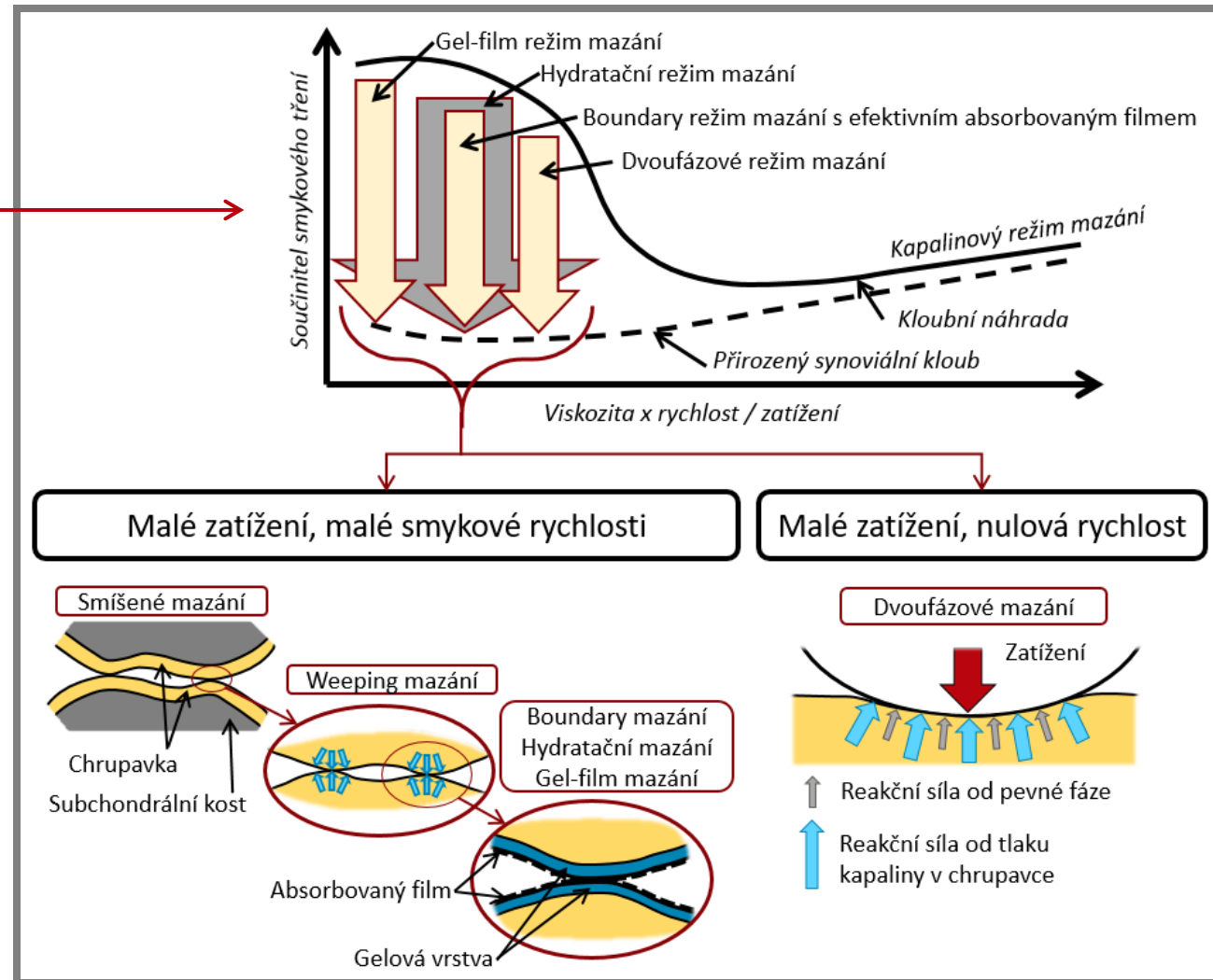
- Plní funkci maziva kontaktu synoviálního kloubu
- Uvězněna v kloubním pouzdře
- Je to ne-Newtonovská látka – fyziologický roztok
- Obsahuje velký podíl vody, dále kyselu hyaluronovou, proteiny, lubricin, aktivní fosfolipidym, ...



Současný stav poznání

Analýza režimů mazání v synoviálním kloubu

- Při nízkých rychlostech a zatíženích
 - Weeping režim mazání
 - Boostet režim mazání
 - Adaptivní multimode režim mazání
 - Dvoufázové mazání – bez pohybu
 - Gel-film mazání
 - Boundary mazání
 - Hydratační mazání
- Při vyšších smykových rychlostech
 - Soft-EHL režim mazání
 - Micro-EHL režim mazání
- Nelze dosáhnout HD mazání



Současný stav poznání

■ Tribologie synoviálního kloubu

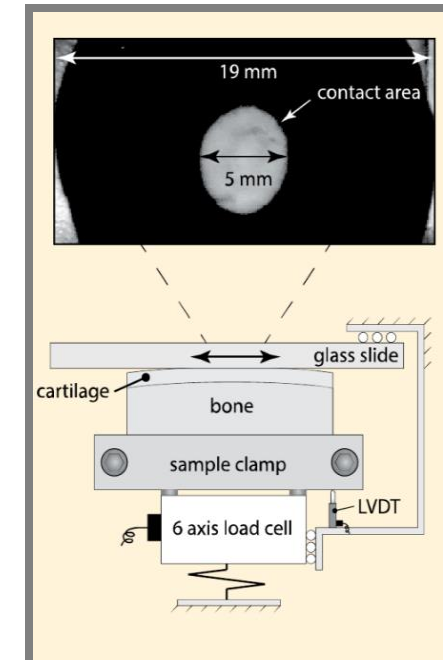
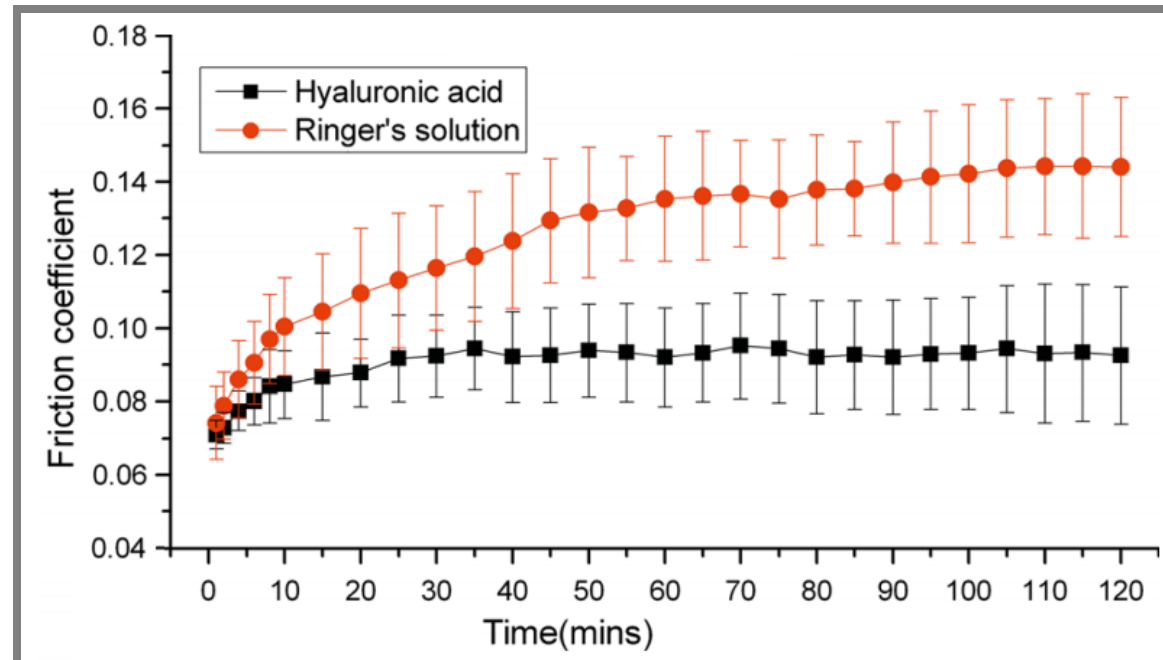
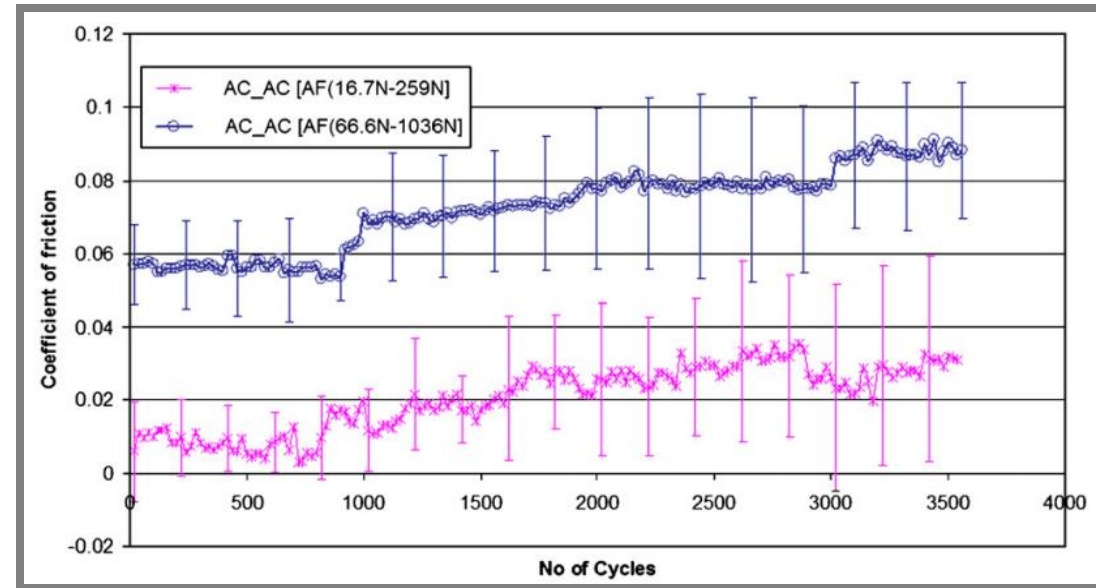
■ Měření součinitele smykového tření v kontaktu chrupavky

■ Kladný vliv

- Rostoucí zatížení
- Rostoucí rychlost
- Synoviální kapalina
- Kyselina hyaluronové
- Gylkosaminoglykany
- Rehydratace
- Regenerace

■ Záporný vliv

- Rostoucí čas
- Osteoartritida
- Drsnost povrchu



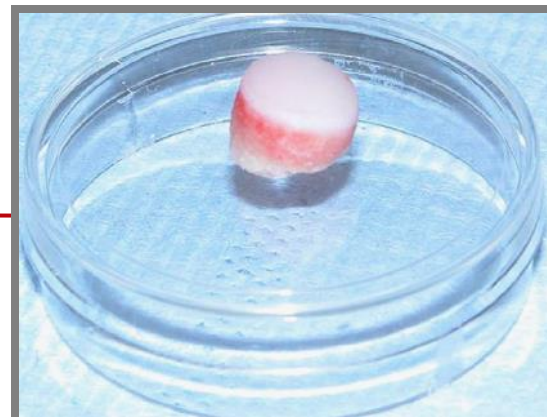
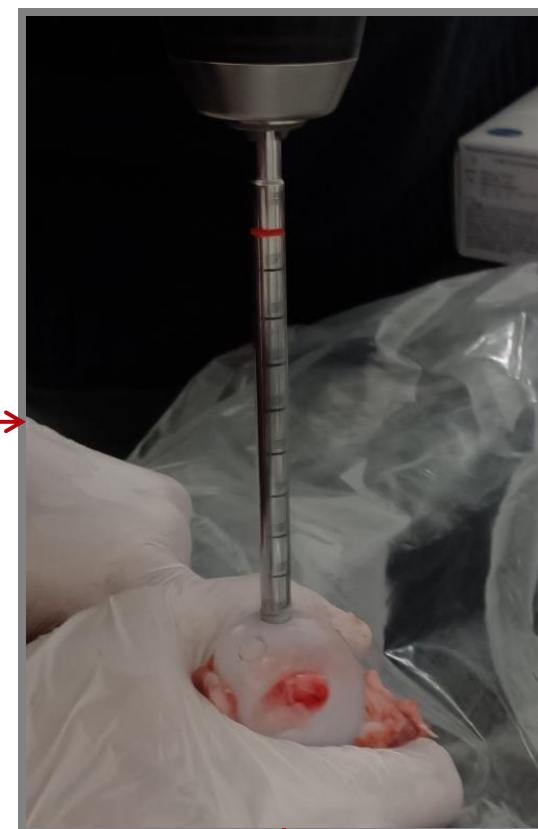
Metody a organizace vědecké práce

27.6.2017, FSI VUT v Brně, Česká republika

Současný stav poznání

■ Odběr a příprava vzorků

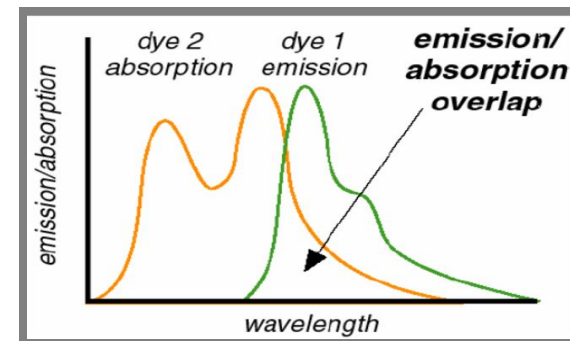
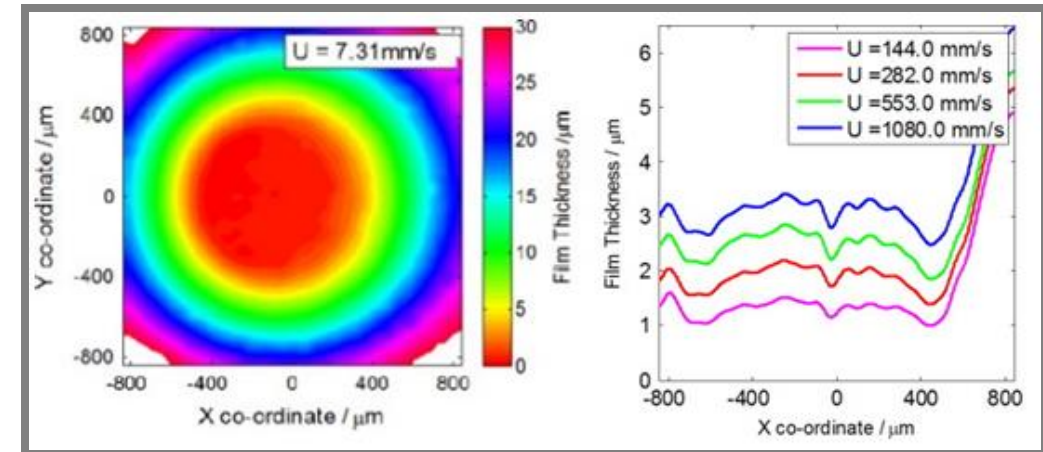
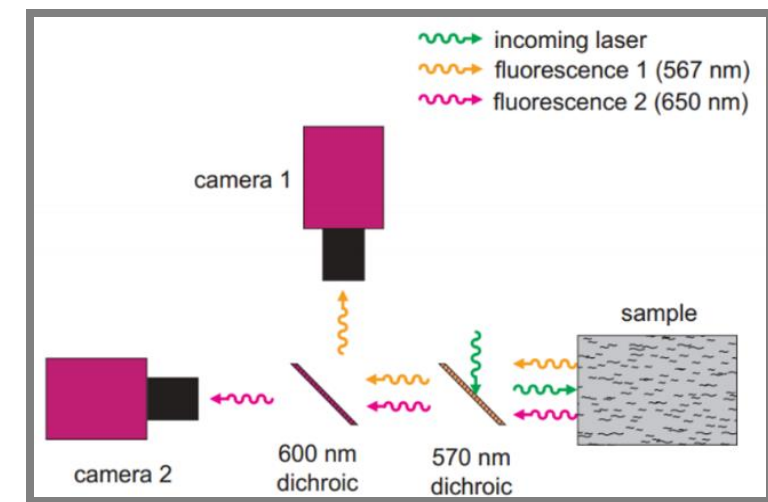
- Různé zvířecí chrupavky – vepř, morče, králík, kůň
- Testovány i lidské chrupavky
- Vzorky odebírány většinou z kolenního kloubu, nebo kyčle
- Odběr vzorků co nejdříve po porážce
- Odebrané vzorky zamražené většinou v PBS na -18 °C
- Ověřeno, že zmražení neovlivňuje výsledky
- Rozdílné tribologické vlastnosti mezi vzorky z různých míst na povrchu chrupavky (M1, M4)



Současný stav poznání

■ Analýza tloušťky mazacího filmu pomocí metody fluorescenční mikroskopie

- Založeno na mazivu obohaceném fluorescenčním barvivem
- Mazivo při excitaci zářením záření emituje
- Dané intenzitě emitujícího záření je pomocí kalibrace přiřazena určitá hodnota tloušťky mazacího filmu
 - Kalibrace pomocí klínové mezery o známé geometrii
 - Kalibrace pomocí jiných metod: optická interferometrie, ...
- Fluorescenční mikroskopii lze analyzovat:
 - Poddajné kontakty
 - Kontakty s nízkou odrazivostí povrchu
 - Topografii povrchu
- Možnost analyzovat dvě fluorescenční barviva v jenom mazivu
 - Fluorescence s duální emisí
 - Problém reabsorbce



Metody a organizace vědecké práce

27.6.2017, FSI VUT v Brně, Česká republika

Podstata a cíle disertační práce

■ Hlavní cíl disertační práce:

- Popis formování mazacího filmu v synoviálním kloubu při nízkém zatížení a stanovení jeho závislosti na smykové rychlosti

■ Dílčí cíle disertační práce:

- Návrh, konstrukce a výroba experimentálního zařízení
- Návrh a ověření metodologie odběru, úpravy a uchování vzorků chrupavek
- Implementace metody fluorescenční mikroskopie pro daný kontakt
- Experimentální verifikace metody



Vědecká otázka a pracovní hypotéza

■ Vědecká otázka:

- Jaký vliv bude mít smyková rychlost na utváření mazacího filmu?

■ Pracovní hypotéza:

- Podle A. C. Moora [29] struktura chrupavky funguje jako pohlcovač hydrodynamického tlaku, proto lze předpokládat, že se zvyšující smykovou rychlostí bude klesat tloušťka mazacího filmu, což bude mít za následek zvýšení součinitele smykového tření, viz práce [17 a 25].

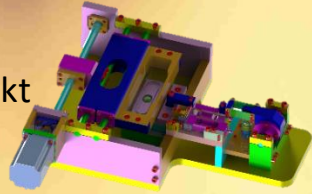


Způsob řešení

SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

Konstrukce experimentálního zařízení

- Tribometr pin-on-plate
- Reciproční pohyb
- Možnost pozorovat kontakt
- Měření třecích sil
- Kalibrace zařízení



Zjištění přítomnosti maziva v kontaktu

- Experiment na fluorescenční mikroskopii s a bez maziva – kvantitativní rozdíl
- Natlakování tkáně chrupavky – vytlačování maziva do kontaktu
- Časová změna součinitele smykového tření

Metodika pro odběr vzorků

- Prasečí kyčelní kloub
- Odběr pomocí duté frézy na kosti
- Odběry co nejdříve po porážce zvířete
- Zamražení vzorků v PBS na -20 °C
- Experimentální ověření postupů



Lineární vedení Kuličková pouzdra

Implementace metody

- Volba vhodných barviv
- Zjištění závislosti intenzity na tloušťce filmu
- Experimentální kalibrace
- Klínová mezera v případě konstantní či žádné svítivosti chrupavky
- Optická interferometrie
- Snímač zatížení Zátěžový mechanismus

Pomocí klínové mezery

Vzorek samovolně nesvítil

Vzorek samovolně svítí konstantně

Vzorek samovolně svítí rovnoměrně konstantně

Vzorek se rychle vysvítil

Vzorek samovolně svítí silně nekonstantně

Vzorek samovolně svítí silně nekonstantně

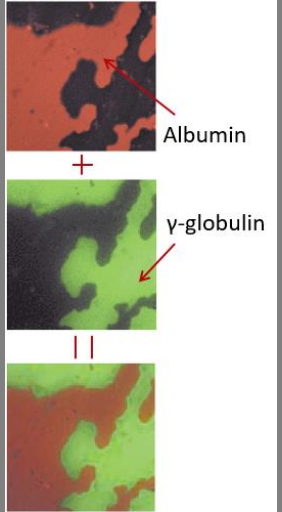
Snímač třecích sil

Pomocí optické interferometrie

Určení tloušťky různých rýcníostech

Analýza utváření mazacího filmu

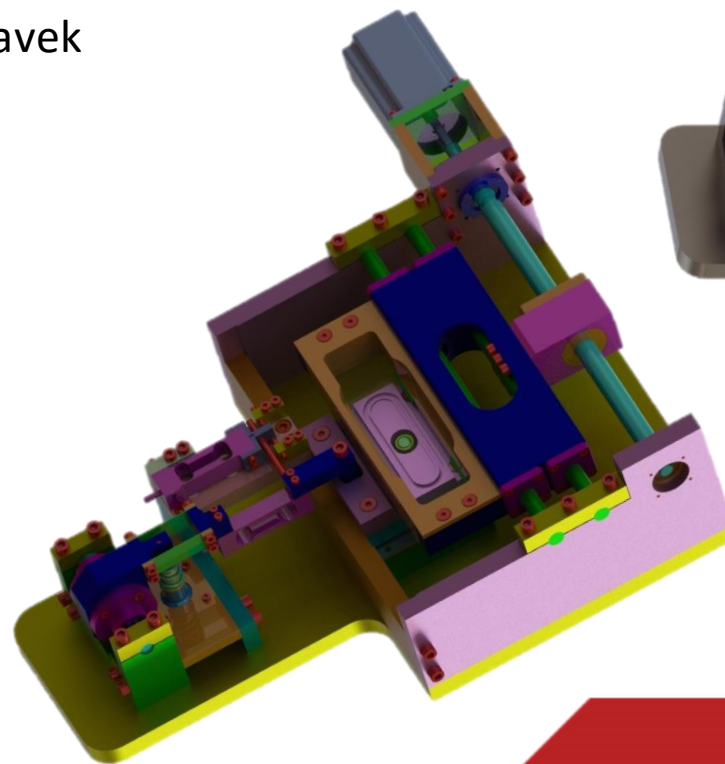
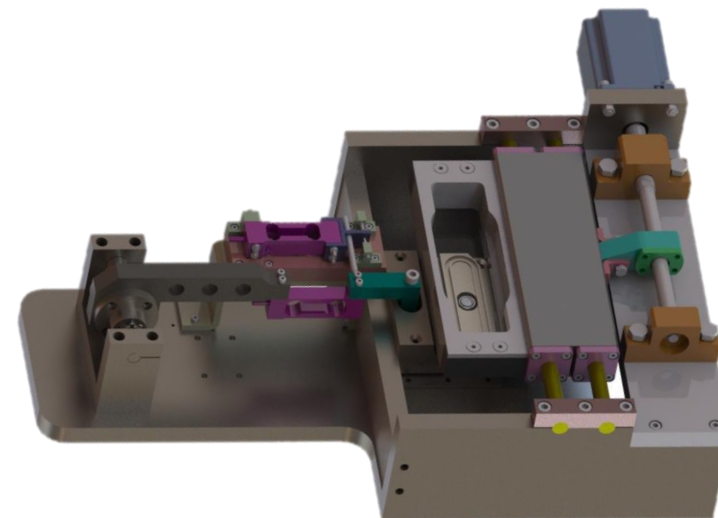
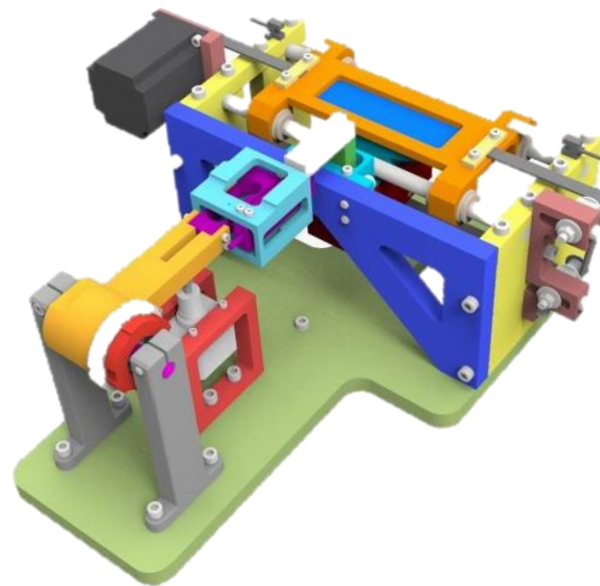
- Analýza složek maziva, které film utváří
- Analýza složek maziva, které v kontaktu ulpívají a které kontakt opouštějí
- Vyvození závěrů, které složky mazání nejvíce přispívají
- Určení intenzity při stejných podmínkách
- Přizáření závislosti



Film thickness (nm)

Shrnutí - závěr

- Práce je zaměřena na popis formování mazacího filmu v kontaktu synoviálního kloubu
 - Pozorování pohybu jednotlivých složek maziva kontaktem
 - Analýza pohybu jednotlivých složek maziva
 - Určení, které složky film utvářejí
- V rámci práce vznikne experimentální zařízení
- Pro experiment budou použity zvířecí vzorky chrupavek
 - Vývoj metodologie přípravy vzorků
 - Ověření metodologie
- Použitá metoda – fluorescenční mikroskopie
 - Implementace a kalibrace metody



Děkuji vám za pozornost

Pavel Čípek

Pavel.Cipek@vut.cz

<http://uk.fme.vutbr.cz/>