



BIOMEDICÍNSKÁ ERGONOMIE

Ivan Dylevský

BIOMEDICÍNSKÁ ERGONOMIE

Ivan Dylevský

GRADA Publishing

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude **trestně stíháno**.

Prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.

BIOMEDICÍNSKÁ ERGONOMIE

Recenzent: prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc., MBA, dr. h. c.

Vydání odborné knihy schválila Vědecká redakce nakladatelství Grada Publishing, a.s.

© Grada Publishing, a.s., 2022

Cover Design © Grada Publishing, a.s., 2022

Obrázky v knize pocházejí z archivu autora. Autorem kreseb je Bc. Tomáš Laub.

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, Praha 7

jako svou 8698. publikaci

Odpovědný redaktor Mgr. Luděk Neužil

Sazba a zlom Antonín Plicka

Počet stran 168

1. vydání, Praha 2022

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod a.s.

Autor a nakladatelství děkují za podporu vydání knihy

Nadaci Premedis a České ergonomické společnosti.



Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků, což není zvláštním způsobem vyznačeno.

Postupy a příklady v této knize, rovněž tak informace o lécích, jejich formách, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění však pro autory ani pro nakladatelství nevyplývají žádné právní důsledky.

ISBN 978-80-271-6702-9 (pdf)

ISBN 978-80-271-3600-1 (print)

Obsah

Předmluva – embryem až po hrob	7
Úvod – definice a vize	9
1 Fyzická ergonomie	13
1.1 Somatologická propedeutika	13
1.1.1 Elementární stavební komponenty – buňky	13
1.1.2 Tkáně a orgány	15
1.2 Synopse fyzické ergonomie I	21
1.2.1 Regenerace tkání	21
1.2.2 Orientace na lidském těle – nomenklatura	21
1.3 Základy auxologie	27
1.3.1 Vývoj, růst a růstové periody	28
1.3.2 Řízení růstu	29
1.3.3 Růstová integrace a modely růstu	30
1.4 Synopse fyzické ergonomie II	30
1.4.1 Antropometrie	30
1.4.2 Konstituční biologie – somatické typy	35
1.4.3 Variety a anomálie	40
1.4.4 Gerontoergonomie	42
1.5 Úvod do biomechaniky člověka	47
1.5.1 Definice a vymezení pojmu	47
1.5.2 Mechanika, gravitace a těžiště	48
1.6 Synopse fyzické ergonomie III	50
1.6.1 Biomechanické vlastnosti pojivových tkání	50
1.6.2 Biomechanika šlach, chrupavek a kostí	52
1.6.3 Svalová práce	54
1.7 Kineziologie – kost, kloub, sval	56
1.7.1 Kost, os	56
1.7.2 Osteologická nomenklatura	63
1.7.3 Kostní spojení – kloub, articulus	64
1.7.4 Generátor pohybu – sval, musculus	67
1.8 Synopse fyzické ergonomie IV	70
1.8.1 Fixační a kinetické funkce svalu	70
1.8.2 Síla svalu, páky	71
1.8.3 Inervace a růst kosterních svalů	73
2 Kognitivní ergonomie	77
2.1 Propedeutika neurověd	77
2.1.1 Pojem „systém“	77
2.1.2 Základní podmínky vzniku nervových soustav	78
2.1.3 Nervový systém – informační systém	80
2.1.4 Neuronová teorie, neuron, neuroglie	81
2.2 Synopse kognitivní ergonomie I	85
2.2.1 Konektivita nervového systému – synapse	85
2.2.2 Chemické a preformované dráhy	86
2.3 Vědomí a vnímání	89
2.3.1 Pokusy definovat vědomí	89
2.3.2 Fyziologie vědomí	89
2.3.3 Vnímání (percepce)	90

2.4	Synopse kognitivní ergonomie II	91
2.4.1	Bdění a spánek	91
2.4.2	Cirkadiální rytmy	91
2.5	Paměť a učení	93
2.5.1	Klasifikace paměti	94
2.5.2	Paměťové engramy – neuronální plasticita	94
2.6	Synopse kognitivní ergonomie III	96
2.6.1	Tabula rasa a tabula picta	96
2.6.2	Učení	97
2.7	Emoce, limbický systém, osobnost	98
2.7.1	Fenomenologie emocí	98
2.7.2	Funkční anatomie emocí	99
2.7.3	Limbický systém – centrální systém obrany	100
2.7.4	Limbický systém – emoční hodnocení informací	101
2.7.5	Limbický systém – emoční prožitky	101
2.7.6	Limbický systém – sexuální chování	101
2.7.7	Osobnost – biologická determinace	102
2.8	Synopse kognitivní ergonomie IV	104
2.8.1	Systémy odměny – hédonismus	104
2.8.2	Stres	104
2.8.3	Intelligence a rozum	105
3	Komunikační ergonomie	109
3.1	Senzorické informační systémy	109
3.1.1	Receptory – základní pojmy	110
3.1.2	Optické informace	111
3.1.3	Sluchové informace	115
3.1.4	Polohové a pohybové informace	117
3.1.5	Čichové informace	118
3.1.6	Chuťové informace	120
3.1.7	Somatické a viscerální informace	120
3.2	Synopse komunikační ergonomie I	121
3.2.1	Zraková dráha	121
3.2.2	Mechanismus rozlišení barev	122
3.2.3	Sluchová dráha – lokalizace zvuku	122
3.2.4	Detekce a vedení polohových informací	122
3.2.5	Čichový mozek	123
3.2.6	Bolest	123
3.2.7	Teplota a chlad	124
3.2.8	Diskriminační čítí – hmat, propriocepce	125
3.3	Jemná a hrubá motorika	127
3.3.1	Vymezení pojmů	127
3.3.2	Jemná motorika – manipulace	128
3.3.3	Hrubá motorika – postura	130
3.4	Synopse komunikační ergonomie II	131
3.4.1	Pohybové aktivity	131
3.4.2	Fundamentální pohyby a pracovní polohy	131
3.4.3	Lokomoční motorika	134
3.5	Orofaciální motorika – řeč	137
3.5.1	Anatomie fonace	137
3.5.2	Verbální komunikace	139
3.5.3	Neverbální komunikace	141
3.6	Synopse kognitivní ergonomie III	144
3.6.1	Vzpřímené držení těla	144
3.6.2	Poruchy symbolických funkcí	144
	Slovník základních anatomických termínů	147
	Základní literatura	155
	Rejstřík	159
	Souhrn	165
	Summary	167

Předmluva – embryem až po hrob

Předmluva je obvykle tou částí textu, kterou nikdo nečte. Pokud najdete odvahu dočíst ji až do konce, možná se zamyslíte a pochopíte, co se skrývá za klíčovým pojmem „**možnost**“ v závěru textu a co poskytuje ergonomie člověku při jejím naplňování.

Je zapotřebí začít poněkud šířeji.

Proč jsou hranice lidské kognice a komunikace tak široké, když fyzické možnosti lidského organismu jsou obecně mnohem omezenější? Je nárokování flexibility kognitivních a komunikačních procesů jen zbožným sociálním přáním, nebo patří také do biologie v jejím dnešním paradigmatu?

Za hlavní příčinu širokého přesahu psychických projevů a potřeb nad fyzickými možnostmi člověka, považuji **strukturální organizaci mozku**. Podívejme se nejdříve na možné adaptivní výhody, které v **evoluci**, jejíž jsme produkt, poskytuje tak jemně strukturovaný orgán.

Lidská jedinečnost tkví v **proměnlivosti, adaptabilitě a flexibilitě** mozkových funkcí. Čím je inteligence, ne-li schopností čelit problémům, a to velmi často problémům předem nenaprogramovaným? Mnohdy říkáme, že postupujeme tvůrčím způsobem. Jestliže nás specifická lidská inteligence odlišuje od všech ostatních živočichů, pak je myslím pravděpodobné, že **přírodní výběr** pracoval směrem k maximální přizpůsobivosti naší kognice. A co je adaptabilnější pro učící se a posléze myslící zvíře? Strukturální a regulační geny selektované pouze na agresi, zlobu a xenofobii, nebo selekce pravidel učení, která mohou vyvolat agresi pouze za jistých příhodných okolností a mírumilovnost za okolností jiných?

Na druhé straně však musíme být opatrní v prisuzování přílišné role přírodnímu výběru tím, že všechny základní vlastnosti nebudeme brát jako přímé adaptace. Nepochybuji, že přírodní výběr působil při výstavbě našeho, funkčně velmi komplikovaného mozku – a rovněž jsem přesvědčen o tom, že lidské mozky se utvářely v důsledku adaptací pro jisté role, zřejmě v důsledku složité množiny interagujících funkcí. Tyto předpoklady však nemusí vést ke konstatování, často nekriticky zastávanému přísnými darwinisty, že **všechny** stěžejní vlastnosti mozku jsou výsledkem přirozeného výběru. Naše mozky můžeme – velmi opatrně, omezeně a pouze modelově, přirovnat k neuvěřitelně složitým počítačům. Pokud si pořídím mnohem jednodušší počítač k vedení účtů podniku, mohu ho současně použít i k řešení jiných, značně složitějších úkonů, než je jednoduché účetnictví. Tyto dodatečné schopnosti jsou nevyhnutelnými důsledky stavby a nikoliv přímých adaptací. Naše nesrovnatelně složitější organické „počítače“ byly také postaveny z jistých, konkrétních a bazálních důvodů,

ale disponují téměř závratným výčtem dodatečných dovedností – včetně všeho, co nás činí lidmi. Nemusíme pohlížet na Bacha jako na šťastný produkt skutečnosti, že hudba hrála důležitou roli při udržování soudržnosti kmene, nebo na Shakespeara jako na výsledek role mýtu a epického vyprávění při udržování loveckých skupin. Většina „**znaků chování**“, které se sociobiologové pokoušejí vysvětlit, nemusela být nikdy podřízena přímému přirozenému výběru – může proto vykazovat flexibilitu, kterou znaky bezprostředně důležité pro přežití nikdy mít nemohou. Vývoj nespočívá v komplikovanosti výsledků, ale v ekonomice prostředků, kterými je dosahována. Opakuje osvědčené triky.

Flexibilita je hlavním **znakem lidské evoluce**.

Jestliže se lidé vyvinuli – jak věřím, **procesem neotenie**, potom jsme ve více než metaforickém smyslu slova permanentními dětmi. Při neotении se rychlost vývoje zpomaluje a raná vývojová stadia předků se stávají vlastnostmi dospělých potomků. Mnoho ústředních znaků naší anatomie nás pojí s fetálními a juvenilními stadii primátů: malý obličej, vystouplá mozkovna a velký mozek ve srovnání s velikostí těla, nerotující palec na noze, velký otvor (foramen magnum) umístěný na bázi lebky a umožňující tak správnou orientaci hlavy při vzpřímeném stoji, rozmístění ochlupení na hlavě, v podpaží a v třísle atd. U jiných savců se explorace, hry a flexibilita chování omezují na mláďata a jen výjimečně je najdeme i u dospělých. My si však ponecháváme nejen anatomické znaky dětství, ale i flexibilitu mysli. Myšlenka, že přírodní výběr se ubíral v lidské evoluci směrem k vyšší flexibilitě, není nápad ad hoc, který se zrodil z nadějí, ale **důsledek neotenie** jako stěžejního procesu naší evoluce. Lidé jsou učící se zvířata.

V románu T. H. Whitea „Bývalý a budoucí král“ (*The Once and Future King*) se vyskytuje podobenství o původu zvířat. Bůh, říká White, stvořil všechna zvířata jako embrya a pak si je zval před svůj trůn a nabízel jim anatomické dodatky podle jejich přání. Všechna zvířata volila specializované vlastnosti dospělých – lev drápy a ostré zuby, jelen parohy a kopyta. Nakonec předstoupilo lidské embryo a řeklo:

„Můj Bože, myslím, že jsi mě stvořil tak, jak vypadám, z důvodů, které nejlépe znáš ty sám, a že by bylo nehorázné cokoli na tom měnit. Jestliže si mohu vybrat, zůstanu tak, jak jsem. Nebudu měnit žádné části, které jsi mi dal. Zůstanu bezbranným embryem po celý svůj život a budu se snažit, jak nejlépe budu umět, abych si vyrobil chabá vylepšení ze dřeva, železa a jiných materiálů, které jsi uznal za vhodné mi předložit.“ „Výborně,“ zvolal Stvořitel potěšen. „Předstupte vy ostatní se svými zobáky,

a co to všechno ještě máte a pohlédněte na Našeho prvního Člověka. On je jediný, kdo rozřešil Naši hádanku. Co se týče tebe, Člověče, budeš až po hrob vypadat jako embryo, ostatní však budou vydáni tvé moci, jako by sami byli embrya. Věčně nevyvinutý zůstaneš vždy možností v Našem obrazu, schopnou vidět cosi z Našeho zármutku a pociťovat část Našich radostí. Zčásti je tě Nám líto, Člověče, ale na druhé straně ti věříme. Jdi tedy a snaž se ze všech sil.

Tou „možností“ je ergonomie – **komplex konstituce, kognice a komunikace**. Jdeme tedy a snažme se ze všech sil.

Text knihy „Biomedicínská ergonomie“ je konstruován tak, aby poskytoval úvodní, především biologické

a evoluční základy ergonomie. Nezabývá se proto rozborem biologických základů výrobních a pracovních norem, problematikou pracovního lékařství a využitím ergonomie v různých segmentech prostředí lidského života atd. Snaží se být maximálně srozumitelný i pro nebiologické studijní obory. Nepředpokládá více než středoškolské znalosti přírodních věd, vč. somatologie, a schopnost dohledávat chybějící vědomosti a zamyslet se nad možnými souvislostmi. Záměru odpovídá i formální struktura textu, jeho barevné členění a výběr dokumentace. Synopse představují jakési minimum, např. pro architekta nebo designéra; appendix rozšiřuje probírané téma, snad i pobaví a vzbudí zájem o širší souvislosti specifické problematiky. Je určen pro motivované zájemce. Je-li zvolený přístup přínosný, musí posoudit studenti.

Úvod – definice a vize

„Ergonomie je interdisciplinární systémový vědní obor, který komplexně řeší činnost člověka i jeho vazby s technikou a prostředím s cílem optimalizovat jeho psychicko-fyzickou zátěž a zajistit rozvoj jeho osobnosti.“

(CHUNDELA, 1981)

„Ergonomie je vědecká disciplína založená na porozumění interakci člověka a dalších složek systému. Aplikací vhodných metod, teorie i dat zlepšuje lidské zdraví, pohodu a výkonnost.“

(IEA – INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION, 2000)

Definovat jakýkoliv vědní obor je v dnešní době zřejmě sisyfovská práce. Nejblíže k podstatě věci se dostal Albert Einstein svým, tak trochu cynickým výrokem: *„Věda jako něco hotového je jasná všem, zatímco věda ve vývoji, věda, která se tvoří, je na hranicích poznání, je věcí velmi nejistou. Bývá věcí dohody, co to je.“*

Ergonomie je věda, která dosáhla vysokého stupně transdisciplinarity. Používá všech osmi základních prvků utvářejících **vědeckou metodu** každé disciplíny, dělají si nárok na vědeckost: pozorování, měření, třídění, kvantifikaci, usuzování, předpověď, určení vztahů a komunikaci.

Hlavní **náplní ergonomie** je optimalizace vztahů mezi výkonností člověka a pracovními podmínkami. **Cílem ergonomie** je aplikací poznatků biologických, technických a psychologických věd maximalizovat pracovní produktivitu člověka a zároveň minimalizovat možná zdravotní poškození.

Ergonomie mění **mechanocentrický přístup** – ignorující limity člověka, na **přístup antropocentrický** – respektující možnosti a schopnosti člověka.

Více než sebelepší definiční vymezení určitého vědního oboru je často vzhled do jeho historie. Slovo **ergonomie** je komplex vzniklý z řeckého základu *ergon* – práce a *nomos* – zákon. Slovo je jazykový znak nesoucí informaci; pojem, predikát identifikující daný objekt. Za autora, který ze slova ergonomie **vytvořil pojem**, označující vznikající obor, je možné považovat **Wojciecha Jastrzębowskiego** (1799–1882), profesora zemědělsko-lesnického institutu ve Varšavě, který spisem *„Rysy ergonomii czyli nauky o pracy“* (1857) vymezil ergonomii jako **vědu o práci**.

Různé prvky ergonomického myšlení lze v archeologickém materiálu zachytit od okamžiku, kdy člověk začal vyrábět první nástroje. V hipokratovských spisech (*Corpus Hippocraticum*, **Hippokratés z Kóu**, 460–370 př. n. l., „otec medicíny“, zakladatel racionálního lékařství) je například popis uspořádání nástrojů při určitých chirurgických výkonech, který odpovídá základním ergonomickým principům jejich použití. V období starověku a středověku jde ale spíše o „**intuitivní ergonomii**“ (**obr. 1.1**).

První koncepty „**racionální ergonomie**“ jsou spojeny s oborem, který dnes chápeme jako „pracovní lékařství nebo nemoci z povolání“. Ital **Bernardino Ramazzini** (1633–1714) publikoval dílo *De morbus artificum* (1700), ve kterém se mj. zabýval různými pracovními polohami a jejich dopadem na zdravotní stav (**obr. 1.2**).

V historii ergonomie 19. století je často uváděn americký strojní inženýr **Frederick Winslow Taylor** (1856–1915). Taylor, přes řadu kritických výhrad, patřil mezi nejvýznamnější osobnosti **průmyslového managementu** devatenáctého a začátku dvacátého století. Prosazoval klasické vertikální a hierarchické řízení s uplatněním technokratických (technocentrických) přístupů. Studoval ergonomii pracovních pohybů – **fyzickou ergonomii**, se zaměřením na dosažení nejvyššího pracovního výkonu. Odmítal jakoukoliv osobní iniciativu jednotlivých pracovníků. Jeho postuláty – dnes bychom je asi zařadili do skupiny **kommunikační (organizační) ergonomie**, nebraly ohled na zdravotní stav pracujících a byly nepříjemně technocentrické a v podstatě asociální. Ekonomicky byly ale velmi úspěšné (**obr. 1.3**).

S rozvojem neurovědních oborů začíná průnik psychologie do nejrozmanitějších oborů lidské činnosti. Zakladatelskou osobností při vytváření aplikované psychologie je německo-americký psycholog **Hugo Münsterberger** (1863–1916). Kromě forenzní a klinické psychologie

„Ergonomics = making work human“
„Ergonomics = fitting the task to the human“



Obr. 1.1 Hippokratés z Kóu (460–370 př. n. l.)



Obr. 1.2 Bernardino Ramazzini (1633–1714)



Obr. 1.3 Frederick Winslow Taylor (1856–1915)



Obr. 1.4 Hugo Münsterberger (1863–1916)

vytvořil základy tzv. „průmyslové psychologie“, která je někdy tradována jako „psychotechnika“. Z Münsterbergerových prací vyplývá, že jeho hlavní pozornost byla věnována **výběru vhodných lidských typů** pro různé profesní uplatnění. Jako obvykle, značné urychlení při tomto výběru sehrála vojenská výroba a válečné konflikty, které v podstatě uspíšily rozvoj celé ergonomie. Dnes se základy biologické psychologie promítají do většiny disciplín ergonomie – od fyzické ergonomie po ergonomii komunikační (**obr. 1.4**).

Po druhé světové válce se ergonomie etabluje jako **samostatný vědní obor** a vzniká řada vědeckých ergonomických pracovišť:

- GB 1949 *Ergonomics Research Society* (Oxford)
- USA 1957 *Human Factor Society*
- USA 1958 *Ergonomics* (časopis)
- USA 1958 *Human Engineering*
- SRN 1959 *Arbeits Wissenschaft*
- 1959 *International Ergonomics Association*
- 2003 *Federation of European Ergonomics Societies*

Kronika české ergonomie je právě tak bohatá jako rozporuplná. Prvním pracovištěm, které věnovalo cílenou pozornost oborům, které postupně vytvářely profil ergonomie, byl **Státní zdravotní ústav** (1921) a následně i tzv. „*Zdravotnická sekce*“ **Vzduchoplaveckého ústavu** (1924). **Ústav lidské práce** (1939) se profiloval podobně jako americké a německé „psychologie práce“. **Československý ústav práce** (1945) pokračoval po druhé světové válce v jeho činnosti a vytvořil podmínky pro vznik **Ústavu bezpečnosti práce** (1951).

Prvním vydáním české komplexní publikace ergonomie (1975) je Glivického „*Úvod do ergonomie*“.

Velmi rozmanitá je **historie výuky ergonomie** na různých typech středních i vysokých škol, institucích zabývajících se hygienou a epidemiologií, pracovním lékařstvím, leteckým zdravotnictvím, forenzní biomechanikou, designem a architekturou. Tato rozmanitost na jedné straně vypovídá o potřebě ergonomie v různých oblastech lidské činnosti a invenci pracovníků rozvíjejících jednotlivé komponenty budoucího samostatného vědního oboru, ale zároveň signalizuje neukotvenost ergonomie v systému u nás přijímaných a respektovaných vědních disciplín a neukotvenost předmětu ergonomie ve vzdělávacím systému.

Předpovídat vývoj různých vědních oborů je v dnešní době věštba, která nemá a ani nemůže mít racionální základ. Přitom alespoň základní vize kteréhokoliv oboru je již polovičním úspěchem pro jeho stabilizaci a rozvoj. Jsme současníky rozpadu jedné civilizační etapy ve vývoji druhu *Homo sapiens*. Bude pravděpodobně probíhat mnohem rychleji než zánik předchozích civilizačních uskupení. Perspektiva nového uspořádání společnosti je stejně nejistá, jako byla v období po rozpadu a zániku antické civilizace.

Jaká může být **perspektiva ergonomie** v takovém světě?

V ergonomické literatuře je v posledních letech hojně skloňován vztah „člověk kontra počítač“ (*human-computer interaction*). V dnešní době je ergonomie práce s počítačem a jeho komponentami velmi závažný a nejen zdravotní problém. Jeho nejjednodušší a nejrychlejší řešení je pochopitelně v řešení ergonomie polohy těla, tvarování kontaktních komponent jednotlivých přístrojů, osvětlení, prostorového rozmístění celého zařízení atd. Tzn., řešení metodami a postupy současné **fyzické, kognitivní a komunikační ergonomie**. To je dnešní řešení. Jsou ale již k dispozici zařízení, kterými je možné zařízení počítačového typu ovládat hlasem, pohybem očí apod. Jak dlouho bude trvat než **umělá inteligence (AI)** umožní komunikovat nejen s počítačem, ale i s robotem stejně jako komunikujeme se svými lidskými protějšky? Včetně chápání jejich i našich emočních stavů. Podle velmi seriózních odhadů asi deset let. Bude-li budoucí civilizace „civilizací robotů“, nemá příliš smysl uvažovat o perspektivě jednotlivých vědních oborů. Budou jiné, a možná, že je nebudeme určovat my.

Budeme-li předpokládat spíše **symbiotický vývoj**, bude ergonomie zasahovat do zvětšujícího se množství nově vznikajících, specializovaných oborů, které budou řešit především vztah člověka, strojů a zařízení

vybavených nebo ovládaných tzv. „umělou inteligencí“ (AI – *arteficial intelligence*). Vycházejí z predikce symbiotického vývoje člověka a stroje, je z **pedagogického, definičního, organizačního i systémového hlediska** zřejmě nejvýhodnější rozlišovat dva komplexy ergonomických oborů, dále rozdělené na dílčí sektory:

- **komplex základů ergonomie**, který poskytuje všeobecné a základní informace o stavbě a funkci člověka, nezbytné pro další specializované stadium. Vzniká tak celek **fyzické, kognitivní a komunikační ergonomie**;
- **komplex aplikované ergonomie**, tj. soubor ergonomických oborů uplatňujících se v rámci nejrozmanitějších vědních oborů, ale zachovávajících specifické vlastnosti základů ergonomie, na kterou navazuje.

Ergonomie se v tomto konceptu stává typickým **interdisciplinárním** nebo spíše **transdisciplinárním** oborem. Zbavuje se tak **multidisciplinarity**, která je někdy chybně ergonomii podsouvána. Multidisciplinarita totiž znamená přenášení výsledků mezi obory **bez sloučení** a **synergie** zúčastněných oborů.

Transdisciplinární povaha ergonomie generuje pro její postavení samostatné **vědní disciplíny** a **předmětu výuky** specifický **systémový problém**. Které obory nebo metodické postupy zvolit jako integrující pro celý ergonomický systém, aniž by došlo k zásadnějšímu ovlivnění až narušení vlastního systému ergonomie? Jeden z možných přístupů – zdaleka ne ideální, představuje struktura předkládaného textu. Rozlišení komplexu fyzické, kognitivní a komunikační ergonomie pokrývá všechny základní sektory obecné ergonomie nezbytné ke zvládnutí speciální, aplikované ergonomie.

Použitý třídící systém je ve shodě i s principy tzv. *ergatiky*.

„*Ergatika je vědní obor, který optimalizuje systém člověk – technika – prostředí s cílem zajistit pohodu člověka a zabránit ohrožení jeho zdraví úrazem či nemocí, při optimalizaci výkonnosti systému.*“ (Chundela, 1986). (Slovní výraz „ergatika“ není jazykově nejšťastnější. Lat. *ergaticus*, ř. *ergatikos* původně znamenají „schopen nebo ochoten pracovat“.)

Spojovacím, **integrujícím prvkem** systému ergonomických věd je **člověk**:

- **komplex základů ergonomie** vychází především z informací o člověku. Člověk je určen a limitován svými fyzickými parametry – **fyzická ergonomie**, možnostmi kognice, tj. kapacitou získávání a rychlostí zpracování informací – **kognitivní ergonomie**, a vlastnostmi organizačních struktur a procesů, stojících na základech komunikace – **komunikační ergonomie**;
- **komplex aplikované ergonomie** představuje skupinu ergonomických oborů typu průmyslové, forenzní, sportovní, rehabilitační ergonomie atd., které vycházejí ze základů fyzické, kognitivní a komunikační ergonomie.

Předkládaný text reprezentuje sektory prvního, základního ergonomického komplexu. Navazovat bude komplex aplikované ergonomie.

1 Fyzická ergonomie

To, co vytvořila příroda, je vždy lepší než to, co bylo vytvořeno uměle.

(M. T. CICERO, 106–43 př. n. l.)

• **Somatologická propedeutika**
 • **Základy auxologie**
 • **Antropometrie**
 • **Úvod do biomechaniky člověka**
 • **Kineziologie – kost, kloub, sval**
 • **Synopse fyzické ergonomie I.–IV.**
 • **Apendix 1–4**

První komplex ergonomických oborů byl charakterizován jako **transdisciplinární soubor** vědních disciplín, mezi kterými dominují tři základní skupiny oborů. Obory zabývající se **fyzickou** (konstituční, somatickou) charakteristikou člověka, **kognitivními** (psychickými) procesy a organizačními, **komunikačními** (senzorickými) systémy, jejichž základem a integračním prvkem jsou různé formy dorozumívání.

Fyzická ergonomie studuje základní **morfologické** (anatomie, histologie, cytologie) a **funkční** (fyziologie, patofyziologie) parametry vybraných systémů lidského organismu, využívá i některé postupy tzv. **fyzické antropologie** (antropometrie, goniometrie, somatické typologie, auxologie) a **biomechaniky člověka**, zaměřené především na fyzickou (pohybovou) aktivitu, a **kineziologie** akcentující funkce pohybových generátorů – svalů.

1.1 Somatologická propedeutika

Propedeutika (ř. *pró* – před; ř. *paideúein* – vyučovat) je v klasifikaci věd označení pro úvod do určité vědní disciplíny, její metodiky, jazyka, základních postulátů a elementárních znalostí. Představuje přípravu ke studiu určitého oboru.

V našem konceptu fyzické, kognitivní a komunikační ergonomie má každý sektor svoji propedeutickou kapitolu, stručně probírající základní faktografii speciálních oborů promítající se do vlastní, navazující ergonomické problematiky.

Cílem propedeutické kapitoly je podat základní informace o struktuře a funkčním významu **buněk**, buněčných celků – **tkání**, a souboru tkání – **orgánů**. Tkáně jsou charakterizovány v posloupnosti, ve které probíhá jejich vývoj.

1.1.1 Elementární stavební komponenty – buňky

Buňka (lat. *cellula* – komůrka) je nejmenším samostatným anatomickým a funkčním celkem schopným **látkové výměny**, **reakce** na zevní podněty a **reprodukce**. První buňky se formovaly před 3,5–3,8 miliardami let v podobě „obalů, pouzder“ DNA a RNA.

Buňka = základní stavební a funkční jednotka organizace živé hmoty

Živočišné buňky mají tři stejné základní stavební prvky: **buněčné membrány** (biomembrány), **vlákna** (vláknité bílkoviny) a **hrudkovité částice**. Z těchto stavebních prvků jsou v buňce formovány buněčné **organely**, zajišťující všechny základní buněčné funkce:

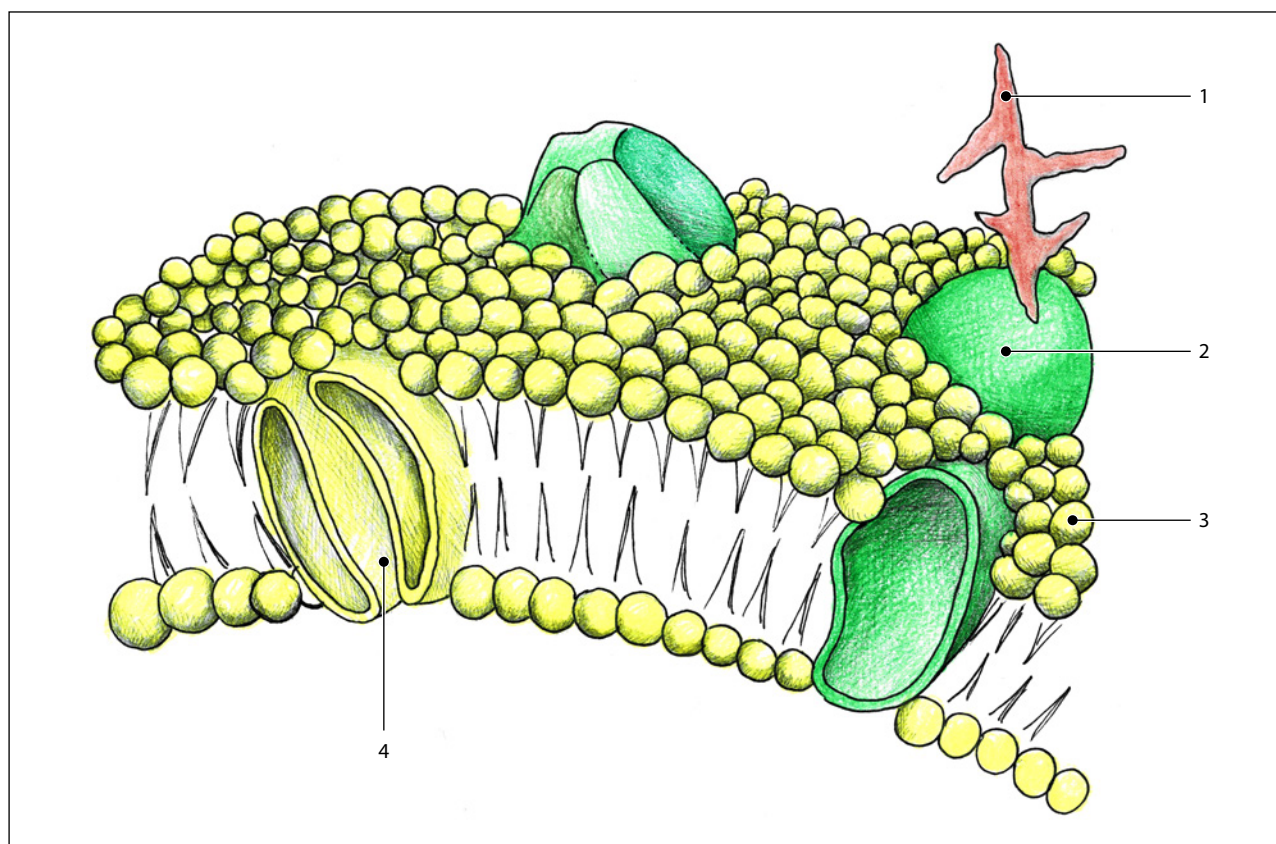
- **tvorbu bílkovin**: jádro, jadérko, ribozomy a Golgiho komplex,
- **produkci energie** oxidací látek v mitochondriích,
- **transport** zajišťovaný v buňce buněčnými membránami, endoplazmatickým retikulem a cytoskeletem,
- **štěpení** látek realizované lysozomy,
- **dělení buněk** realizované centriolami, jádrem, jadérkem, ribozomy a Golgiho komplexem,
- **přenos genetické informace** především účastí DNA buněčného jádra a RNA ribozomů.

Z obecně **ergonomického hlediska** představují buněčné struktury základní útvary, které v podstatě určují výslednou strukturu a funkci každého organismu.

Cytologie, která dnes v podstatě vytváří jednotný komplex s genetikou a molekulární biologii, bude mít s největší pravděpodobností stále rostoucí roli v postupně vznikajícím odvětví **molekulární ergonomie**, např. při konstrukci molekulárních motorů, protetice, náhradě senzorních systémů atd. (viz další kapitoly).

Biomembrány

Základem všech biomembrán je trojvrstevný útvar tzv. **jednotková membrána** o tloušťce asi 7,5 nm ($1\text{--}10\text{ m}^{-9}$) tvořená **tuky** a **bílkovinami**. Molekuly tuků



Obr. 1.5 Stavba biomembrány: 1 – receptorová molekula, 2 – proteinová molekula, 3 – vrstva molekul tuku, 4 – membránový kanál

jsou uspořádány do dvojvrstvy a orientovány hydrofobními konci molekul dovnitř a hydrofilními konci na povrch membrány. V této dvojvrstvě jsou nepravidelně rozloženy i molekuly bílkovin. Některé bílkoviny procházejí celou membránou, jiné jsou do ní jen zanořeny. Další jsou pouze na povrchu membrány a „čnejí“ do okolí. Membrány mají polotekutý charakter a jsou v neustálém pohybu a přestavbě.

Biomembrány mají pro život buňky zásadní význam. Dvojité vrstvy molekul tuku vytvářejí **rozhraní** mezi buňkou a prostředím, volně propouští vodu a některé ionty, ale zabráňuje neřízené směně dalších prvků a látek. Aktivní, **řízený transport** iontů a chemicky složitějších látek zajišťují membránové bílkoviny. Některé látky tak mohou membránami procházet **volně** (difundují), pro jiné je průchod membránou **řízený** nebo jsou aktivně **vychytávány** z okolí buněk. Větší molekuly prostupují **průchody (kanály)** v membráně (**obr. 1.5**). Velké molekulární komplexy jsou pohlcovány – **fagocytovány**. Při tomto procesu se část povrchové membrány buňky vchlípí, okraje vklesnutí se uzavřou a pohlcená částice je deponována ve vakuu uloženého uvnitř buňky.

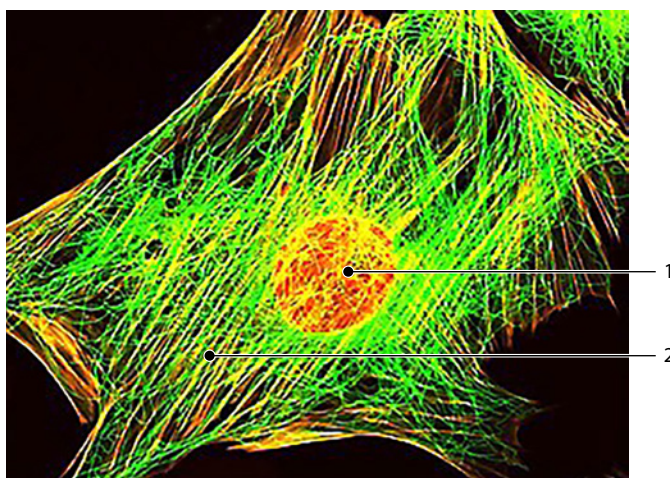
Některé bílkoviny membrány mají **funkci receptorů**. Receptory přijímají podněty z okolí, a mají proto důležitou roli při zajišťování komunikačních procesů. Jiné receptorové bílkoviny vytvářejí ve spojení s cukry na povrchu buněk molekulární struktury, typické a **specifické** pro každou buňku (i organismus). Umožňují tak **rozlišení** vlastních a cizích buněk. Tyto funkce jsou nezbytné např. pro **obranu organismu** a jsou i podmínkou pro vytváření buněčných souborů – **tkání**.

Vláknité a hrudkovité buněčné struktury

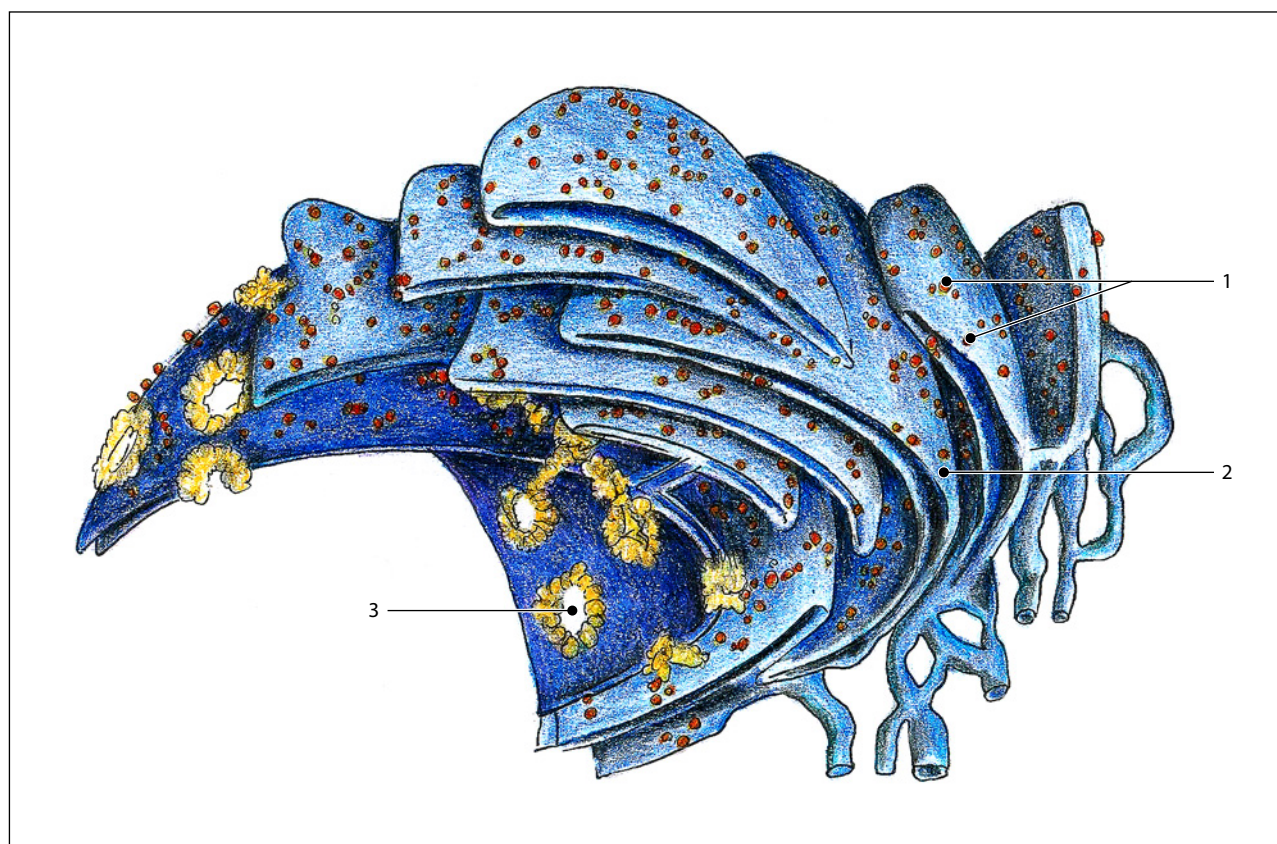
Vláknité struktury zajišťují jak stálý, tak i proměnlivý tvar buňky. Tvoří její vnitřní mechanickou oporu – **cytoskelet**, a podmiňují tak schopnost buněčného pohybu. Základními stavebními prvky těchto struktur jsou **mikrotrubice** a **mikrovlákna** (**obr. 1.6**).

Stěny mikrotrubic jsou obvykle tvořeny klubičky bílkovin seřazených do šroubovice. Vytvářejí vnitřní „kostru“ buňky a tvoří trubice dělicího vřeténka. Jsou základem řasinek a bičíků.

Mikrovlákna jsou složena ze spirálně uspořádaných bílkovin. Změny tvaru a prostorové orientace molekul



Obr. 1.6 Cytoskelet: 1 – buněčné jádro, 2 – mikrotrubice a mikrovlákna



Obr. 1.7 Ribozomy na nitrobuněčných membránách: 1 – ribozomy na povrchu membrány, 2 – membrána endoplazmatického retikula, 3 – komunikační otvor v membráně

v trubicích a vláknech umožňují **změny tvaru** buněk, pohyb organel i **pohyb** celých buněk.

Typem **hrudkovitých** částic je **ribozom** (obr. 1.7). Každý ribozom je tvořen dvěma podjednotkami složenými z RNA a bílkovin. Ribozomy jsou přichyceny na zevním povrchu stěny membrány endoplazmatického retikula. Některé typy ribozomů jsou i volně rozptýleny ve vnitřním prostoru buňky. Ribozomy jsou místem **syntézy bílkovin**.

1.1.2 Tkáně a orgány

Tkáně jsou **soubory, komplexy buněk**, které mají stejný (podobný) tvar a obvykle jednu hlavní funkci. Vznik a vývoj tkání je nerozlučně spojen s vývojem všech mnohobuněčných organismů. Tkáně mnohobuněčných organismů jsou výsledkem postupného rozlišování, tj. **specializace buněk**.

Rozlišujeme čtyři typy tkání: epitel, pojivové tkáně (vazivové, chrupavčité, kostní), svalové tkáně a nervovou tkáň.

Epitely

Epitely (ř. *epi-* na, nad, zevně; ř. *thelys* – měkký, „výstelka“) jsou zřejmě ve vývoji mnohobuněčných živočichů tkání **výchozí a základní**. Epitely složené z buněk, které jsou těsně přiloženy k sobě, formují útvary převážně plošného charakteru. Některé typy epitelů separují organismus od vnějšího prostředí – jsou **tkáněmi rozhraní**. Krijí např. povrch těla (epitellová vrstva kůže), další typy

epitelů vystylají duté nebo trubicovité orgány, a oddělují tak vnitřní prostředí organismu od bezprostředního kontaktu s látkami, které do organismu v průběhu látkové výměny vstupují nebo jsou jím vylučovány.

Epitel = minimální mezibuněčné prostory

Pojivové tkáně

Pojivové tkáně tvoří tři typy tkání – vazivová, chrupavčitá a kostní. Jde o tkáně, jejichž mohutný rozvoj u mnohobuněčných živočichů úzce souvisí s výstavbou pevné opory těla – **kostry**, a pevných i pohyblivých spojů – **kloubů**.

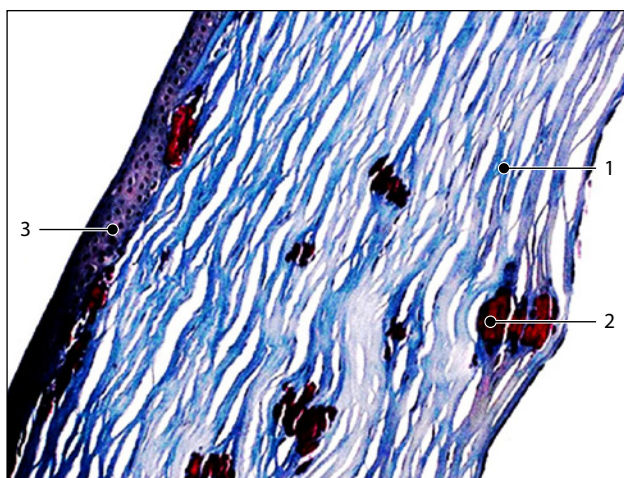
Pojivové tkáně se skládají z **buněk**, **mezibuněčné hmoty** a **vláken**.

Pojiva = vazivo + chrupavka + kost

Mezibuněčnou hmotu a vlákna produkují pojivové buňky. **Vlákna** pojiv jsou trojího typu:

- **elastická vlákna** (ř. *elastikos* – vláčný, poddajný, pružný) jsou druh vazivových vláken charakteristický velkou pružností, ale malou pevností. Obvykle jsou přiměsí kolagenních vláken,
- **kolagenní vlákna** (ř. *kolla* – kliš, ř. *gennaó* – tvořím) jsou druh vazivových vláken charakteristický velkou pevností v tahu; např. šlachy a kloubní vazy jsou tvořeny svazky kolagenních vláken,

- **retikulární vlákna** (lat. *reticulum* – síťka) jsou tenká, síťovitě propletená vazivová vlákna vhodná jako nosný „skelet“ pro skupiny buněk, např. buněk mizních uzlin.
- ♦ **Vazivová tkáň** je tvořena vazivovými buňkami, kolagenními, elastickými a retikulárními vlákny a beztvárnou mezibuněčnou hmotou tvořenou převážně proteoglykany. **Tuhé vazivo** tvoří především vazy a šlachy, **řídke vazivo** reprezentuje především tzv. vmezežené vazivo a **elastické vazivo** formuje některé vazy páteře (obr. 1.8). **Tukové vazivo** vytváří podkožní tukovou vrstvu a tukové polštáře kolem některých orgánů a **lymfoidní vazivo** je „skeletem“ mizních uzlin.
- ♦ **Chrupavčitá tkáň** je sice složená také z buněk, mezibuněčné hmoty, kolagenních a elastických vláken, ale jednotlivé stavební komponenty mají oproti vazivové tkáni kvantitativně různé zastoupení a prostorové uspořádání. Vzhledem k těmto rozdílům má chrupavčitá tkáň jiné biomechanické vlastnosti než ostatní pojivové tkáně. Základními typy chrupavek je kloubní (hyalinní), elastická a vazivová chrupavka:



Obr. 1.8 Podélný řez šlachou (mikroskopický obraz): 1 – kolagenní vlákna, 2 – vazivové buňky, 3 – vazivový obal šlachy

- **kloubní (hyalinní) chrupavka** (ř. *hyalos* – sklo) pokrývá styčné (kloubní) konce kostí. Jde o porcelánově bílý, tvrdý, hladký, ale poměrně křehký typ chrupavky, vhodný pro realizaci i poměrně velkého rozsahu kloubního pohybu (obr. 1.9). (Dále viz „Úvod do biomechaniky člověka“.);
- **elastická chrupavka** je pružná, žlutavé barvy, je schopná vracet se po fyziologické deformaci do původního tvaru. Tvoří obvykle základy struktur, často komplikovaných tvarů, které v důsledku své funkce mění tvar, ale po pomnutí deformující síly se vrací k tvaru původnímu (ušní boltec, hrtanová příklopka apod.);
- **vazivová chrupavka** obsahuje kromě menšího množství chrupavčitých buněk hlavně větší množství velmi silných kolagenních vláken. Beztvaré proteoglykanové hmoty je poměrně málo. Vazivová chrupavka je matně bílá a značně odolná na tlak a tah. Vytváří především útvary vystavené značné mechanické zátěži a absorbující nárazy. Tvoří např. meziobratlové destičky nebo sponu stydkých kostí.

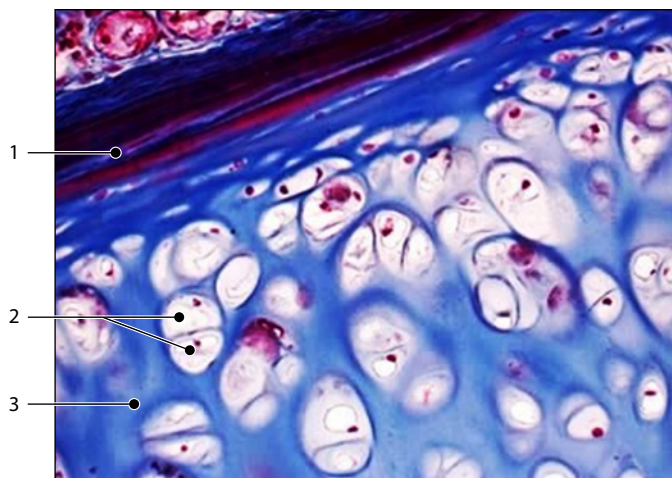
- ♦ **Kostní tkáň** je tvrdá pojivová tkáň s **mineralizovanou základní hmotou**. Kolagenní vlákna vytvářejí buď **trámce**, **trubice**, nebo ploché **lamely**, na jejichž povrchu jsou uloženy **kostní buňky**, **osteocyty** (lat. *os* – kost, ř. *kytos* – buňka) (obr. 1.10). Kostní minerály (sloučeniny vápníku, fosforu, hořčíku a sodíku) jsou vázány na povrch kolagenních vláken. Základní dva typy kostní tkáně – trámčitá a lamelózní, tvoří základ většiny **kostí**:
 - **trámčitá kostní tkáň** je u dospělého člověka omezena pouze na kloubní konce kostí, kostní **výběžky** (hrboly) a **drsnatiny** v místech úponu svalů;
 - **lamelózní, trubicovitá kostní tkáň** (lat. *lamela* – destička, trubice) je základem většiny kostí tvořících kostru dospělého člověka. (Stavba kosti, viz kap. 1.7.1.)

Kostní tkáň = základní tkáň kosti. Kost = orgán

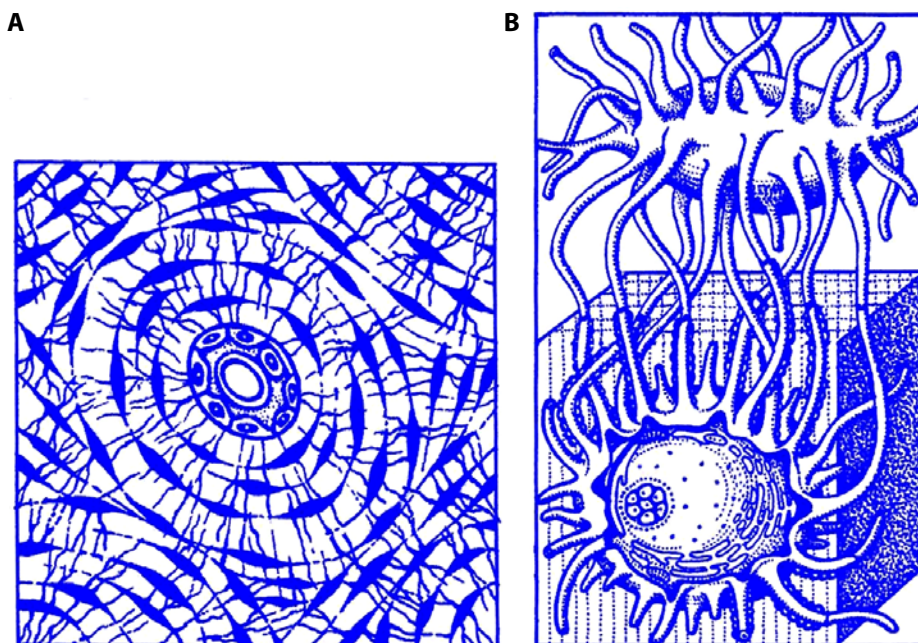
Kostní buňky, osteocyty, které jsou producenty ostatních stavebních komponent kostní tkáně, se v dospělé kosti účastní transportu a uvolňování minerálních látek – především sloučenin vápníku. Minerální látky představují asi 65 % objemu kostní tkáně. Zbytek připadá na organickou složku kostní tkáně – bílkoviny. V dětství v kostní tkáni převažují organické látky – kost je proto pružná. Ve stáří dominují minerální látky – kosti jsou pak sice tvrdší, ale jsou křehké (lomivé).

Svalové tkáně

Svalové tkáně u mnohobuněčných živočichů zabezpečují především **pohyb**. Měnit tvar buněčného těla pomocí vláken a trubic cytoskeletu dovede většina živočišných buněk. I když je tato schopnost typická prakticky pro všechny buňky, vznikají v cytoplazmě některých živočichů další specializované struktury, tzv. myofibrily.



Obr. 1.9 Hyalinní chrupavka (mikroskopický obraz): 1 – vazivový obal, 2 – „hnízd“ buněk chrupavky (mladý jedinec), 3 – mezibuněčná hmota



Obr. 1.10 Stavba kosti (schéma): A – výbrus lamelózní kosti (trubicovité lamely, centrální kanálek a osteocyty), B – prostorová rekonstrukce komunikujících kostních buněk

Myofibrily (ř. *mys* – sval, lat. *fibra, fibrilla* – vlákno, vláčenko) jsou smrštitelné vláknité bílkoviny, které jsou uloženy buď v cytoplasmě svalových buněk (hladká a srdeční svalovina), nebo v cytoplasmě svalových vláken (kosterní svalovina).

Podle stavby, inervace a funkčních vlastností rozlišujeme: hladkou (orgánovou) svalovou tkáň, příčně pruhovanou srdeční svalovou tkáň a příčně pruhovanou kosterní svalovou tkáň.

- ♦ **Hladká svalová tkáň** se skládá z podlouhlých, **vřetenovitých buněk** vzájemně spojených jemným vazivem. Buněk hladké svaloviny obsahují ve své cytoplasmě myofibrily, jejichž smrštním, **kontrakcí**, se zkracuje i celá buňka. Svalovina tohoto typu tvoří nejčastěji stěny dutých orgánů (proto orgánová svalovina) nebo formuje svalovou vrstvu cévní stěny (**obr. 1.11**).

Svalová buňka = základní stavební a funkční jednotka hladké (orgánové) svaloviny

Hladká svalovina je inervována tzv. **autonomními** (vegetativními, „útrobními“) **nervy**, jejichž řízení z velké části nepodléhá naší vůli. Kontrakce vede k zúžení a zkrácení trubic, zmenšení dutin nebo k uzavěru orgánových vývodů. Kontrakce hladké svaloviny je mimovolní, pomalá a často rytmická.

- ♦ **Srdeční svalovina** tvoří střední vrstvu srdeční stěny, **myokard** (ř. *mys* – sval, ř. *kardia* – srdce). Trámce srdeční svaloviny jsou tvořeny těsně k sobě přiloženými buňkami. Srdeční svalovina tak stojí na rozhraní typické buněčné organizace a vláknité struktury kosterní svaloviny (**obr. 1.12**).

Svalové buňky, trámce = základní stavební a funkční jednotky srdeční svaloviny

Trámčitá struktura myokardu umožňuje rychlý a dokonalý rozvod elektrického podráždění, vedoucí k rytmickému smršťování srdeční stěny. Také srdeční svalovina je inervována autonomními nervy, které mohou zrychlit nebo zpomalit srdeční akci. Kromě této inervace má ale myokard **vlastní systém** vodivé svaloviny, tzv. **excitomotorický aparát**, který **vytváří vzruchy** vedoucí k rytmickému a **automatickému** smršťování nezávisle na autonomní inervaci.

- ♦ **Kosterní, příčně pruhovaná svalová tkáň** tvoří základ svalů hlavy, trupu a končetin. Základní jednotkou příčně pruhované svaloviny je **svalové vlákno**. Vlákna vytvářejí **svazky** spojené jemným vazivem. Svazky jsou základem struktury kosterních svalů (**obr. 1.13**). (Viz kap. 1.7.4).

Svalová vlákna = základní stavební a funkční jednotky kosterní svaloviny

Vlákna kosterních svalů jsou až několik centimetrů dlouhé válce s tupými konci. Na povrchu vláken je membrána, která svojí stavbou v podstatě odpovídá buněčné membráně. Uvnitř, v cytoplasmě vláken leží myofibrily, buněčné orgány a jádra, kterých je větší množství.

Myofibrily v hladké, srdeční i kosterní svalovině jsou submikroskopická vláčenka složená ze **dvou kontraktálních typů bílkovin**, které při zobrazení v mikroskopu podmiňují svou různou světelnou lomivostí