



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní



NAVRHOVÁNÍ A PRAKTICKÉ APLIKACE BIOROBOTICKÝCH ZAŘÍZENÍ

Studijní opora

Ladislav Kárník

Ostrava 2012



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu OP VK CZ.1.07/2.3.00/09.0147 „Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu“.

Název: Navrhování a praktické aplikace biorobotických zařízení
Autor: Ladislav Kárník
Vydání: první, 2012
Počet stran: 150
Náklad:

Studijní materiály pro studijní obor Robotika Fakulty strojní

Jazyková korektura: nebyla provedena.



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.



Název: Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu
Číslo: CZ.1.07/2.3.00/09.0147
Realizace: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

© Ladislav Kárník

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-2726-1

POKYNY KE STUDIU

Navrhování a praktické aplikace biorobotických zařízení

Pro předmět 4 semestru oboru Robotika jste obdrželi studijní balík obsahující:

Pro studium problematiky navrhování biorobotických zařízení (servisních biorobotických zařízení) a jejich praktické aplikace jste obdrželi studijní balík obsahující:

- integrované skriptum pro distanční studium obsahující i pokyny ke studiu,
- přístup do e-learningového portálu obsahující doplňkové animace vybraných částí kapitol,
- CD-ROM s doplňkovými animacemi vybraných částí kapitol,
- harmonogram průběhu semestru a rozvrh prezenční části,
- rozdělení studentů do skupin k jednotlivým tutorům a kontakty na tutorů.

Prerekvizity

Pro studium této opory se předpokládá znalost na úrovni absolventa předmětu Základy robototechniky, Průmyslové roboty a manipulátory.

Cílem učební opory

Cílem je seznámení se základními pojmy biorobotických zařízení, servisní robotiky a ukázat některé vybrané aplikace těchto robotů v nestrojírenských oblastech. Po prostudování modulu by měl student být schopen zvládnout, problematiku navrhování biorobotických zařízení a jejich využití pro konkrétní aplikace.

Pro koho je předmět určen

Modul je zařazen do magisterského studia oboru Robotika studijního programu N2301, ale může jej studovat i zájemce z kteréhokoliv jiného oboru, pokud splňuje požadované prerekvizity.

Skriptum se dělí na části, kapitoly, které odpovídají logickému dělení studované látky, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly děleny dále na číslované podkapitoly a těm odpovídá níže popsaná struktura.

Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:



Čas ke studiu: xx hodin

Na úvod kapitoly je uveden čas potřebný k prostudování látky. Čas je orientační a může vám sloužit jako hrubé vodítko pro rozvržení studia celého předmětu či kapitoly. Někomu se čas může zdát příliš dlouhý, někomu naopak. Jsou studenti, kteří se s touto problematikou ještě nikdy nesetkali a naopak takoví, kteří již v tomto oboru mají bohaté zkušenosti.



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Popsat ...
- Definovat ...
- Vyřešit ...

Ihned potom jsou uvedeny cíle, kterých máte dosáhnout po prostudování této kapitoly – konkrétní dovednosti, znalosti.



Výklad

Následuje vlastní výklad studované látky, zavedení nových pojmů, jejich vysvětlení, vše doprovázeno obrázky, tabulkami, řešenými příklady, odkazy na animace.



Shrnutí pojmů

Na závěr kapitoly jsou zopakovány hlavní pojmy, které si v ní máte osvojit. Pokud některému z nich ještě nerozumíte, vraťte se k nim ještě jednou.



Otázky

Pro ověření, že jste dobře a úplně látku kapitoly zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek.



Úlohy k řešení

Protože většina teoretických pojmů tohoto předmětu má bezprostřední význam a využití v praxi, jsou Vám nakonec předkládány i praktické úlohy k řešení. V nich je hlavním významem předmětu schopnost aplikovat čerstvě nabyté znalosti pro řešení reálných situací.



Klíč k řešení

Výsledky zadaných příkladů i teoretických otázek jsou uvedeny v závěru učebnice v Klíči k řešení. Používejte je až po vlastním vyřešení úloh, jen tak si samokontrolou ověříte, že jste obsah kapitoly skutečně úplně zvládli.

Úspěšné a příjemné studium s tímto učebním textem Vám přeje autor.

Ladislav Kárník

OBSAH

1	ÚVOD KE STUDIU	8
1.1	Klasifikace základních pokynů pro týmovou práci	8
2	KLASIFIKACE Z ÁKLADNÍ POJMY Z OBLASTI BIOROBOTIKY	10
2.1	Klasifikace a základní pojmy	10
2.2	Vznik a historický vývoj bioniky	14
2.2.1	Charakteristika a základní pojmy bioniky	17
2.2.2	Předmět studia a členění bioniky	17
2.2.3	Metoda, metodika a metodologie bioniky.....	19
2.2.4	Metoda, metodika a metodologie bioniky.....	19
2.2.5	Modelování v bionice.....	20
2.3	Postavení biorobotiky z hlediska bioinženýrských oborů	21
3	ANATOMIE ČLOVĚKA, ZÁKLADNÍ POJMY PRO BIOROBOTIKU	24
3.1	Obecná anatomie člověka	24
3.2	Struktura lidských kostí a jejich spojení.....	25
3.3	Klasifikace kloubů	29
3.4	Kostra horní končetiny, struktura a rozsahy pohybů	31
3.5	Kostra ruky, struktura a rozsahy pohybů	34
3.6	Kostra dolní končetiny, struktura a rozsahy pohybů	36
3.7	Svaly, charakteristika a základní rozdělení.....	39
3.8	Struktura a funkce kosterního svalu	42
3.9	Všeobecná svalová mechanika	45
4	BIOMECHANICKÉ KONSTRUKČNÍ ELEMENTY V BIOROBOTICE	48
4.1	Klasifikace biomechanismů	48
4.2	Kinematická analýza horní končetiny člověka	51
4.2.1	Kinematická analýza ramena člověka	52
4.2.2	Kinematická analýza ruky člověka	54
4.3	Dynamická analýza horní končetiny člověka	56
4.3.1	Maticové vyjádření polohy ramene ke zvolenému prostoru.....	56
4.3.2	Rychlost bodu koncového členu ramena	60
4.3.3	Dynamický model horní končetiny člověka	62
4.4	Kinematická analýza dolní končetiny člověka.....	67

4.5	Kinematický model kostry člověka.....	70
4.6	Teorie náhrady kostry člověka biomechanismem.....	71
5	UMĚLÉ SVALY V BIOROBOTICE.....	74
5.1	Pneumatický umělý sval	74
5.1.1	Umělý sval firmy FESTO.....	81
5.1.2	Podtlakový umělý sval.....	84
5.2	Hydraulický umělý sval	86
5.3	Umělý sval s SMA.....	87
5.3.1	Základní vlastnosti umělých svalů s SMA.....	91
5.4	Polymerický umělý sval	92
5.5	Aplikace umělých svalů v biorobotických zařízeních	94
6	ANTROPOMORFNÍ EFEKTORY	99
6.1	Charakteristiky, základní pojmy a historický vývoj.....	99
6.2	Současné konstrukce antropomorfních efektorů	103
6.2.1	Systém senzorů v antropomorfních efektorech	107
7	KRÁČEJÍCÍ BIOROBOTICKÁ ZAŘÍZENÍ	109
7.1	Klasifikace a základní pojmy	109
7.2	Jednonohá biorobotická zařízení.....	115
7.3	Dvojnohá biorobotická zařízení.....	118
7.4	Trojnohá biorobotická zařízení	120
7.5	Čtyřnohá biorobotická zařízení	122
7.6	Vícenohá biorobotická zařízení.....	125
8	BIROBOTICKÁ ZAŘÍZENÍ S PLAZIVÝM POHYBEM.....	132
8.1	Charakteristiky a základní pojmy	132
8.1.1	Konstrukce robotů s plazivým pohybem.....	133
9	LITERATURA.....	138

1 ÚVOD KE STUDIU

Kapitola se zabývá všeobecným uvedením do problematiky navrhování a praktickými aplikacemi vybraných biorobotických zařízení a charakteristikou základních požadavků na týmovou práci studentů.

Aplikace biorobotických zařízení zejména do nestrojírenských oblastí a trendy současného světového vývoje ukazují na značně široké spektrum možností jejich uplatnění a zejména uplatnění do budoucna. Na rozdíl od průmyslových robotů nacházejí využití zejména v nestrojírenských oblastech a lze je považovat také za servisní roboty, které mají biologický vzor. Biorobotická zařízení se rovněž podílejí na nevýrobních činnostech. To znamená, že jsou a budou nasazovány do oblasti služeb a budou využívány jako osobní roboty.

Rozsah prováděných servisních činností má velký rozptyl požadavků na biorobotické systémy, které jsou na ně kladeny v souvislosti s realizací činností. To klade velké nároky na jejich funkčnost, design, vybavenost potřebnými pohony, způsob řízení, senzory, komunikaci s okolním apod. Ve všech nestrojírenských oblastech existuje značné množství ovlivňujících faktorů konkrétního prostředí majících vliv na konstrukci biorobotických zařízení.

Biorobotická zařízení mají uplatnění všude tam kde je např. prostředí pro člověka nebezpečné, těžko dostupné, nedostupné apod. Jako příklad realizovaných činností pomocí biorobotických zařízení lze uvést monitoring různého charakteru, průzkum pod vodou, obslužné činnosti apod. V neposlední řadě mají uplatnění biorobotická zařízení jako protetické náhrady končetin u člověka, implantáty apod. Biorobotická zařízení mohou také provádět servisní úlohy transportního charakteru, manipulační činnosti, technologické apod.

1.1 Klasifikace základních pokynů pro týmovou práci



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce si stanovíte



Pracovní týmy, které zachováte po celou dobu studia těchto opor.



Rozvržení časového harmonogramu ke studiu těchto opor.



Výklad

Studijní opory s názvem „Navrhování a praktické aplikace biorobotických zařízení“ představují studijní materiál ke studiu předmětu „Biorobotika“ a částečně i předmětu „Servisní roboty“, ve kterých jsou úlohy zaměřené na týmovou práci studentů.

Na začátku studia předmětu je nutné si sestavit týmy - kde každý tým bude mít tři studenty. V případě, že celkový počet studentů ve skupině nebude dělitelný třemi, bude jeden

nebo dva týmy mít čtyři studenty. Takto sestavené týmy budou pracovat na jednotlivých úkolech těchto opor po celou dobu studia předmětu „Biorobotika“. Jednotlivé zadávané úkoly budou vždy platit pro tým studentů. Proto je potřeba si úkol vždy rozdělit mezi jednotlivé studenty v týmu. Co každý student v týmu vypracoval, bude vždy uvedeno na začátku vypracovaného úkolu.

Doporučujeme, aby v každém týmu byli studenti se strojním zaměřením, zaměřením na řízení, navigaci apod. Takováto různorodost zaměření je v oblasti navrhování a aplikování biorobotických zařízení potřebná s ohledem na široké spektrum požadavků.

Pokyny ke zpracování každé úlohy:

- Každá úloha bude vypracována písemně v textovém editoru WORD.
- Každá úloha bude obsahovat titulní stranu, kde bude uvedený název opor, jména studentů příslušného týmu (včetně jejich podpisů) a číslo úlohy (je uvedeno vždy v modrém poli – úlohy k řešení).
- V úvodu každé úlohy bude jmenovitě uvedeno, kdo zpracoval jakou část daného úkolu.
- V závěru textové části každé úlohy bude uvedena použita literatura.
- Každý úkol bude odevzdán na MOODLE (v předmětu „Biorobotika“) ve stanoveném termínu.
- Při nedodržení termínu odevzdání úlohy bude provedena srážka bodů (viz pokyny na MOODLE).
- Dotazy k jednotlivým úlohám mohou studenti řešit s tutorem na cvičeních v průběhu semestru.



Shrnutí pojmů 1.1.

Týmová práce, sestavení týmů.

2 KLASIFIKACE Z ÁKLADNÍ POJMY Z OBLASTI BIOROBOTIKY

Kapitola se zabývá definováním vybraných základních pojmů z oblasti biorobotiky, metodikou a metodologií bioniky, modelováním v bionice, postavením biorobotiky z hlediska bioinženýrských oborů apod.

2.1 Klasifikace a základní pojmy



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat základní pojmy v oblasti biorobotiky.
- Definovat biomechaniku člověka.
- Definovat související pojmy.



Výklad

V současnosti existuje řada mezioborů typu „Bio - Ing“ které představují kombinace věd biologických, technických, lékařských a dalších. Do těchto mezioborů patří rovněž obor biorobotika jak znázorňuje obr. 2.1. Pro lepší pochopení náplně jednotlivých mezioborů, které mají určitý vztah k oblasti teorie a konstrukce biorobotických zařízení jsou některé z nich podrobněji vymezeny.

Biorobotika - je teoreticko - aplikační obor, v němž se využívají teoretické, klinické a další poznatky o vlastnostech, procesech a projevech některých orgánů lidského těla v robotice, což představuje obor zabývající se teorií, konstrukcí a využíváním robotů. Dále se mohou využívat získané poznatky při zkoumání ostatních živočichů a hmyzu. Podle toho jaké vlastnosti a schopnosti člověka, živočichů a hmyzu mechanické soustavy (biorobotická zařízení) napodobují, člení se biorobotika na tyto historické etapy:

- napodobují se pohybové schopnosti člověka, živočichů a hmyzu (kráčejíci roboty apod.)
- napodobují se zpětnovazebné reakce lidského organismu na vnější podněty (vnější reakce - rozpoznávání scén u adaptabilních robotů, vnitřní reakce - reakce na změny vlastností své struktury apod.)
- napodobují se procesy probíhající v mozku člověka (viz umělá inteligence - kognitivní roboty - je zadáno cílové chování, způsob jeho splnění určuje robot sám)
- vyšší stupeň robotů, tzv. kognitivní (je zadáno cílové chování - z množiny cílů si robot musí vybrat z určitého hlediska ten nejvhodnější).

Bioinženýrství - v hierarchii mezioborů „Bio - Ing“ je to nejobecněji pojatý obor zabývající se využíváním technických věd a technické praxe při řešení problémů v bio oborech. Z technických věd využívá teorie z jednotlivých inženýrských oborů, inženýrské

přístupy a metody, z technické praxe technologické a výrobní postupy pro tvorbu technických objektů využívaných v biorobotických zařízeních.

Biomechanika (BM) - je to teoreticko - aplikační vědní obor, zabývající se studiem struktur biologických objektů, na nich probíhajícími procesy, jejich chováním a řešením problémů na bioobjektech, to vše s využitím poznatků, přístupů, metod a teorií inženýrské mechaniky. Podle typu bioobjektu, na který se biomechanika aplikuje, lze ji členit na BM člověka, BM flóry a BM fauny.

Biomechatronika (BMT) - je to teoreticko - aplikační obor integrující v sobě biomedicínské inženýrství, elektroniku a inteligentní počítačové řízení. Zabývá se návrhy, vývojem a zjišťováním vlastností a chování biomechatronických výrobků a zařízení. Je to inženýrská mechatronika aplikovaná na bioobjekty, především ve vztahu k člověku. Mechatronické výrobky jsou funkční sestavy s určitým cílovým chováním, jejichž strukturu tvoří mechanické a elektrické prvky s takovými vlastnostmi a vzájemnými vazbami, že chování celku vykazuje určitý stupeň inteligence. K základnímu stupni inteligence patří programovatelnost a samoregulovatelnost. K vyššímu stupni pak diagnostifikovatelnost vlastních chyb, samoopravitelnost, schopnost získávat zkušenosti, vylepšovat vlastní chování, reorganizovat svou strukturu s ohledem na měnící se vlivy okolí apod. Biomechatroniku lze členit obdobně jako biomechaniku, tedy na BMT: poznávací, klinickou sportovní, rehabilitační a invalidní.

Rehabilitační inženýrství - je to obor, který se zabývá návrhy, výrobou, testováním vlastností a chování rehabilitačních a protetických pomůcek a zařízení a jejich praktickými aplikacemi. Jedná se o inženýrské činnosti využívající poznatky medicíny, biomechaniky, biomechatroniky a medicínského inženýrství. Podle aplikační sféry produktů tohoto inženýrství ho lze členit na klinické a sportovní.

Umělá inteligence - je to vlastnost neživých objektů, kterou se zabývá stejnojmenný obor, označovaný též jako neuroinženýrství. To se snaží technickými prostředky, především počítači, modelovat procesy, jež jsou součástí lidského myšlení a využívat je:

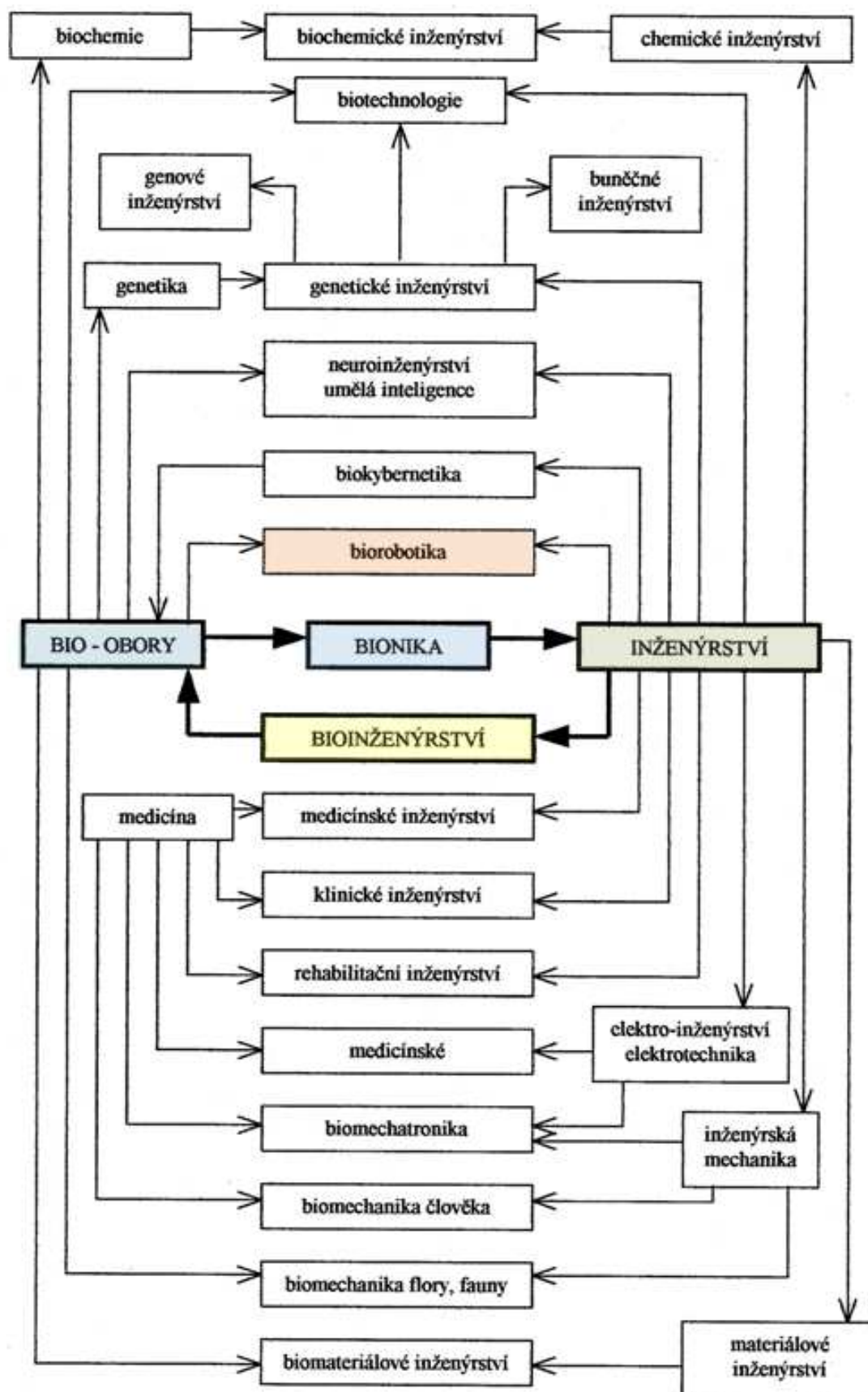
- v metodách pro řešení problémů znalostním, resp. výpočtovým modelováním (expertní systémy, neuronové sítě, genové algoritmy)
- v technických zařízeních (mechatronické výrobky, roboty apod.).

Biomechanika člověka (BMČ) - tuto lze členit podle různých kritérií, jak znázorňuje obr. 2.2, kde je zjednodušené schéma členění biomechaniky člověka mající přímý nebo nepřímý vztah k oboru biorobotiky [34, 35, 36, 38]:

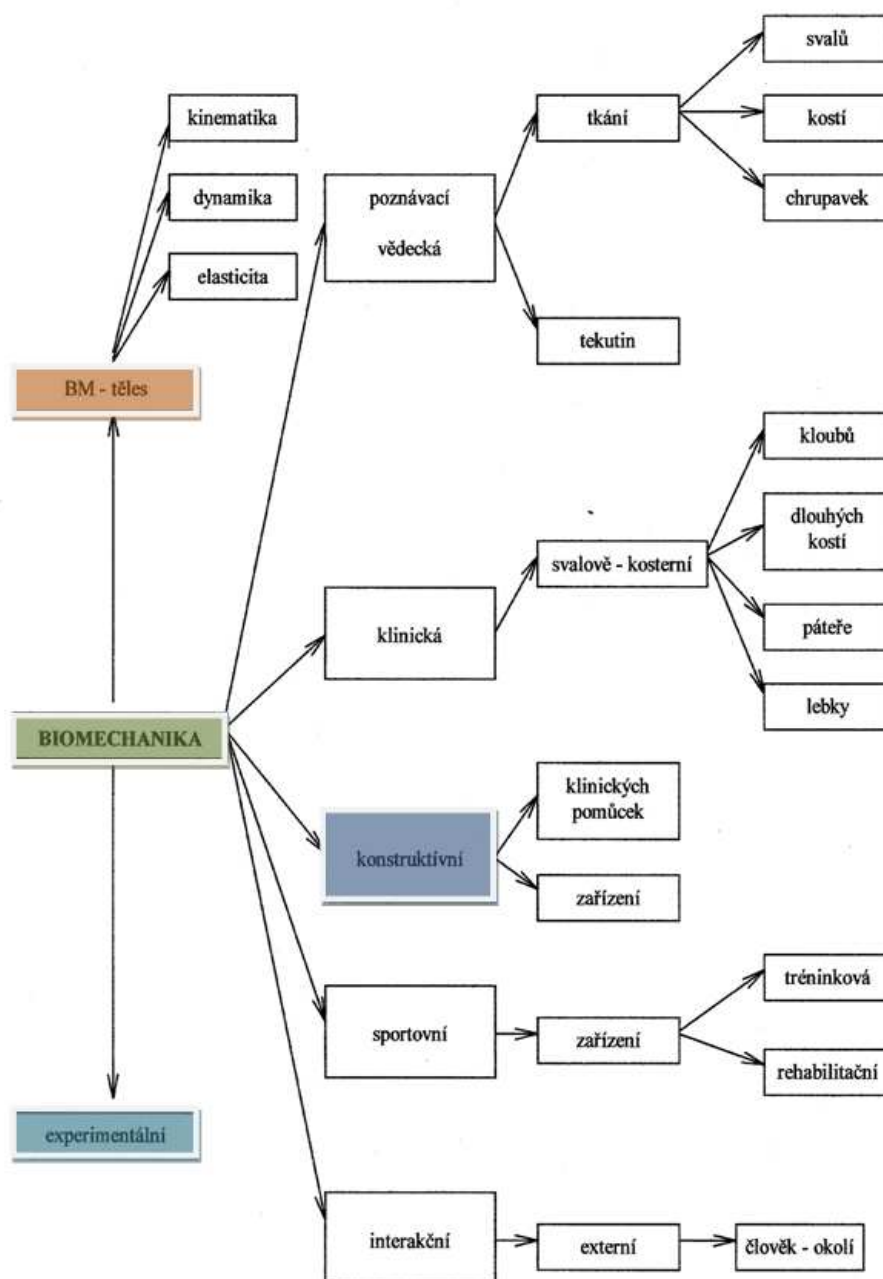
A) Z hlediska té části mechaniky, která se využívá při řešení biomechanického problému, kde lze hovořit o biotermomechanice, biohydromechanice a o biomechanice tuhé fáze.

B) Podle toho jaký typ modelování se využívá při řešení problémů BMČ lze členit na:

- **Experimentální** - jestliže aktuální preferenci řešení problému má experiment, přičemž výpočty zde hrají úlohu sekundární (používají se v oblasti zpracování výsledků měření nebo jako součást plánování měření).



Obrázek 2.1- Kombinace věd biologických, technických a lékařských



Obrázek 2.2 - Zjednodušené schéma členění biomechaniky člověka mající přímý nebo nepřímý vztah k oboru biorobotiky

- **Výpočtovou** - jestliže aktuální preferenci má výpočtové modelování. Jeho použití je podmíněno existencí teorie v matematickém vyjádření, její řešitelností a realizovatelností na výpočetním prostředku.

C) Podle cílového chování BMČ lze provést následující vymezení jejich typů na:

- **Poznávací BM** - která má charakter cílevědomého, systematického a objektizovaného poznávání bioorganismů z určitého vymezeného zájmu s využitím mechaniky. Především jde o poznávání vlastností a chování prvků a jejich vazeb v bioobjektu, vlastností a chování bioobjektu jako celku a jeho vazeb s okolím. Patří sem např. výzkum mechanických vlastností tkání, jejich chování pod zatížením, mezních stavů tkání, výzkum vlastností a proudění biotekutiny, kinematika a dynamika svalově - kosterní soustavy apod.

- **Konstruktivní BM** - cílem je využití poznatků a metod mechaniky při návrhu a realizaci technických objektů s určitým cílovým chováním - sloužících k řešení klinických problémů. Technické objekty mohou mít různorodý charakter - od chirurgických a ortopedických pomůcek, přes dočasné nebo trvalé implantáty až po zařízení pro udržení nebo obnovu fyziologických funkcí bioobjektů.
 - **Sportovní BM** - je oborem využívajícím poznatků mechaniky při řešení problémů souvisejících se sportovní činností člověka, zejména při:
 - zvyšování jeho sportovních výkonů,
 - objektivizaci odezev sportovních činností na vlastnosti a chování prvků struktury organismu,
 - optimalizaci rehabilitačních sportovních procesů,
 - návrzích technických objektů pro tréninkové, rehabilitační a klinické účely související se sportovními činnostmi.
 - **Interakční biomechanika** - se zabývá problémy souvisejícími s orientovanými interakcemi typu „okolí - člověk“, dále s problematikou prevence vůči nepříznivým vlivům těchto interakcí a s rehabilitačními problémy při odstraňování jejich následků. Okrajově sem patří i problematika operačně orientované interakce, tedy „člověk - okolí“, která je analyzována v samostatné vědní disciplíně, v ekologickém inženýrství.
- D) Podle orgánu či části lidského těla**, kterým se klinická a poznávací BM zabývá, existuje BM soustavy svalově - kosterní aj.



Shrnutí pojmů 2.1.

Biorobotika, bioinženýrství, biomechanika, rehabilitační inženýrství, umělá inteligence, biomechanika člověka.



Otázky 2.1.

1. Co je to biorobotika?
2. Jak lze členit biomechaniku člověka?



Odměna a odpočinek

Jestliže jste správně odpověděli na obě otázky, úspěšně jste zvládli tuto podkapitolu. Dejte si nyní oddech před dalším pokračováním ve studiu.

2.2 Vznik a historický vývoj bioniky



Čas ke studiu: 2 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat historický vývoj pojmu bionika.
- Definovat různé pojmy bioniky.
- Definovat pojem model v umění a ve vědě.

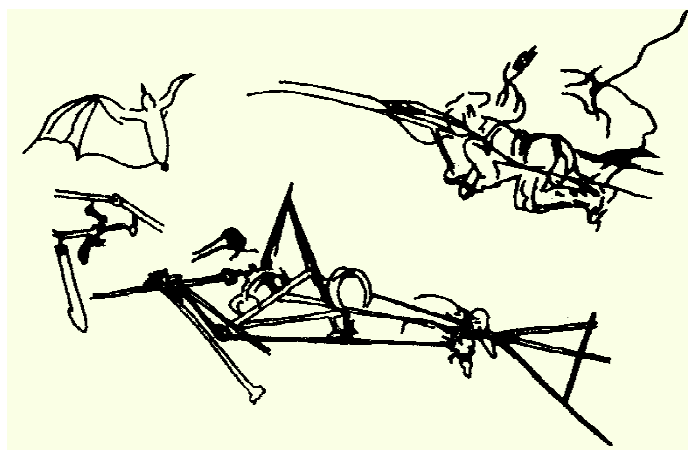


Výklad

Odvěkou snahou člověka je odhalovat tajemství živé i neživé přírody a využívat získaných poznatků pro své potřeby a k ovládnutí okolního světa. Z tohoto hlediska jsou významná zejména aplikovaná odvětví biologie. Proto vzniká vědecká disciplína, pro kterou zvolil v srpnu 1958 Jack E. Steele (Dayton) označení „bionics“ (bionika). Tato nová vědní disciplína vytváří mezi dvěma obory a to mezi biologií a technikou velmi pozoruhodnou perspektivní vazbu, která umožňuje na jedné straně zásluhou biologie významný pokrok v technice a na straně druhé, aplikaci inženýrských metod a poznatků další rozvoj věd biologických.

I když člověk tu a tam navrhoval technické konstrukce podle živých předloh, zůstaly tyto snahy až do období vzniku bioniky spíše věcí náhody než cílevědomého úsilí. Při prohledávání jeskyní ve Švábských Alpách byly nalezeny sekery pračlověka. Výzkumem těchto nástrojů bylo zjištěno, že k řezání se používalo ostrých kamenů, které připomínají zub medvěda. Nástroj byl tak přímou kopií přírodního vzoru. Příklady pokusů a napodobování funkcí a tvarů živého organismu lze nalézt např. v dějinách letectví. Již ve starých mýtech a legendách se na způsob létání ptáků orientovali odvážní lidé - jako Daidalos a jeho syn Ikaros. Ikaros však vzlétl tak vysoko, že se vosk, kterým byla péra připevněna, roztavil od slunce a letec se zřítil do moře.

Z mnoha přírodovědců je v dějinách letectví zvláště vysoce ceněn geniální Leonardo da Vinci (1452-1519). Již v těchto letech po intenzivních studiích techniky ptáčích letu odhadl, že mechanické napodobení ptáčích křídel je spojeno s velkými těžkostmi. V zachovalých pracích alchymisty Jakuba IV. Skotského a poznámkových sešitech geniálního umělce, vynikajícího inženýra, hydraulika a mechanika Leonarda da Vinciho se nachází množství náčrtů, skic a maleb létajících strojů s pohyblivými křídly. Načrtl proto počátkem 16. století létající stroj, pro který použil jako předlohu netopýra. Brzy se nespokojil s pouhým kopírováním a přikročil ke konstrukčním řešením, která účelností předčila i přirozený systém létání (R. Nimführ, 1910). Ačkoliv byl tehdy navržený stroj k létání také sestaven, neměl naději na úspěch jen proto, že v té době ještě neexistoval náležitě silný a současně lehký motor, který by uvedl jeho křídla do pohybu, jak znázorňuje obr. 2.3 [34, 35, 36, 38, 40, 41].



Obrázek 2.3 - Náčrt klouzavého letounu od Leonarda da Vinci

V květnu 1910 startoval Etrichův holub na svůj první další let. Uletěl vzdálenost přes 45 km, a to rychlostí 90 km/hod. Závěrem v této souvislosti je nutno poznamenat, že i ve zcela nedávné minulosti posloužil netopýr jako předloha pro konstrukci letadla, a to v Ryanových závodech. Znovu tak na základě využití nejnovějších poznatků přírodních věd (a tím také principu bioniky) vzniká potřeba konstrukce letadel se stažitelnými křídly „s netopýří nosnou plochou“, která by letci usnadňovala přistání.

Další oblastí, která v současnosti i minulosti významně přispěla ke vzniku a rozvoji bioniky je stavebnictví. Například významný mezník v dějinách stavitelství je londýnský „křišťálový palác“, zbudovaný v „předbionické době“ v letech 1850-1851. Tento výstavní palác má sřešní konstrukci z ocele a skla, pro jejíž architektonickou skladbu byl její tvůrce Sir Joseph Paxton, inspirován studiem obrovského leknínu.

Mezi prvními, kteří udělali významný krok k odkrytí vnitřních zákonitostí živých systémů a kteří jich využili při tvorbě nových technických zařízení, byli arabští lékaři. Už před mnoha stovkami let vykonávali oční operace a získali tak představu o lomu světelných paprsků při průchodu světla z jednoho průhledného prostředí do druhého. Výzkum oční čočky přivedl tyto lékaře k myšlence využít čočku zhotovenou z krystalu, nebo skla na zvětšování obrázků. Významné pokusy italského fyziologa Luigi Galvaniho (1737 - 1798) s končetinami žáby umožnili objevit tzv. živočišnou elektřinu a nakonec přispěli ke vzniku galvanických článků - chemických zdrojů elektrické energie. Francouzský fyziolog, lékař a fyzik J. P. N. Poiseuille (1799 - 1869) na základě pokusů s pohybem krve v cévách formuloval zákony pohybu tekutin v tenkých trubicích.

Kromě těchto praktických výsledků, založených po teoretické stránce na biologických principech existuje celá řada bionických myšlenek a představ. Jsou to např. práce R. H. Francé „Die Technische Leistungen der Pflanzen“ (technické výkony rostlin) z roku 1919 a „Die Pflanze als Erfinder“ (Rostlina jako vynálezce) z roku 1920. Dále práce G. Lilienthala „Die Biotechnik des Fliegens“ (Biotechnika létání) z roku 1925 nebo A. Niklitscheka „Technik des Lebens“ (Technika živého) z roku 1940 [34, 35, 36, 38, 40, 51, 52].

Bionickou problematiku na svou dobu široce rozpracoval a do problematiky a způsobu bionického myšlení poměrně hluboko pronikl R. H. Francé, který v letech 1919-1920 zavedl pro svůj nový vědní obor označení „biotechnika“.

Změna ve vztazích mezi biologií a technikou s ohledem na vznik bioniky – nauky, která by systematicky zkoumala možnosti využití biologických poznatků v průmyslu - nastala až pod vlivem popularizujících prací Maxe O. Kramera, které pojednávají o kůži delfína. M. O. Kramer v roce 1946 pozoroval delfíny a byl ohromen jejich rychlým plaváním. Zejména starší jedinci dosahují rychlosti vyšších než 80 km/hod. Dlouhodobým studiem bylo zjištěno, že delfín nedosahuje těchto výkonů jen silou svalů, tvarem těla a způsobem plavání, ale také snížením odporu protisměrně proudící vody. M. O. Kramer při svých studiích delfínů objevil, že druh „delfín strakatý“ žijící při pobřeží Pacifiku má na povrchu těla asi 0,5 mm silnou, značně zřasenou a na vodu velmi bohatou membránu. Tato membrána přenáší tlakové rozdíly hraniční vrstvy okolní mezní vrstvy vody nezměněně na 1 mm silnou, tzv. tlumivou vrstvu, která je silně elastická a protkaná tenkými kanálky. V kanálkách této vrstvy je tekutina, která v nich proudí tam i zpět v souladu s tvarovými změnami vnější membrány, čímž se část

turbulentní energie absorbuje a tak dochází k určitému útlumu vodních vírů v sousedství kůže. Tento efekt je navíc zesilován měnlivými kožními záhyby. Při extrémně vysokých rychlostech vykazuje kožní zvlnění u starých jedinců tendenci postupovat směrem dozadu a vypnutím kůže se zmenšuje turbulentní proudění na příslušné části těla. Pod tlumivou vrstvou se nachází ještě asi 6 mm silná spodní vrstva kůže zvaná škára, tvořená vazivem.

2.2.1 Charakteristika a základní pojmy bioniky

Základy ke vzájemnému ovlivňování biologických a technických disciplín položila kybernetika, která vznikla v polovině 20. století. Tím, že se začala dívat na živé organismy, jako na složité dynamické systémy pochopila, že existuje analogie ve stavbě a funkci živých a technických systémů. Díky tomuto vzájemnému ovlivňování se z biologických a technických disciplín zrodil nový vědecký směr, který byl pojmenovaný „bionika“.



Pojmy k zapamatování

Bionika - představuje vědu zabývající se studiem biologických soustav a procesů, s využitím získaných vědomostí k řešení technických úloh. Bionika na základě současných fyzikálních a chemických metod výzkumu biologických systémů našla v živé přírodě cesty k řešení složitých technických problémů. Bionika projevuje zájem o vše, co může být nazvané technikou přírody a co může člověk prakticky použít při vytváření nové, umělé přírody. Úsilí vědců zabývajících se problematikou bioniky se soustřeďuje na čtyři základní oblasti [60]:

- Na receptory, nervové buňky a neuronové sítě - s cílem získané poznatky uplatnit při konstrukci snímačů, prakticky použitelných neuronových modelů a umělých kybernetických soustav, z nich tvořených.
- Na rozpoznávání optických a akustických obrazů, na procesy prostorové orientace, navigace a praktické uplatnění příslušných biologických a psychických mechanismů.
- Na mechanismus učení, ukládání a vybírání informací z paměti, řešení problémů, řízení pohybů a složitého chování živočichů se záměrem vytvářet soustavy s umělou inteligencí a dokonalé roboty, které by mohly napodobovat nejenom fyzické, ale také některé psychické výkony člověka.
- Na biotechnické soustavy, ke kterým patří též smyslové a pohybové protézy a umělé orgány a také systémy typu člověk - stroj, člověk - počítač a člověk - robot.

Nejdůležitějším bionickým projektem v oblasti konstrukce robotických zařízení je výzkum, vývoj a konstrukce biomechanických robotů [34, 35, 36, 38, 40, 60, 61, 62].

2.2.2 Předmět studia a členění bioniky

Neustále se prohlubující vztahy biologie k jiným vědním oborům vyúsťují ve vznik nových vědních disciplín jako je biofyzika, biochemie, biogeografie, bioklimatologie, biokybernetika apod. Až do období vzniku bioniky se však omezují tyto vazby jen na oblasti základního výzkumu a méně na odvětví techniky a sféry materiální produkce. Již před vznikem bioniky se projevovaly tendence o zavedení podobné disciplíny. Pod názvem biotechnika vznikala např. oblast výzkumu, jejímž předmětem je studium fyzikálně-technických zákonů uplatňujících se ve stavbě a funkcích živých systémů, s cílem jejich

využití jako modelů v technice. Označení tohoto výzkumu pojmem biotechnika je však nesprávné. Od počátku 50. let bylo totiž v USA používáno označení biotechnika pro aplikace technických věd při analýze fyziologicko-chemických pochodů v biologických systémech. V roce 1969 bylo zveřejněno sdělení o výstavbě biotechnické školy ve Stöckheimu (NSR). Jednalo se o pracoviště zaměřené hlavně na technickou mikrobiologii, tedy na nauku, pro kterou je již déle používán termín „biotechnologie“.

Těsné spojení biologie s hlavními odvětvími hospodářství poskytuje nebývalé perspektivy pokroku v materiální produkci. Kromě toho poskytuje bionika nebývalé možnosti i biologickým vědám, a to v tom směru, že se mohou podílet na řešení klíčových problémů všech přírodních věd. Plné využití biologických poznatků v perspektivních odvětvích průmyslu při zavádění nových, vysoce produktivních výrobních postupů je v současné době již nezbytné. Podle toho do jaké míry se podaří zvyšovat v průmyslu efektivitu výroby za přispívání biologie, bude se také zvyšovat tempo dalšího vývoje bioniky. Takto se lze dostat k otázce pracovní náplně či obsahu bioniky [34, 35, 36, 38, 51, 52, 58, 60, 62, 63].

S celosvětově rychlým vývojem bioniky se od určité doby rýsuje členění této nauky na různá dílčí odvětví, vyplývající ze tří fází bionického výzkumu a vyhraňující se již od samého počátku vzniku bioniky. Na základě analytických studií a v souladu s vytčenými cíli lze tedy definovat následující dělení:

- obecná bionika
- systematická bionika
- specificky použitá bionika



Pojmy k zapamatování

Obecná bionika - jejím hlavním úkolem je pátrat po tom, co má být obsahem studia, tj. hodnotit z bionického hlediska mnohotvárnost biologických jevů a upozorňovat na struktury a procesy, i na jejich funkční vztahy v systémech či v dílčích systémech organismů, které mohou mít význam pro vytýčení technických a technologických problémů. Přitom je zpočátku nepodstatné, jak dalece jsou tyto biologické jevy objasněny či nikoli. Všeobecně se jeví jako účelné, vycházet z poznatků těch biologických disciplín, které již dosáhly ve studiu biologických struktur a procesů exaktních výsledků.

Systematická bionika - má důležité klíčové postavení, které spočívá v systematickém řešení výsledků bionického výzkumu. Bionicky významné výsledky studia biologických struktur, procesů a systémů soustavně třídí a upravuje pro specificky aplikované obory, pro techniky, technology, návrháře, architekty aj. Tyto informace ukládá tak, aby byly pro zájemce k dispozici. Vyvíjený způsob třídění systematické bioniky nemá žádné přímé vztahy k obecně známým systémům organismů (botanickému, zoologickému apod.), i když se o tuto biologickou systematiku opírá. V současné době se bionice nabízejí k systematickému třídění jako hlavní skupiny či systematické jednotky zejména: jemné nebo tzv. submikroskopické struktury, přírodní způsoby spojování, biologické systémy aktivního a pasivního létání, tvarové profily organismů, přírodní laminární proudění, zvířecí sonary, přírodní příjem informací nebo podnětů, přenos, zpracování a hromadění informací.

Specificky použitá bionika - má v první řadě za úkol vyhledávat a vyvíjet pro jednotlivé aplikované obory podněty, předlohy, modely nebo prototypy výrobků. Ve spojení s objevitelskou a tvořivou činností zajišťuje také návrhy na rozvíjení racionálních metod pro využívání biologických poznatků. Zvláště výrazně se ve speciálně užití bionice uplatňuje již zmiňovaná integrační tendence podmíněná výzkumem orientovaným na otázky aplikace.

2.2.3 Metoda, metodika a metodologie bioniky

Protože je bionika směr biologie, technicky orientovaný, používá především obecné metodologie biologických věd. S vývojem této disciplíny se však vytváří také speciální metodologie bioniky, která zahrnuje údaje o užívaných metodách, popřípadě o metodických systémech. Má také za úkol, na základě již existujících metod, rozvíjet metody dokonalejší a vypracovávat i metody zcela nové. Bližší cíl této činnosti má být vyhledávání optimálních cest poznání, kdežto konečný cíl má přispívat k rozvoji teorií biologických metod, čímž se stává součástí i teoretické biologie. Přitom je však nutno zdůraznit, že na cestě k teoretické biologii je vždy nutno zachovávat jednotu metody a obsahu, aby nebyla zaujata již na samém počátku tohoto procesu vývoje biologie chybná výchozí pozice. V živých společnostech se jedná o otevřené systémy s dynamickým průběhem, takže ve vzorcovém vyjádření vystupuje vždy čas jako nezávisle proměnná [34, 35, 36, 38, 51, 52, 60, 66].

2.2.4 Metoda, metodika a metodologie bioniky

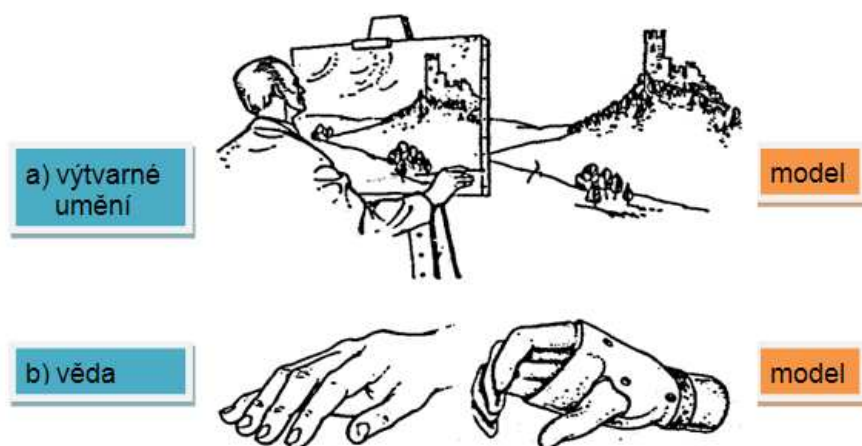
Důležité metody, které vedly a vedou k vynikajícím výsledkům, se jeví metoda srovnávací, která zahrnuje stálé a těsné spojení analýzy a syntézy. Experimentální metoda spočívá ve vhodném využívání pokusů. Ačkoliv mají obě uvedené metody základní význam samozřejmě i v jiných vědách, jeví se zde zvlášť významné s uvažováním enormní komplexnosti biologických forem a procesů. Generalizující metoda je nepostradatelným základem nejen pro srovnávací odvětví biologie, ale vytváří poznáním podstatných rysů biologických systémů také předpoklad pro správné kladení otázky v experimentu. Správné položení otázky nelze přitom chápat odděleně od způsobu řešení. Co se týká zvláštního postavení čisté induktivní metody, nutno poznamenat, že podstatné biologické teorie, stejně jako počátky chromozómové teorie byly rozpracovány právě s jejich pomocí.

Za základ systému obecných pojmů a výroků, tedy podstatných rysů posloužily výsledky zpracování rozdílů a podobností živých systémů, které v případě dostatečného statistického zhodnocení a správného pochopení umožňují vysokou pravděpodobnost zobrazení objektivní reality. Až dosud bylo biologické poznání jen souborem jednotlivých faktorů bez vzájemných vztahů. Zpočátku umožňovalo hlubší, principiální pohled do souvislostí mezi zákony biologických struktur a procesů v jejich funkčních vztazích jen hypotézami a na vyšší úrovni teoriemi. Aby hypotézy nabyly vědecké hodnoty, musí být verifikovány, to se děje při prosté indukci srovnáváním a analýzou dalších případů. Nutno uvést, že ne všechny experimenty vedou k objevení zákonitých vztahů. Často umožňují jen přesnější poznání stavů a procesů. I tak přispívají k pokroku poznání podobně jako srovnávací metody pro stanovení obecných pravidel. Lze říci, že každý biolog usiluje o vydedukování vlivu speciálního, měnícího se faktoru správně provedeným pokusem [34, 35, 36, 38, 51, 52].

2.2.5 Modelování v bionice

Modelování, zejména rozpracování materiálních a ideových modelů má v bionice jako poznávací metoda mimořádný význam. Slovo model vyvolává ve většině z nás představu fotomodelu. Slovo model má v běžné řeči tolik významů, že se nejprve musíme dohodnout, co si máme ve vědeckém pojetí pod tímto pojmem představit. Rozdílnost pojmu model ve výtvarném umění a ve vědě jak znázorňuje obr. 2.4. Ve výtvarném umění se jako model označuje věcný, nebo živý objekt, podle kterého umělec tvoří. V přírodních vědách a v bionice se však pod pojmem model rozumí ne originál, ale produkt lidské činnosti, tedy to, co je podle originálu vytvořené. To znamená, že podle toho, z kterého hlediska je věc posuzovaná, je příslušný objekt jednou modelem a podruhé zase originálem.

V bionice rozumíme pod pojmem model účelově určený ideový námět nebo hmotně realizovaný analogon podstatných znaků zkoumaného biologického předmětu, který může sloužit jako náhradní experimentální objekt a umožňuje méně nákladné získávání nových poznatků o živém materiálu nebo realizaci nového technického systému tam, kde by to za daných podmínek jinak nebylo možné. Aby mohly plnit biologické modely funkci „náhradního objektu“ nebo „reprezentanta“ v pravém slova smyslu, musí mít určitý stupeň podobnosti [34, 35, 36, 38, 51, 52, 58, 119].



Obrázek 2.4 – Různý význam pojmu model a) ve výtvarném umění, b) ve vědě



Shrnutí pojmů 2.2.

Bionika, členění bioniky, bionika v letectví, bionika v lékařství, bionika ve stavebnictví, obecná bionika, systematická bionika, model.



Otázky 2.2.

3. Kdo využíval poznatky bioniky v letectví?
4. Jak lze vysvětlit pojem obecná bionika?
5. Co se rozumí pod pojmem model ve vědě?

2.3 Postavení biorobotiky z hlediska bioinženýrských oborů



Čas ke studiu: 1 hodina



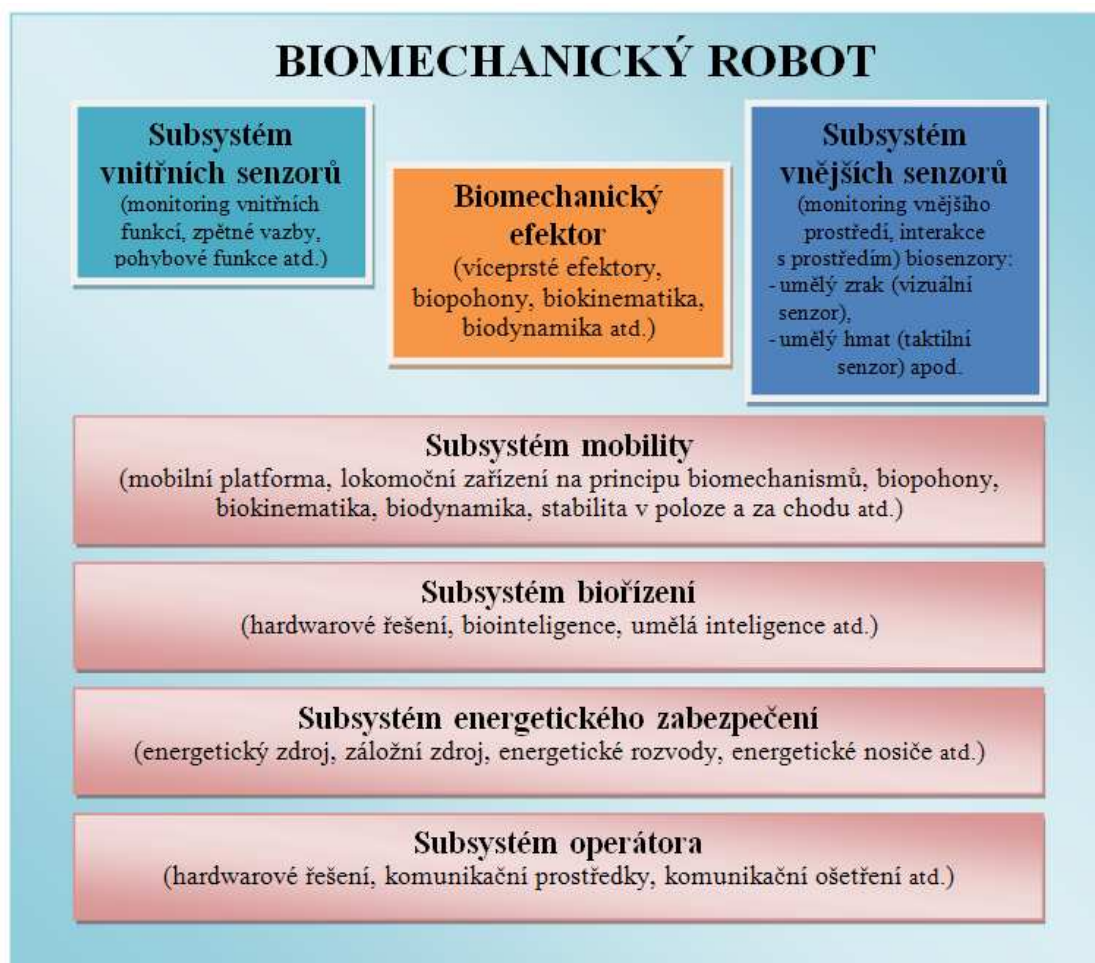
Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

-  Definovat biomechanický robot.
-  Definovat subsystémy biorobotiky.



Výklad

Biorobotika je součástí bioinženýrských oborů a její hlavní úlohou je teoreticky a prakticky řešit konstrukci biorobotických subsystémů zkonstruovaných na základě běžných vědomostí o stavěch a chování živých biologických organismů. Takto navržená zařízení se nazývají biorobotická. Někdy se také nazývají jako biomechanická robotická zařízení. Biomechanický robot jako systémový model, jak znázorňuje obr. 2.5, představuje sestavu strukturovaných funkčně vázaných subsystémů [34, 35, 36, 38, 60, 62, 66, 72, 80].



Obrázek 2.5 - Blokové schéma biomechanického robotu

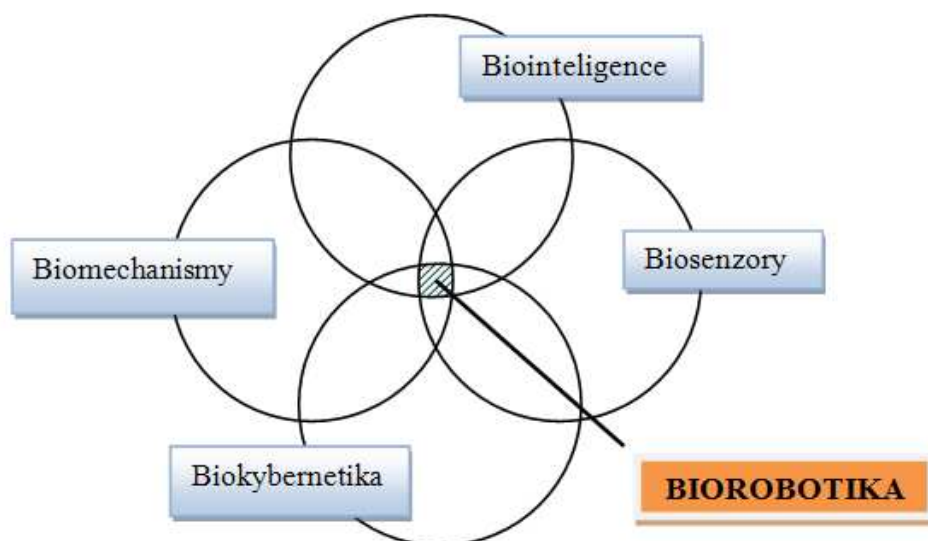


Pojmy k zapamatování

Biorobotika představuje vědu zabývající se studiem biologických soustav a procesů, s využitím získaných vědomostí k vyřešení úloh robotiky jako hybridního směru poznávání, který využívá nejnovější poznatky kybernetiky, počítačových věd, informatiky a umělé inteligence pro tvorbu modelů živých organismů [34, 35, 36, 38, 71].

Biorobotika je podmnožinou biostrojírenských systémů, které zahrnují konstrukci robotických subsystémů založených na běžných vědomostech chování biologických organismů. Klíčové subsystémy biorobotiky zahrnují biokybernetiku, biomechanismy, biosenzory a biointeligenci. Na obr. 2.6 je znázorněná prezentace těchto subsystémů a jejich vztah k biorobotice [6, 34, 35, 36, 38, 39, 61, 62, 86, 87].

Subsystémy biorobotiky mohou být celkově, nebo částečně modelované jako biologické systémy, tj. biologické chování je buď jediný uskutečnitelný algoritmus, nebo může být částí skupiny algoritmů, které obsluhují systém [34, 35, 36, 38, 40, 58, 66].



Obrázek 2.6 - Subsystémy biorobotiky

Modely, které jsou označené jako biorobotické systémy v poslední době vytvořily vhodné prostředí pro realizaci umělých neuronových sítí (Artificial Neural Networks). Biorobotika je užitečným prostředkem pro konstruování mechanismů, které pomáhají řešit fyzikální problémy v následujících oblastech [34, 35, 36, 38, 71, 72]:

- fyzikální rozbor pohybu mechanismů pro plazení, chození, lezení a výzkumné aktivity v oblasti svalů,
- obslužné roboty pro podávání potravy a náhradu fyzicky neuskutečnitelných úkonů lidí při jejich každodenním životě, které běžně vykonávají ošetřovatelé.

Do subsystému biomechanismů patří kinematika, dynamika a biopohony. Mezi tyto biopohony se zařazuje také umělý sval, který jeho výhodné vlastnosti a podobnost biologickému akčnímu členu předurčují pro využití v biomechanismech [38, 60, 61, 81].



Shrnutí pojmů 2.3.

Biomechanický robot, biorobotika.



Otázky 2.3.

6. Co je to biomechanický robot?
7. Jaké jsou subsystemy biorobotiky?



Úlohy k řešení 2.1.

Každý tým si zvolí libovolné biorobotické zařízení (robot), který najde na internetu. Vybrané biorobotické zařízení (robot) popište podle jednotlivých subsystemů, jak je znázorněno na obr. 2.5. Podrobněji rozveďte subsystem mobility.

Popište činnosti, pro které je Vámi vybraný robot určen. Uveďte možný biologický vzor, podle kterého mohl Vámi vybraný robot vzniknout. Z internetu doložte do textu zpracované úlohy obrázkem Vámi vybraného robotu. Použitou www stránku nezapomeňte uvést v citované literatuře.

K řešení této úlohy použijte jako studijní materiál tyto opory, použitou literaturu uvedenou v oporách, elektronické učební texty uvedené na - <http://robot.vsb.cz/podklady-pro-vyuku/>, internet a další zdroje.



Odměna a odpočinek

Jestliže jste správně odpověděli na otázky tohoto odstavce a je Vám vše jasné z kapitoly 2, úspěšně jste zvládli tuto kapitolu. Dejte si nyní den volna před vypracováním úlohy k řešení 2.1. a dalším pokračováním ve studiu.

3 ANATOMIE ČLOVĚKA, ZÁKLADNÍ POJMY PRO BIOROBOTIKU

Kapitola se zabývá anatomii člověka, základními pojmy a využitelnými poznatky pro biorobotická zařízení využitelná v konkrétních praktických aplikacích.

Anatomie člověka je inspirací pro vnik široké škály biorobotických zařízení. K vytvoření pohyblivého mechanismu mohou bionikové brát celou řadu pohybujících se biologických systémů, které lze napodobovat. Je to tedy dostatečné množství nápadů, které by mohly inženýry techniky zaujat a které jsou konstrukčně originální. Bionika zkoumá strukturu pohybových orgánů, charakter působení svalových sil, které vyvolávají pohyb v kinematicky spojených kloubech, zákonitosti pohybu celého těla a jeho částí, určuje charakter, směr a význam působících sil. Protože v úloze navrhování biomechanismů se jedná o náhradu originálu biologického systému systémem technickým, je žádoucí před jakoukoliv činností spojenou s návrhem biorobotického zařízení ozřejmit si základní znalosti z biologie člověka [23, 24, 28, 34, 35, 36, 38, 71, 72].

3.1 Obecná anatomie člověka



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět



Definovat obecnou anatomii člověka.



Výklad

Lze rozlišovat 11 skupin orgánových systémů. Jako nejzajímavější z hlediska navrhování biomechanismů lze jmenovat alespoň tyto:

- **Soustava kosterní** - vytváří podpůrnou (pasivní) část hybného aparátu.
- **Soustava kloubů a vazů** - je také pasivní částí hybného systému. Spojuje jednotlivé kosti a skupiny kostí a zabezpečuje tato spojení.
- **Soustava svalová** - je tvořena příčně pruhovaným svalstvem lidského těla, tj. svaly kosterními a svaly kožními. Kosterní svalstvo je aktivní součástí hybného systému.
- **Soustava nervová** - se skládá z nervstva centrálního a nervstva obvodového. Nervstvo je hlavním řídicím systémem celého těla.
- **Orgány smyslové** - ústrojí čichové, zrakové, sluchově-rovnovážné, chuťové. Tato ústrojí přijímají zprávy ze zevního prostředí. Orgány kožního a hlubokého cití se obvykle přiřazují k soustavě nervové. Pro označení směrů a poloh na lidském těle užíváme řadu mezinárodně uznávaných termínů. Na horních končetinách to jsou:



Pojmy k zapamatování

- proximalis blíže k trupu,

- | | |
|------------|--------------------------|
| - distalis | vzdálenější, |
| - radialis | zevní, palcový okraj, |
| - ulnaris | vnitřní, malíkový okraj, |
| - palmaris | dlaňový, |
| - dorsalis | hřbetní. |



Shrnutí pojmů 3.1.

Soustava kosterní, soustava kloubů a vazů, soustava svalová, soustava nervová, orgány smyslové.



Otázky 3.1.

8. Čím je tvořena svalová soustava člověka?
9. Jaké jsou užívané směry a polohy na horních končetinách člověka?

3.2 Struktura lidských kostí a jejich spojení



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

-  Definovat strukturu a uspořádání lidské kosti.
-  Definovat spojení kostí člověka.
-  Definovat kostru ruky a nohy člověka.

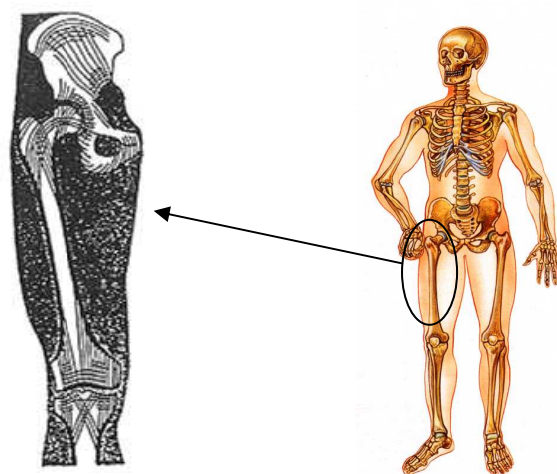


Výklad

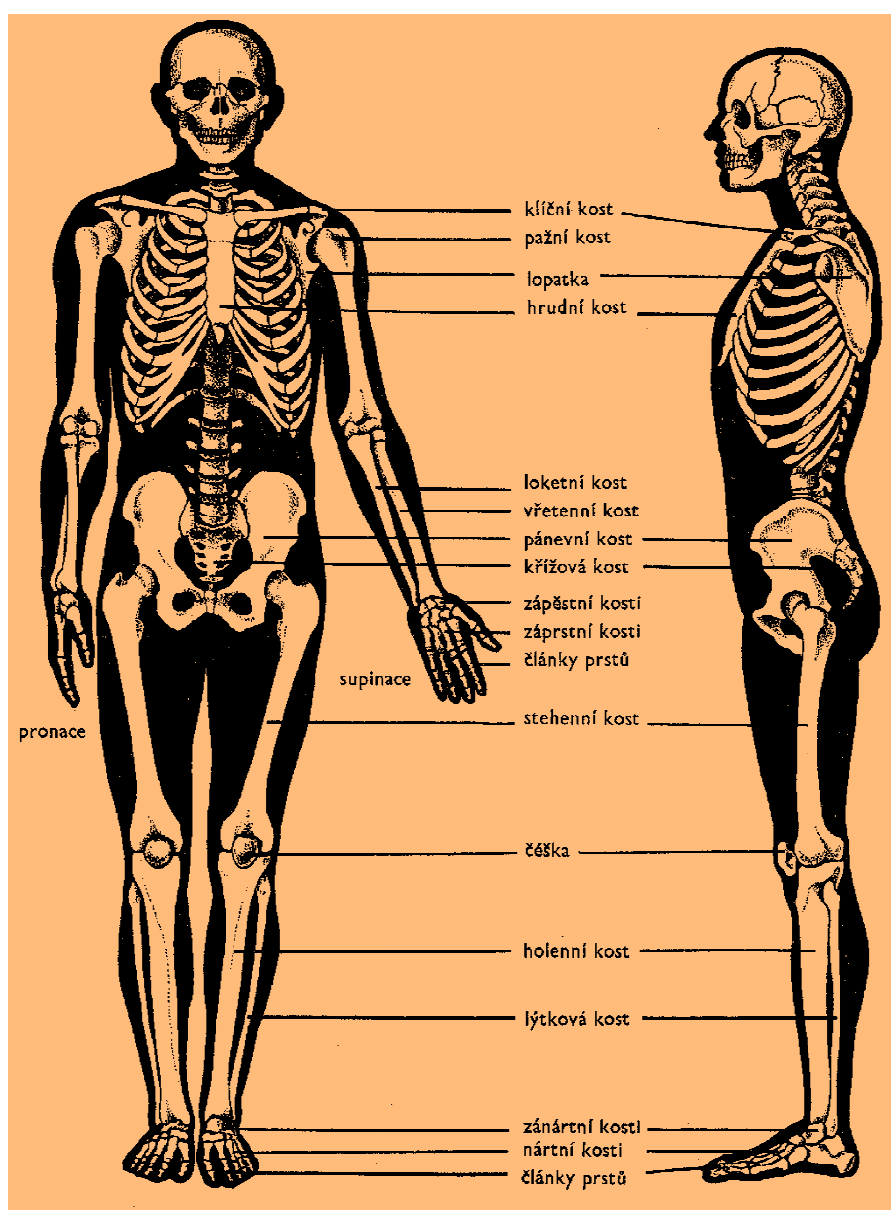
Lidskou kostru (skelet) tvoří více než 200 kostí. Kosti poskytují ochranu měkké tkáni a jsou zásobárnou některých prvků, zejména vápníku a fosforu. Lze rozeznávat podle převládajících rozměrů kosti dlouhé, ploché a krátké. Kost se vyskytuje ve dvou formách [16, 17, 34, 35, 36, 38, 48, 49, 50, 71, 72]:

- kost hutná - kompaktní,
- kost houbovitá - spongiovitá.

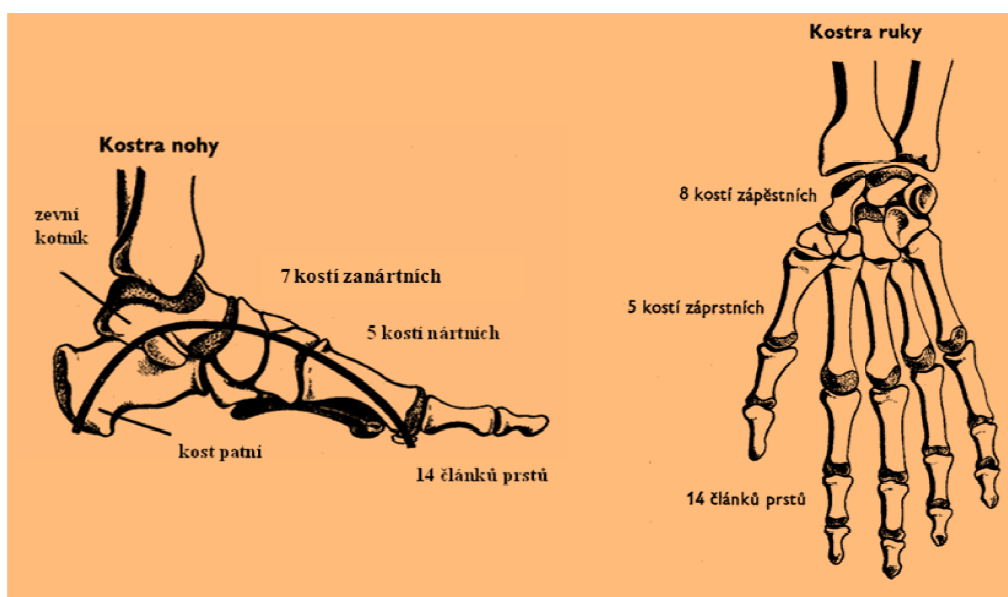
Kost hutná tvoří tělo dlouhých kostí a nachází se na povrchu houbovitě kosti. Strukturu houbovitě kosti tvoří trámečky kostní tkáně v určitých směrech. Toto uspořádání se nazývá architektura kosti, jak znázorňuje obr. 3.1. Trámečky probíhají v křivkách, ve kterých působí na kost tah a tlak (maximální odolnost při minimálním množství spotřebované kostní tkáně). Tato účelná úprava je v uspořádání celé kostry bez ohledu na to, že jednotlivé kosti od sebe oddělují kloubové štěrby. Schéma kostry lidského těla znázorňuje obr. 3.2. Na obr. 3.3 je detailněji zobrazena kostra nohy a ruky člověka [34, 35, 36, 38, 71, 72, 113].



Obrázek 3.1 - Architektura houbovitě kostní tkáně

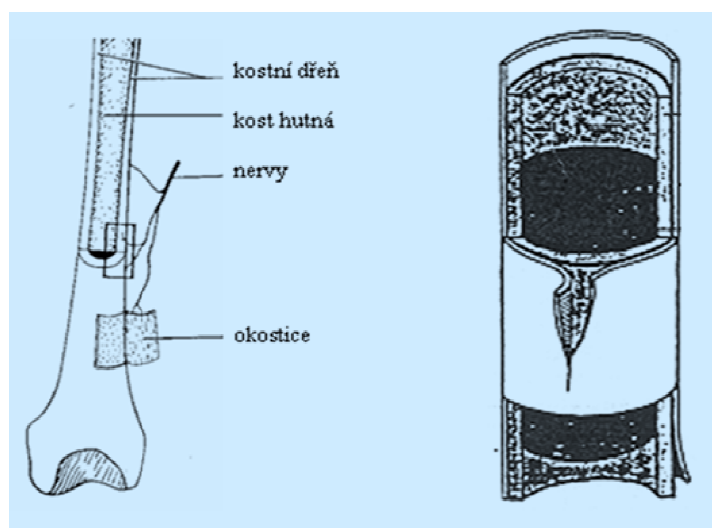


Obrázek 3.2 - Kostra lidského těla



Obrázek 3.3 – Schéma kostry nohy vlevo a ruky vpravo

Lidské kosti jsou tvořeny především kostní tkání. Ta se skládá z destiček - lamel. Lamelární kost je velmi pevná (např. ramenní kost se začíná lámat až při tlaku 8500 N, který působí příčně na kost). Při vyšším věku člověka se pevnost kostí podstatně zmenšuje. Styčné plochy kostí jsou pokryté kostní chrupavkou, zbytek pak vazivovou blankou - okosticí. Okostice je bohatě prokrvená a to umožňuje, aby byla kost vyživována. Dutiny v těle dlouhých kostí a dutiny v houbovitě kosti jsou vyplněné kostní dřeví. Na počátku života člověka je ve všech kostech dřeví červená, ale už v dětském věku se mění v těle dlouhých kostí na dřeví tukovou - žlutou. Ve stáří se z ní vytrácí tuk a mění se na dřeví šedou. Schéma uspořádání diafýzy dlouhé kosti znázorňuje obr. 3.4 [34, 35, 36, 38, 71, 72].



Obrázek 3.4 – Schéma uspořádání diafýzy dlouhé kosti

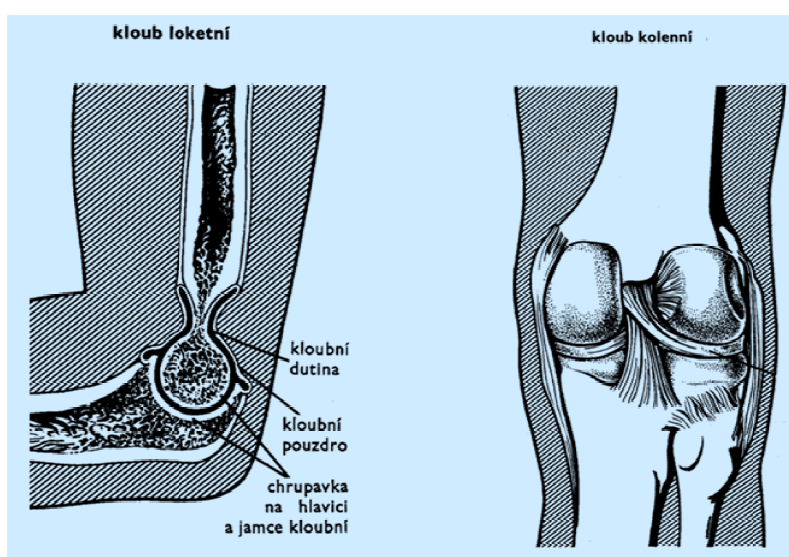
Vytvoření dutiny uvnitř kosti znamená úsporu materiálu, přičemž pevnost kosti zůstává nezměněna. Odolnost kosti vůči tlaku v podélném směru je přibližně stejná, odolnost vůči tlaku působícímu příčně je větší. Kosti jsou vzájemně spojené buď bez mezery (tj. souvisle), nebo s mezerou (tj. v dotyku). Souvislé spojení je uskutečněno vazivem, nebo chrupavkou. Spojení kostí v dotyku je v podstatě spojení kloubové.



Pojmy k zapamatování

Kloub je spojení dvou nebo více kostí v dotyku na plochách pokrytých kloubovou chrupavkou. Na každém kloubu se rozeznávají kloubové plochy, kloubové pouzdro, kloubová dutina a pomocná kloubová zařízení jak znázorňuje obr. 3.5 [34, 35, 36, 38, 71, 72, 142].

Kloubové plochy tvoří zpravidla rozšířené konce kostí. Jedna kloubová plocha bývá vypuklá (konvexní) - **kloubová hlavice**, druhá je vydutá (konkávní) - **kloubová jamka**. Kloubové pouzdro se upíná po okrajích styčných ploch. Je složené z vaziva. Kloubová dutina je kapilární prostor vyplněný vrstvičkou kloubového mazu, kloubovým pouzdem hermeticky oddělený od okolí. Soudržnost styčných ploch je zabezpečena kloubovým pouzdem, kloubovými vazy, přilnavostí styčných ploch zvlhčených kloubovým mazem, atmosférickým tlakem a napětím svalů rozložených okolo kloubů.



Obrázek 3.5 – Schéma loketního a kolenního kloubu



Shrnutí pojmů 3.2.

Kost hutná, kost houbovitá, kostra nohy, kostra ruky, kloub, kloubová hlavice, kloubová jamka.



Otázky 3.2.

10. Čím jsou tvořeny kosti člověka?
11. Co lze definovat kloub?
12. Co je to kloubová hlavice



Odměna a odpočinek

Jestliže jste správně odpověděli na otázky 8. až 12. a je Vám tato problematika jasná, dejte si oddech před dalším pokračováním ve studiu.

3.3 Klasifikace kloubů



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

-  Definovat rozdělení kloubů.
-  Definovat základní druhy pohybů.



Výklad

Anatomie člověka rozděluje klouby obvykle podle následujících třech hledisek [49]:

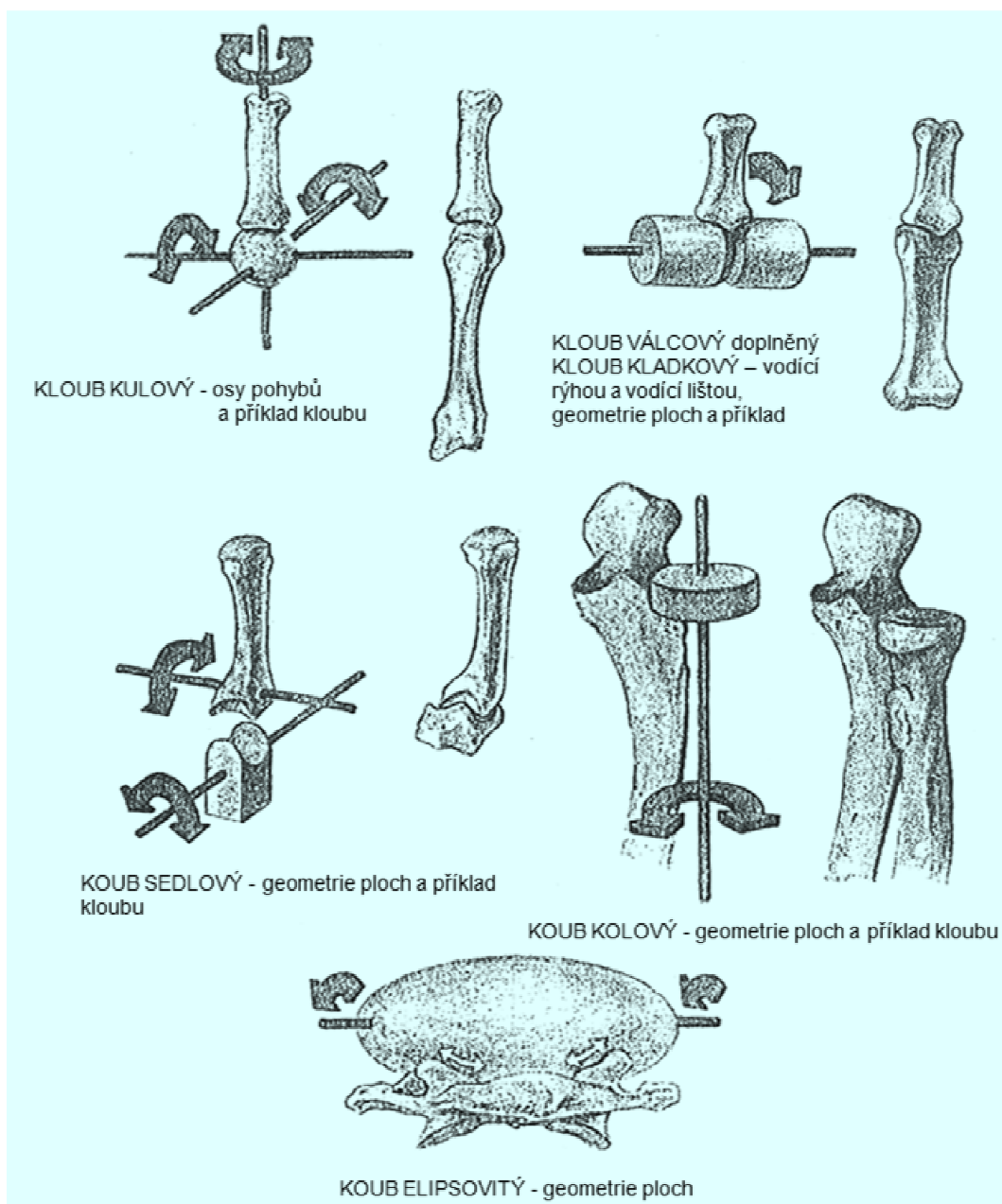
- 1) **Podle počtu kostí na kloubu zúčastněných se rozeznávají:**
 - **Klouby jednoduché** - tvořené jen dvěma kostmi.
 - **Klouby složené** - ve kterých je spojených více kostí než dvě, nebo jsou v nich spojené jen dvě kosti, ale mezi styčné plochy jsou vsunuté buď disky, nebo menisky.
- 2) **Podle tvaru styčných ploch se klouby dělí:**
 - **Klouby s větší pohyblivostí** - dotyková plocha kloubových ploch je snadno geometricky definovatelná. Podle tvaru se tyto dělí na:
 - **Kloub kulový** - jestliže je kloubová jamka u tohoto kloubu větší než polovina kulové plochy, označuje se jako kloub kulový omezený, jestliže je kloubová jamka menší než polovina kulové plochy, označuje se jako kloub kulový volný.
 - **Kloub válcový** - do této skupiny patří také kloub kladkový, ve kterém jsou styčné plochy kladkové, tj. na jedné styčné ploše je vytvořená vodící hrana, na druhé vodící rýha.
 - **Kloub vejcovitý** - má styčné plochy, které jsou částí elipsoidu.
 - **Kloub sedlový** - má styčné plochy ve tvaru koňského sedla, tj. v jednom směru konkávní a ve druhém, na první směr kolmý, konvexní.
 - **Kloub plochý** - má styčné plochy rovné.
 - **Klouby s menší pohyblivostí** - patří mezi klouby, které mají styčné plochy s nepravidelným povrchem a nepravidelnosti jedné styčné plochy zapadají do nepravidelností druhé styčné plochy. Kloubové pouzdro je krátké, tuhé a pohyblivost je minimální. Schéma jednotlivých typů kloubů znázorňuje obr. 3.6.
- 3) **Podle počtu os, okolo kterých se pohyb uskutečňuje, rozeznáváme:**
 - **Klouby jednoosé** - např. kloub válcový
 - **Klouby dvojosé** - např. kloub sedlový
 - **Klouby trojosé** - např. kloub kulový.



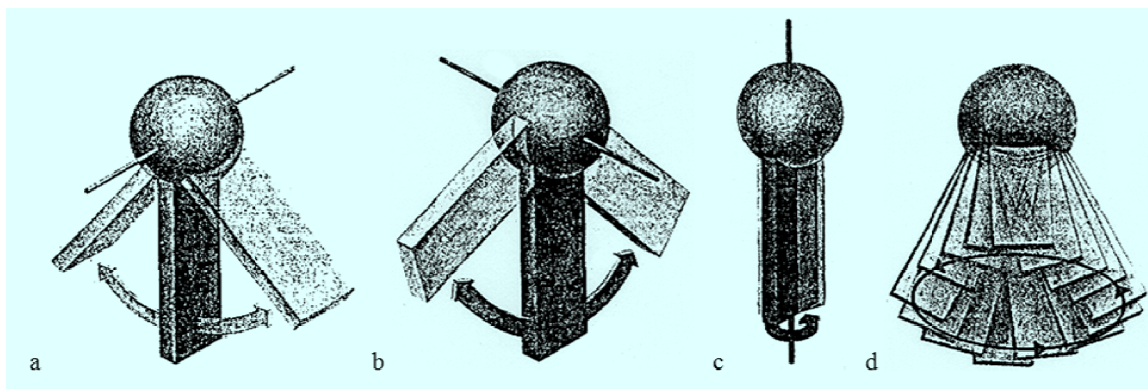
Pojmy k zapamatování

Druh kloubu, počet os a jejich směr určují ráz vykonávaného pohybu v příslušném kloubu. Rozeznávají se tyto základní druhy pohybů v kloubech:

- A) Pohyb kolem osy horizontální frontální** (ohnutí a natažení - viz obr. 3.7a)
- **flexe** - tělo nebo jeho část se ohýbá a tím se omezuje na menší prostor,
 - **extenze** - tělo, nebo jeho část se natahuje a tím zaujímá větší prostor.
- B) Pohyb kolem osy horizontální podélné - sagitální** (přitažení a odtažení - viz obr. 3.7b)
- **addukce** - když ohybem dojde k přiblížení ke střední rovině,
 - **abdukce** - při oddálení od ní.
- C) Pohyb kosti kolem vlastní osy** (otáčení - viz obr. 3.7c)
- **rotace** - tělo, nebo jeho část se otáčí okolo své podélné osy.
- D) Kombinovaný pohyb** (kroužení - viz obr. 3.7d)
- **cirkumdukce** - volný konec kosti opisuje kruh a kost se pohybuje jakoby po plášti kužele. Tento pohyb je možný u kloubů se dvěma nebo třemi hlavními osami.



Obrázek 3.6 – Schéma jednotlivých typů kloubů



Obrázek 3.7 – Vykonávaného pohybu v příslušném kloubu

**Shrnutí pojmů 3.3.**

Klouby jednoduché, klouby složené, protetická robotická zařízení, klouby s větší pohyblivostí, kloub kulový, kloub válcový, kloub vejcovitý, kloub sedlový, kloub plochý, klouby s menší pohyblivostí, klouby jednoosé, klouby dvojosé, klouby trojosé.

**Otázky 3.3.**

13. Jak se dělí klouby podle styčných ploch?
14. Jak lze definovat klouby složené?

3.4 Kostra horní končetiny, struktura a rozsahy pohybů**Čas ke studiu:** 1 hodina**Cíl:** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

-  Definovat kostru horní končetiny člověka.
-  Definovat jednotlivé pohyby a jejich rozsahy.

**Výklad**

Kostru horní končetiny člověka lze rozdělit na dvě základní části - kostru ramene a kostru ruky a tyto samostatně analyzovat, jak znázorňuje obr. 3.8. Kostru ramene lze dále rozdělit na [34, 35, 36, 38, 49, 71, 72, 86]:

- pletenec horní končetiny,
- kostra volné horní končetiny.

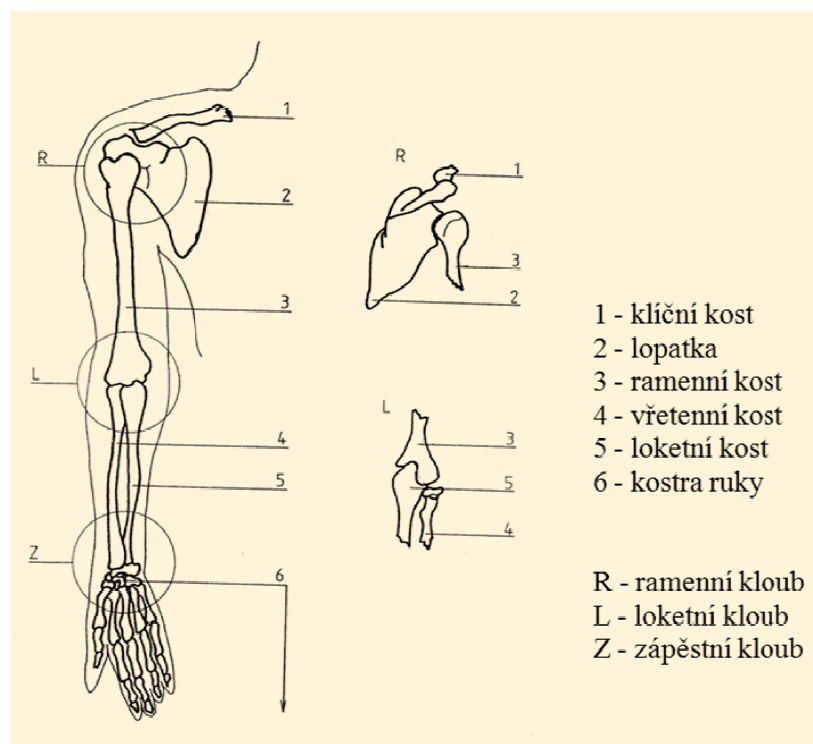
Pletenec horní končetiny tvoří dvě kosti - lopatka a klíční kost. Pletenec horní končetiny je na kostru připojený jediným klíčově mostním kloubem. Lopatka je na hrudník volně přiložena. Vykonává posuvné a rotační pohyby, zúčastňuje se téměř při každém pohybu pletence horní končetiny. Pohyby, které vykonává, nejsou čisté, ale většinou kombinované,

protože lopatka při pohybech kopíruje taktéž tvar hrudníku. Funkční uspořádání lopatky a klíční kosti umožňuje vykonávat rozmanité a rozsáhlé pohyby horní končetiny téměř nezávisle na poloze trupu. Následující uvedené rozsahy pohybů jednotlivých kostí jsou orientační a u každého jedince se mohou nepatrně lišit [48].



Pojmy k zapamatování

- 1) **Klíční kost** se může pohybovat (rotační pohyb):
 - Směrem nahoru 55°
 - Směrem dolů 5°
 - Směrem dopředu 30°
 - Směrem dozadu 30° .
- 2) **Lopatka** se může pohybovat:
 - a) Posuvně (natáčení)
 - Směrem nahoru 55°
 - Směrem dolů 5°
 - Směrem ven 30°
 - Směrem dovnitř 30° .
 - b) Rotačně (rotace probíhá okolo kloubu v místě spojení lopatky s klíční kostí)
 - Rotace směrem nahoru (kloubová jamka směřuje nahoru) včetně rotace směrem dolů 50° .



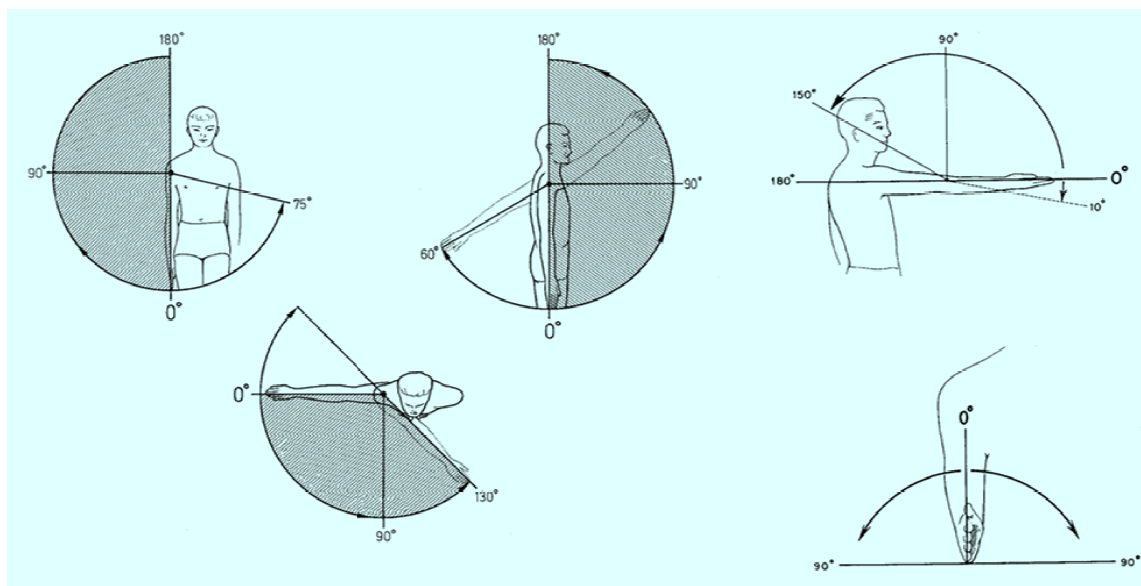
Obrázek 3.8 – Kostra horní končetiny

Kostru volné horní končetiny tvoří:

- A) Ramenní kost** - její horní konec je ukončený hlavicí s půlkulovou styčnou plochou zapadající do jamky v lopatce, dolní konec je rozšířený a má dvě kloubové plochy pro spojení s kostmi předloktí (na straně palcové kulové hlavičky pro spojení s vřetenní kostí a na straně malíčku kladka pro spojení s kostí loketní).

- B) Kost vřetenní** - horní konec má ukončený hlavicí ve tvaru nízkého válečku s prohlubní, do které zapadá hlavička ramenní kosti, dolní konec je rozšířený a ukončený styčnou plochou pro zápěstní kostičky. Vřetenní kost leží na palcové straně předloktí.
- C) Kost loketní** - horní konec má kladkový zářez, do kterého zapadá kladka ramenní kosti, dolní konec vybíhá do bodcovitého výběžku, který je podkladem vnitřního kotníku ruky. Loketní kost leží na malíkové straně předloktí.

Z hlediska pohyblivosti volné horní končetiny je důležité analyzovat její možné pohyby v ramenním a loketním kloubu. Rozsahy některých pohybů horní končetiny jsou znázorněny na obr. 3.9 a mohou být podnětné pro návrh biorobotických zařízení.



Obrázek 3.9 – Rozsahy pohybů horní končetiny

1) Pohyby v ramenním kloubu:

- Předpažení předcházející do vzpažení má tyto fáze
 - Čistý pohyb - předpažení do 60° .
 - Přitažení 45° - umožňuje předpažení do 104° .
 - Zapojení lopatky do pohybu umožní vzpažení do 120° .
 - Vykonáním malého odtážení je možné vzpažit do 155° .
- Zapažení má tyto fáze
 - Při fixované lopatce nemožné.
 - Při volné lopatce 5 až 20° .
- Upažení má tyto fáze
 - Upažení do 70° . Už v prvních stupních pohybu se zapojuje lopatka a to do 30° různě, od 30° na každých 15° se podílí ramenní kost 10° a lopatka 5° .
 - Vnější rotace ramenní kosti okolo vlastní osy umožní upažit do 120° .
 - Pohyb pletence umožní upažit do 150° .
 - Vytočení ramene a zaklonění hrudníkové kosti páteře umožní upažit do 180° .
- Rotace ramenní kosti okolo podélné osy

- Vnější a vnitřní rotace dohromady vykonávají úhel max. 180°. Pohyby jsou vázané na pohyb lopatky. Pohyb směrem z upažení do předpažení je možný jen po dotyk trupu.

2) Pohyby v loketním kloubu

a) Ohnutí a natažení

- Natažené předloktí. Úhel mezi osou předloktí a osou ramenní kosti je 170° (jedná se o vnitřní úhel).
- Rozsah pohybu z natažení do ohnutí je 140°.

b) Rotace předloktí

- Velikost rotace je stejná v každé poloze. Výchozí postavení je normální fyziologické.
- Rotace předloktí vpravo je 90°.
- Rotace předloktí vlevo je 50°.



Shrnutí pojmů 3.4.

Pletenec horní končetiny, klíční kost, lopatka, ramenní kost, kost vřetenní, kost loketní, pohyby v ramenním kloubu, pohyby v loketním kloubu.



Otázky 3.4.

15. Co tvoří kostru volné horní končetiny?
16. Jaké jsou pohyby v loketním kloubu?

3.5 Kostra ruky, struktura a rozsahy pohybů



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat kostru ruky člověka.
- Definovat jednotlivé pohyby a jejich rozsahy.



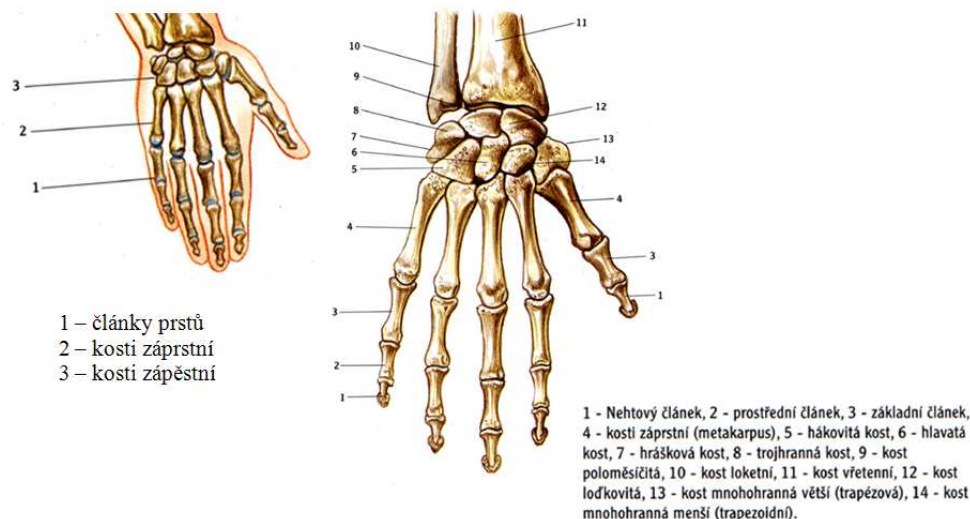
Výklad

Kostra ruky horní končetiny člověka se skládá ze třech dílů, jak znázorňuje obr. 3.10 [34, 35, 36, 38, 48, 71, 72, 85, 90, 91, 143, 144, 145, 146]:

- 1) **Kosti zápěstní** - představují krátké kosti sestavené do dvou řad po čtyřech. V proximálním směru (blíže k zápěstí) leží kost loketní, půlměsíčková, trojhranná a hrášková. V distálním směru (blíže k prstům) je kost trapézová, trapézovitá, hlavatá a hákovitá.
- 2) **Kosti zápřstní** – kterých je pět. Proximální konec kosti se nazývá základna, má dotykovou plošku pro spojení se zápěstními kostmi distálního směru. Distální konec, hlavice, je ukončený kloubovou ploškou pro první článek prstu. Záprstní kosti se číslují od I. do V. První kost je palcová, pátá malíková.

- 3) Články prstů** - palec má dva články (proximální a distální), ostatní prsty mají po třech článcích (proximální - první, střední - druhý a distální - třetí). Rozeznává se na nich proximální konec s kloubovou ploškou pro kosti předcházející, tělo a distální konec s kladkovitou dotykovou plochou pro kost následující.

Z hlediska pohyblivosti ruky horní končetiny je důležité analyzovat její možné pohyby v zápěstí a pohyby prstů. Rozsahy některých pohybů ruky jsou patrné z obr. 3.11 a mohou být podnětné pro návrh biorobotických zařízení, zejména antropomorfních chapadel [29, 47, 85].



Obrázek 3.10 – Kostra ruky

Jednotlivé pohyby ruky a jejich rozsahy lze rozdělit následujícím způsobem a jsou znázorněny na obr. 3.11:

1) Pohyby v zápěstí

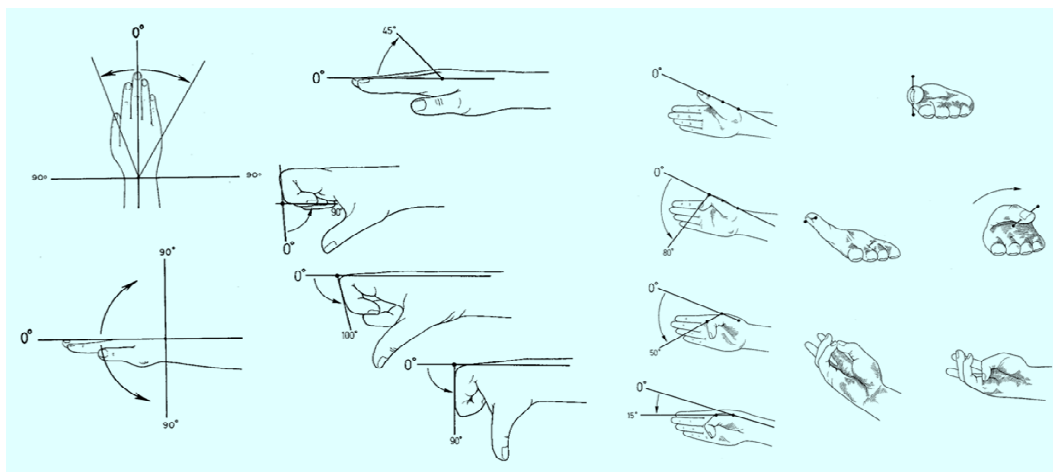
Nastávají ve dvou kloubech. První kloub je tvořený jamkami loketní a vřetenní kosti a bližší (proximální) řadou zápěstních kostiček. Druhý kloub je tvořený proximální a vzdálenější (distální) řadou zápěstních kostiček.

- I. Ohyby směrem nahoru a dolů
 - a) Ohyb dlani k předloktí do 90°
 - Ohyb proximálního kloubu 45 až 50° .
 - Ohyb distálního kloubu 35° .
 - b) Ohyb dlaní od předloktí do 90°
 - Ohyb proximálního kloubu 30 až 35° .
 - Ohyb distálního kloubu 50° .
- II. Ohyby do stran ve směru k vřetenní kosti a ve směru k loketní kosti jsou do 60° .

2) Pohyby prstů

- I. Odtážení a přitažení prstů pro narovnanou ruku se vykonává v rozmezí:
 - 1. prst 75° 4. prst 45°
 - 2. prst 60° 5. prst 50°
 - 3. prst 45°
- II. Sevření v pěst a natažení (flexe a extenze) je u prstů možná (ne u palce) do 110°

- Rozsah pohybu mezi II. a III. články prstů je 100° .
- Rozsah pohybu mezi I. II. články prstů je 45° .



Obrázek 3.11 - Rozsahy pohybů ruky

**Shrnutí pojmů 3.5.**

Kosti zápěstní, kosti záprstní, články prstů, pohyby v zápěstí, pohyby prstů.

**Otázky 3.5.**

17. Co tvoří kostru ruky horní končetiny?
18. Jaké jsou pohyby v zápěstí?

3.6 Kostra dolní končetiny, struktura a rozsahy pohybů

Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat kostru dolní končetiny člověka.
- Definovat jednotlivé pohyby a jejich rozsahy.

**Výklad**

Kostra dolní končetiny člověka je součástí nosného systému celého těla při jeho pohybu z místa na místo a je složena z mohutných kostí. Schéma kostry dolní končetiny znázorňuje obr. 3.12. Podobně jako kostra ramene horní končetiny se i dolní končetina skládá z [[34, 35, 36, 38, 48, 71, 72, 85, 143]:

- pletence dolní končetiny,
- kostry volné dolní končetiny.



Pojmy k zapamatování

Pletenec dolní končetiny tvoří v dospělosti jedna kost – kost pánevní. Pánev jako konečný segment osově kostry člověka tvoří spojnicí mezi páteří a dolními končetinami a má stejný vztah ke kyčelnímu kloubu jako lopatka k ramennímu kloubu. Pánev tvoří z hlediska funkce převodník zátěže mezi osovou částí a dolními končetinami. Je to právě kost, která zajišťuje pevnou a stabilní, ale mírně odpruženou základnu pro pružnou páteř a současně tvoří mezičlánek pro spojení s dolními končetinami.

Kostru volné dolní končetiny tvoří:

- 1) **Stehenní kost** – je nejmohutnější kostí v lidském těle. Má prohnutý tvar a její horní konec je ukončen kulovou hlavicí, která má rozsah dvou třetin kulové plochy. Hlavici s tělesem kosti spojuje krček, dolní konec se rozšiřuje do dvou kloubů, vnějšího a vnitřního, na každém z nich je dotyková plocha opírající se o horní konec kosti předkolena a vepředu jsou obě styčné plochy spojené prohlubeninou, ve které klouže jablko.
- 2) **Kost holenní** – její tělo je trojboké s ostrou přední hranou. Horní konec se rozšiřuje do dvou kloubových zakončení, které jsou shora lehce prohloubené. Dolní konec je silnější, vybíhá do kloubové plochy a je na něm dotyková plocha, která slouží ke spojení se zánartními kostmi. Kost holenní je na palcové straně předkolena.
- 3) **Kost lýtková** – je tenká štíhlá kost v horním konci rozšířená do hlavičky s kloubovou plochou pro vnější ukončení kosti holenní. Na dolním konci vybíhá do vnějšího kotníku s dotykovou plochou pro nártní kosti. Kost lýtková leží na malíkové straně předkolena.

Pohyblivost volné dolní končetiny je důležité analyzovat a mohou být podnětné pro návrh biorobotických zařízení, zejména u kráčejících robotů.

1) Pohyby v kyčelním kloubu:

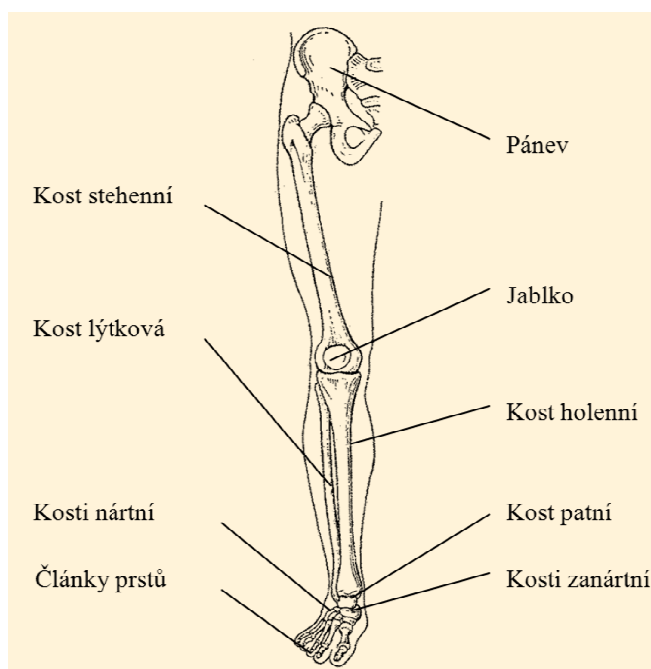
- a) Přednožení je možné při nataženém koleně do 90° a při uvolnění kolena až 150° a více podle omezení jemnými strukturami břicha a stehna.
- b) Zanožení je pohyb v opačném směru za vertikální osu těla a může dosáhnout maximálně 25° až 30° .
- c) Unožení je pohyb směrem ven (laterálně) ve frontální rovině a dosahuje asi 45° .
- d) Přinožení je opačný pohyb (dovnitř) stejného rozsahu 45° a při překřížení dolních končetin se označuje jako hyperpřinožení.
- e) Vnitřní rotace pánve okolo vlastní osy má rozsah 35° až 40° .
- f) Vnější rotace je pohyb v opačném směru a jeho rozsah je mezi 40° až 50° . Mezi oběma pohyby je rozsah asi 90° .

2) Pohyby v kolenním kloubu:

- a) Ohnutí a natažení
 - Ohnutí v koleně (aktivní) je možné do 120° a pasivní až do 140° podle stavu svalů a objemu stehna a lýtky.
 - Natažení je opačný pohyb do nulové polohy. Za tuto polohu se pohyb označuje jako hyperextenze a má rozsah až 10° , max. 15° .
 - Celkový rozsah pohybů z nataženého stavu do ohnutí je maximálně 160° .

b) Rotace předkolena

- Rotace (podél osy kosti holenní) je možná jako „vnější“ v rozsahu pohybu asi 15° až 30° a „vnitřní“ maximálně do 40°. Rotace je nulová při natažení předkolena a maximální při ohnutí v koleně, okolo 80°.



Obrázek 3.12 - Kostra dolní končetiny

Noha zabezpečuje dotyk těla člověka s terénem, po kterém se pohybuje a umožňuje vzpřímený pohyb. Struktura kostry nohy je složitá, podobně jako je tomu u ruky a skládá se z 26 kostí:

- 1) **Kosti zanártní** – představují 7 krátkých kostí sestavených do dvou řad. V proximální řadě (blíže k předkolenu) je kost hlezenní a patní. V distální řadě (blíže k prstům) je kost vnitřní, střední, zevní, krychlová a kost loďkovitá.
- 2) **Kosti nártní** – je jich pět a číslují se od I do V od strany palce. Na každé z těchto kostí lze stanovit část proximální, základní a distální.
- 3) **Články prstů** – jsou podobné článkům prstů ruky, jsou však kratší, zejména druhý a třetí článek malíčku a čtvrtý prstu. Palec má dva články, ostatní prsty po třech. Druhé a třetí články malíčku jsou často srostlé.

Z hlediska pohyblivosti nohy dolní končetiny je důležité analyzovat její možné pohyby v kotníku a pohyby prstů [34, 35, 36, 38, 47, 71, 72, 141].

Pohyby v kotníku - realizují se ve dvou kloubech. První je horní kloub kotníku, který připojuje kostru nohy ke kosti holenní a lýtkové. Druhý je dolní kloub kotníku, který je spojením dvou kloubů – kloub mezi kosti hlezenní a patní a kloub mezi kosti hlezenní, patní a loďkovitou. Lze definovat následující pohyby:

- a) Pohyb nohy ze středního postavení směrem nahoru a dolu:
 - Ohyb směrem k předkolenu má rozsah asi 20° až 30°.
 - Ohyb opačným směrem má rozsah asi 30° až 50°.
- b) Pootočení nohy okolo vertikální (svislé) osy směrem dovnitř a ven – celkový rozsah pohybů je asi 35° až 45° při nataženém koleně, při ohnutém

kolenu se tato hodnota ještě zvětšuje a se současnou rotací nohy v kotníku může dosáhnout maximálně 90°.

c) Rotační pohyb nohy okolo podélné osy nohy:

- Zdvih malíkové strany nohy se zafixovanou palcovou stranou umožňuje pohyb nohy asi do 15°.
- Zdvih palcové strany nohy se zafixovanou malíkovou stranou nohy umožňuje pohyb nohy do 35°.

Klouby mezi nártními kostmi a články prstů a klouby mezi články prstů jsou přizpůsobené podobně jako na ruce, s tím rozdílem, že rozsahy pohybů článků palce a prstů na noze v porovnání s možnostmi pohybů článků prstů ruky člověka jsou podstatně omezené.



Shrnutí pojmů 3.6.

Pletenec dolní končetiny, stehenní kost, kost holenní, kost lýtková, pohyby v kyčelním kloubu, pohyby v kolenním kloubu, kosti zanártní, kosti nártní, články prstů, pohyby v kotníku.



Otázky 3.6.

19. Co tvoří kostru dolní končetiny?

20. Jaké jsou pohyby v kolenním kloubu?



Odměna a odpočinek

Jestliže jste správně odpověděli na otázky 13. až 20. a je Vám tato problematika jasná, dejte si oddech před dalším pokračováním ve studiu.

3.7 Svaly, charakteristika a základní rozdělení



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

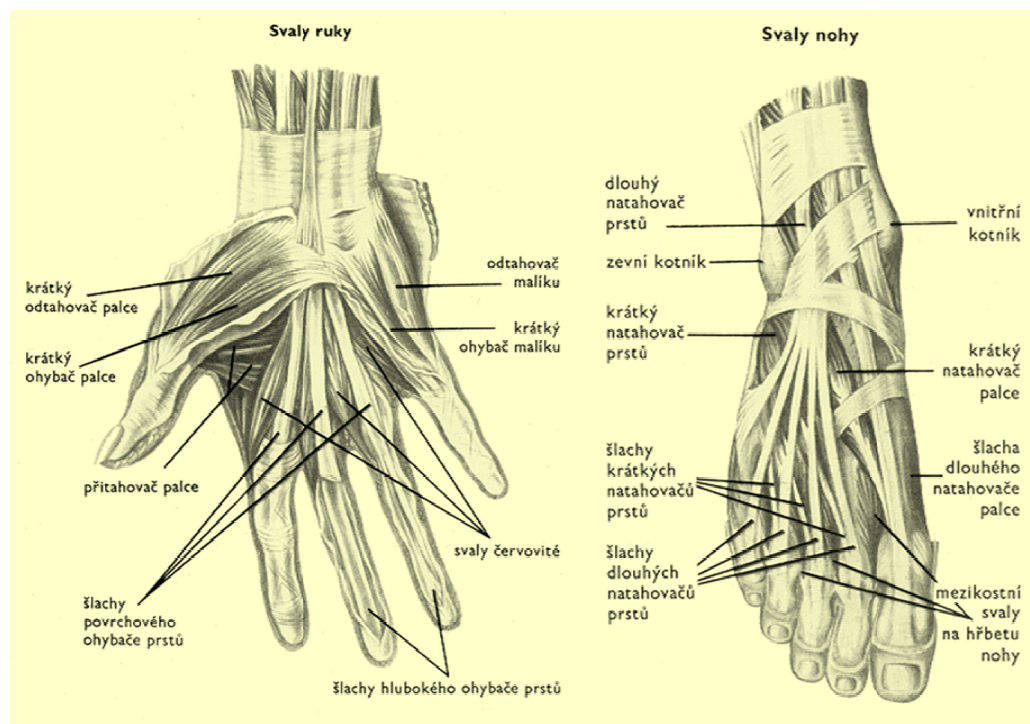
- ✚ Definovat sval v lidském těle.
- ✚ Definovat základní rozdělení svalů.



Výklad

Celkový systém kosterních svalů člověka je tvořen asi 600 příčně pruhovanými a většinou párovými svaly, připojenými ke kostem. Na každé polovině těla je jich asi 300 a dohromady představují asi 45% hmotnosti člověka. Nejvíce svalů obsahují dolní končetiny (asi 55%) a končetiny horní (asi 30%). Zbytek připadá na hlavu a trup. Svalstvo ruky a svalstvo nohy znázorňuje obr. 3.13, základní přehled uspořádání svalů člověka znázorňuje obr. 3.14. Rozložení kosterních svalů kolem kloubních spojů zajišťuje exkurze segmentů, jež

dovoluje geometrické uspořádání daného kloubu. Z anatomického pohledu nalézáme uspořádání umožňující flexi či extenzi, abdukci či addukci, rotaci zevní či vnitřní. Antagonní uspořádání svalového systému není zabezpečováno pouze dvěma svaly působícími vzájemně v opačných směrech, ale pohyby v jednotlivých směrech jsou zajišťovány větším počtem svalů. Uspořádání svalů na horních i dolních končetinách může být podnětné pro návrh biorobotických zařízení ve kterých jsou uplatněny umělé svaly.



Obrázek 3.13 – Zobrazení svalů ruky a nohy

Svalový systém se vyznačuje svalovou redundancí. Při pohybu vznikají různě složité komplexy vzájemně spolupracujících svalů a jejich antagonistů, jejichž aktivita je doprovázena činností fixátorů, podmiňující svojí stabilizující činností činnost mechanicky akčních fázických svalů. Složitě sdružování aktivace svalů je patrné při usilovné činnosti. Všechny kosterní svaly jsou v pohybovém aparátu člověka předpřaty a mají klidové napětí. Na jejich hladině vzniká napětí aktivační. Výše klidového napětí není konstantní a podléhá řadě vlivů. Jako všechny biologické materiály jsou všechny svaly multifázické, nehomogenní a anizotropní. Svojí stavbou představují přirozenou formu biokompozitních materiálů.



Pojmy k zapamatování

Svaly člověka lze zkoumat a rozdělit podle následujících hledisek [34, 35, 36, 38, 48, 85]:

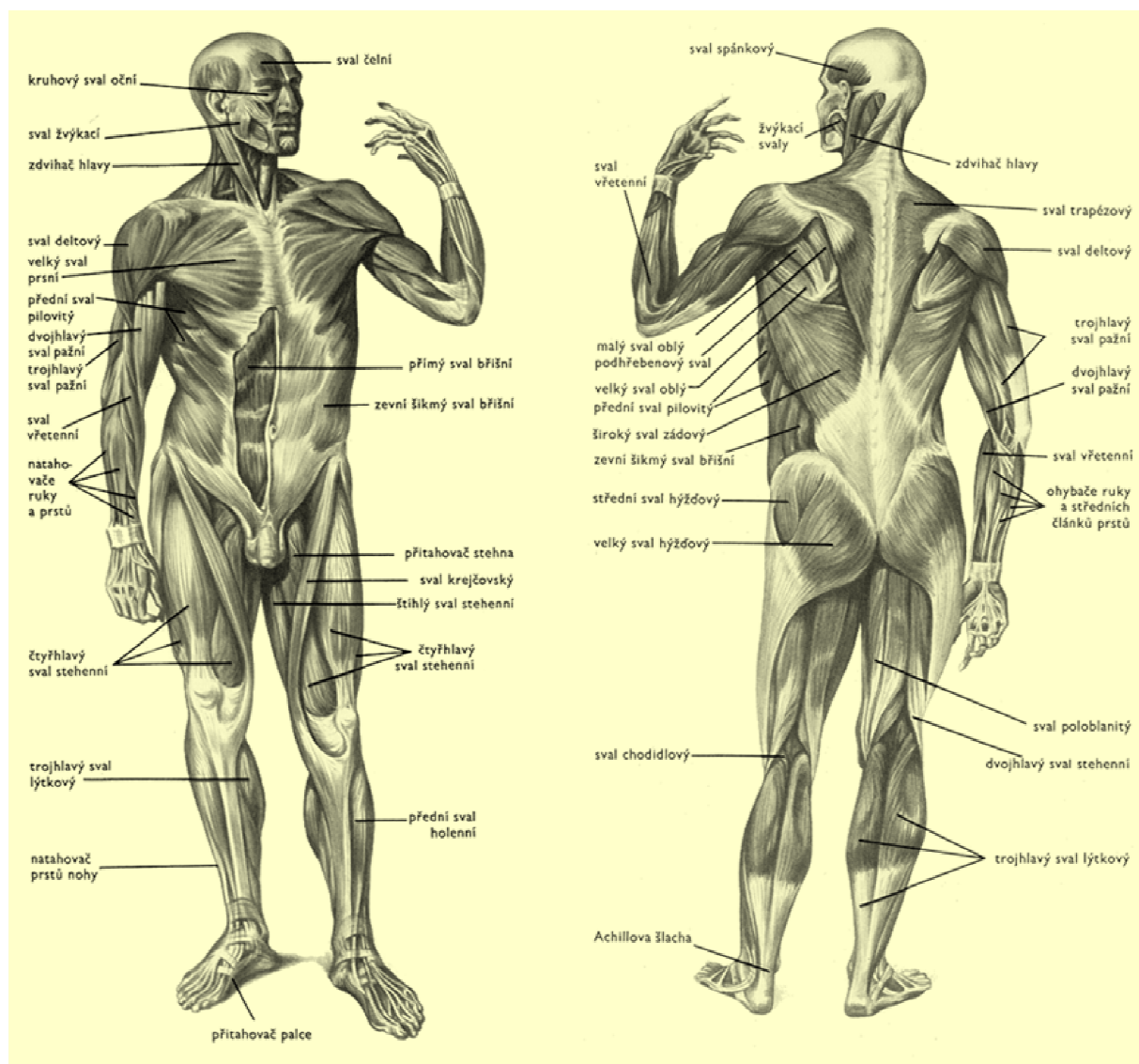
- 1) **Podle funkce** - se rozděluje na ohýbače (flexory), natahovače (exenzory), přitahovače (adduktory), odtahovače (abduktory), svírače (sfinktery) a rozvírače (dilatátory). Spolupracující svaly jsou označovány jako synergické, skupiny svalů, ze kterých část vykonávající opačný pohyb jsou označeny jako antagonistické.
- 2) **Podle vzhledu a stavby** - se rozlišují svaly dvojhlavé, trojhlavé, čtyřhlavé, podle průběhu svalových snopců svaly přímé, šikmé a příčné. Sval spánkový, hýžděový apod. jsou pojmenované podle částí těla, ve které se nacházejí.

3) Z hlediska řízení činnosti člověkem - se rozdělují do dvou skupin:

- Svaly, jejichž činnost vůlí člověka přímo nepodléhají**, tj. v podstatě svalstvo vnitřní (svalstvo hladké). Tato svalová tkáň je složena z mnoha, do dálky protáhnutých, větvenitých svalových buněk, které se mohou smršťovat a tím pádem zkracovat. Toto jejich zkrácení a následné opětovné prodloužení není ovlivněno vůlí člověka.
- Svaly, jejichž činnost podléhá vůlí člověka**. Stavba svalů kostry je na rozdíl od hladkých svalů zcela jiná. Jednotlivé svalové vlákno se skládá z mnoha stovek buněčných jader, které spolu mohou vytvořit jednu velkou buňku. Tyto vlákna jsou charakteristicky příčně pruhované, tj. světlé části buněčného těla se střídají s částmi tmavými. Tyto svalová vlákna se mohou také zkracovat a opětovně prodlužovat, jejich činnost však podléhá vůlí člověka.

4) Podle histologických a funkčních znaků - se rozdělují svaly člověka na tři skupiny:

- Kostrový sval (příčně pruhovaný).
- Hladký sval (vnitřnostní).
- Srdcový sval.



Obrázek 3.14 – Zobrazení svalstva člověka zepředu a zezadu

Tyto tři druhy svalů se liší ve stavbě svalových svazků, ve způsobu přebírání informací a v jejich zasahování do tělesných funkcí. Vzhledem na to, že z pohybového hlediska jsou **nejdůležitější pro člověka kosterní - příčně pruhované svaly**.



Shrnutí pojmů 3.7.

Svaly, kostrový sval, hladký sval.



Otázky 3.7.

21. Kolika svaly je tvořen celkový systém kosterních svalů člověka?
22. Podle jakých hledisek lze rozdělit svaly člověka?

3.8 Struktura a funkce kosterního svalu



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

-  Definovat sval v lidském těle.
-  Definovat funkci svalů.



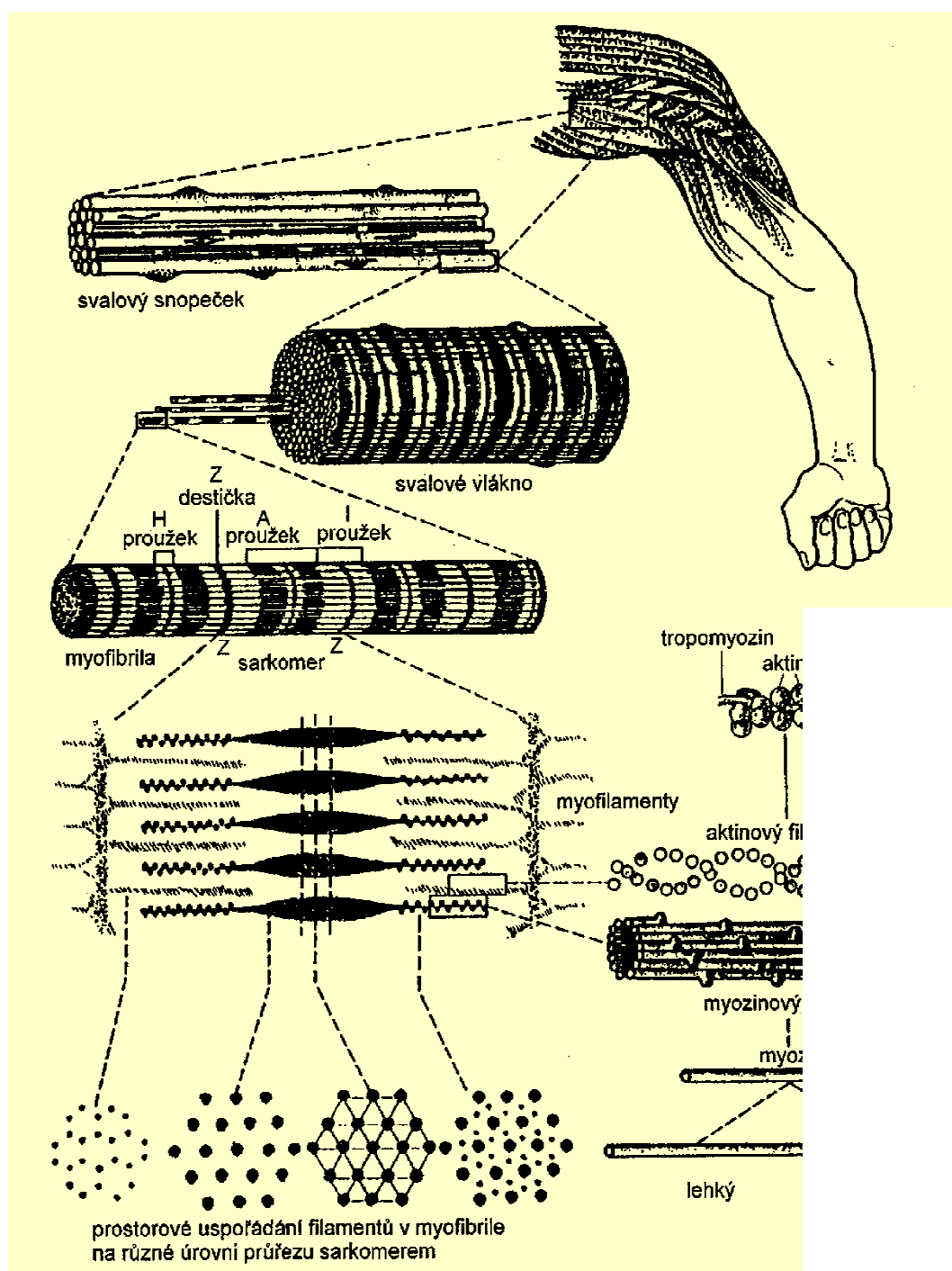
Výklad

Pohybovou soustavu tvoří orgány - svaly, jejichž základní stavební tkáň je tkáň svalová, příčně pruhovaná. Stavbu kosterního svalu znázorňuje obr. 3.15. Kostrový sval má dvě hlavní části [24, 34, 35, 36, 38, 71, 72]:

- část masitou - svalové bříško,
- část šlachovou - šlachu.

Základem masité části svalového bříška jsou svalová vlákna. Je to aktivní část svalu, tj. část, jejíž napětí se mění. Svalová vlákna jsou spojena do snopců (svazků). Vlivem činnosti dochází k mohutnění svalových vláken. Svalová vlákna jsou navzájem spojena trochou vaziva, jehož množství je různé. Vazivo tvoří jakési kluzné plochy, které umožňují podélné a šířkové změny svalových vláken.

Masitá část svalu je bohatě prokrvována. Taktéž jsou četná ve svalu i nervová vlákna. Jsou to vlákna hybná - motorická a vlákna citlivá - senzitivní. Masitá část svalů přechází na koncích do části šlachovité. Šlacha svojí stavbou ze snopců připomíná stavbu svalu. Její základní stavební jednotkou jsou kolagenní vlákna, přecházející do vazivového pouzdra, které překrývají svalová vlákna. Proto je spojení svalových vláken a šlachy velmi pevné. Připojení šlachy na kost je také velmi pevné, šlachovitá vlákna jsou do kosti přímo zatmelená (vrostlá). Cévní zásobování šlach je chudé (bělavá barva), z nervů jsou na šlachách nervy senzitivní.



Obrázek 3.15 – Struktura jednotlivých elementů vlákna kosterního svalu

Když se pozoruje kosterní sval pod mikroskopem, je jeho nejvýraznějším znakem příčné pruhování, tj. řady světlých a tmavých pruhů pravidelně uspořádaných napříč svalovým vláknem. Proto se nazývá tento sval příčně pruhovaný. Příčné pruhování je omezené jen na cylindrické jednotky nazvané myofibrily, které jsou od sebe oddělené. Každá myofibrila má průměr asi 1 až 2 μm a probíhá po celé délce svalového vlákna. Jak je zřejmé z obr. 3.15, myofibrily se skládají ze dvou druhů vláček, tzv. filamentů. Jsou to jednak tenké a hrubé filameny. Tenké filameny tvořeny bílkovinným aktinem, hrubé filameny tvoří bílkovina myozin. Hrubé myozinové filameny se jeví v podélné ose svalového vlákna jako tmavé pruhy, tenké filameny se jeví jako světlé pásy. Z hrubých filamentů myozinu vycházejí

ERROR: ioerror
OFFENDING COMMAND: image

STACK: