

**Univerzita Karlova**

**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Chemie

Studijní obor: Chemie se zaměřením na vzdělávání



**Petr Honomichl**

Materiály pro výuku biochemie na gymnáziích – hladké a kosterní svalstvo

Materials for education in biochemistry at secondary school – smooth and skeletal muscle

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Vedoucí práce: doc. RNDr. Václav Martínek, Ph.D.

Praha, 2022

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci zpracoval samostatně pod vedením doc. RNDr. Václava Martínka, Ph.D. a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 5. května 2022

Petr Honomichl

.....

podpis

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval panu doc. RNDr. Václavu Martínkovi, Ph.D., který se zhostil vedoucího této bakalářské práce a po celou dobu její tvorby poskytoval odborné rady a svůj čas ke konzultacím.

Dále bych chtěl na tomto místě poděkovat Fiorenze Amerighi za ilustrace doprovázející vytvořené výukové materiály.

# ABSTRAKT

Moderní společnost dává člověku řadu jistot a výhod, avšak jedním z jejích vážných problémů je i to že většina z nás tráví nepřírozeně dlouhou dobu sedavým způsobem u počítačů, televizí apod., což má spolu s nadbytkem nevhodné stravy na naše zdravý velmi neblahý vliv a přispívá mimo jiné k „epidemii“ civilizačních chorob, které obsazují první příčky v příčinách úmrtí civilizovaného člověka. Není divu, že část společnosti, která si toto uvědomuje, si klade za cíl, aby lidi trávili svůj volný čas aktivně, tedy pohybem a sportem. Aby se situace zlepšila, je třeba tuto problematiku více zdůrazňovat a nezapomínat ji začleňovat i do výuky středoškolských předmětů, pomoci žákům hledat nové cesty k pochopení významu podstaty pohybu a k tomu je vhodné využít a propojit chemii, biologií a tělesnou výchovu.

Problematika kosterní a hladké svaloviny je na střední škole předmětem výuky biologie člověka, zde je však výuka tématu pojatá spíše popisnou formou, při níž se žáci učí spoustě odborných termínů (vesměs lékařských pojmů) a samotný výklad mechanismu svalové činnosti se omezuje jen na popis kosterní (příčně pruhované) svaloviny.

K podpoře výuku této problematiky na středních školách gymnaziálního typu se snaží přispět tato bakalářská práce. Součástí práce je rozbor vybraných středoškolských učebnic chemie a biologie, již vytvořených závěrečných prací zabývajících se podobnou tematikou a internetových zdrojů za účelem zmapování aktuálního stavu dostupných materiálů a informací zabývajících se touto problematikou na úrovni střední školy. Na základě výsledků rozboru pak byly v rámci práce připraveny didaktické materiály se zaměřením na problematiku příčně pruhované svaloviny kosterní a hladké svaloviny z pohledu biochemie, které současné učebnice a materiály doplní a seznámí žáky s tímto učivem jednoduchou a názornou formou.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** biochemie, svalová činnost, svalová relaxace, aktin, myozin, příčně pruhované svalstvo kosterní, hladké svalstvo, učební texty, didaktické materiály

# ABSTRACT

Modern society gives humanity many guarantees and many benefits. Although one of the biggest problems nowadays is that most of us spend much time sitting at computers or TVs. Another problem is the excess of an unsuitable diet, which threatens our health. This lifestyle harms our health and contributes to the outbreak of diseases in civilization, among other things. These diseases are the leading cause of death in civilized countries. It is no wonder that some parts of society are already aware of this issue, and its goal is to motivate people to spend their free time actively, for example, with regular exercise or sports. It is necessary to emphasize the relationship between health problems and a sedentary lifestyle by integrating such topics into teaching grammar school subjects. We could combine chemistry, biology and physical education with helping students find new ways to understand the importance of physical activity.

The work focuses on skeletal and smooth muscle because it is closely related to movement and is also the subject of teaching in secondary schools. However, in the current teaching materials, this topic is conceived rather descriptively, with students learning many medical terms, and the interpretation of the mechanism of muscle activity is limited to skeletal muscles.

This bachelor thesis was written to support the teaching of this difficult subject in high schools. It analyzes selected high school textbooks of chemistry and biology and some final theses dealing with similar topics and other Internet resources to map the current state of available materials and information dealing with this issue at the high school level. Based on the analysis results, I prepared didactic materials focused on the issue of skeletal muscle and smooth muscle. New materials present the muscle function from the point of view of biochemistry and aim to supplement textbooks so that students can master this important subject.

**KEYWORDS:** biochemistry, muscle activity, muscle relaxation, actin, myosin, striated skeletal muscles, smooth muscle, teaching text, didactic materials

# Obsah

1	Cíle bakalářské práce.....	7
2	TEORETICKÁ ČÁST .....	8
2.1	Úvod.....	8
2.2	Vzdělávací systém v České republice .....	9
2.2.1	RVP G .....	9
2.2.2	RVP GSP.....	11
2.2.3	Biochemie kosterního a hladkého svalu ve ŠVP na vybraných školách .....	11
2.3	Hodnocení učebnic chemie .....	12
2.4	Kosterní a hladký sval ve vybraných závěrečných pracích.....	13
2.4.1	Výuka kosterně-svalové soustavy na středních školách.....	14
2.4.2	Tvorba a ověření didaktických materiálů k tématu podpurné prostředky ve sportu a jejich působení na lidský organismus.....	14
2.4.3	Stručný přehled bílkovin kosterního svalu.....	14
2.4.4	Vypovídající závěr z uvedených prací .....	15
2.5	Přehled dostupných materiálů zabývajících se podobnou problematikou na internetu ..	15
3	PRAKTICKÁ ČÁST — VÝSLEDKY.....	17
3.1	Přehled zpracování tématu u vybraných českých učebnic chemie a biologie.....	17
3.1.1	Chemie .....	17
3.1.2	Biologie.....	18
3.2	Tvorba vlastních materiálů pro výuku .....	19
3.2.1	Uspořádání obsahu v materiálech .....	21
3.2.2	Zařazení materiálů do výuky.....	25
3.2.3	Minimální znalostní požadavky pro nasazení materiálů do výuky .....	26
4	Diskuse .....	27
5	Závěr.....	29
6	Citovaná literatura .....	31
7	SEZNAM PŘÍLOH.....	33

# 1 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tato práce si klade za cíl vytvořit nové didaktické materiály na podporu výuky středoškolské biochemie se zdůrazněním přesahu k tématu Člověk a zdraví. Konkrétně se zaměřením biochemie kosterního svalu (příčně pruhovaného svalu kosterního), ale i hladkého svalu, a to vše s důrazem na chemickou podstatu tohoto důležitého životního děje.

Prvním cílem bylo provést rozbor relevantního učiva biochemie ve vybraných středoškolských učebnicích chemie a biologie dostupných a používaných v České republice a dostupných internetových zdrojích (materiály na internetu a vybrané závěrečné práce zabývající se podobnou tematikou). Druhým (hlavním) cílem pak bylo připravit studijní texty, které budou rozšiřovat běžně probírané učivo středoškolské biochemie a biologie a vhodným způsobem doplní současné učebnice a podpoří výuku této problematiky na středních školách.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Úvod

Dnešní společnost je plná moderních technologií a jistot, které nám ulehčují a zjednodušují život, avšak čím jde pokrok kupředu, tak tím více v našem životě převládá méně a méně pohybu. Je to vlastně pochopitelné, jelikož v dřívějších dobách lidé více chodili pěšky, protože koňské spřežení a později první automobily si mohla dovolit jen nejbohatší společenská třída. A v neposlední řadě byla převažující náplní většiny povolání manuální práce. Naopak ve srovnání s dnešní dobou, kde převládajícím druhem práce je kancelářská práce, ve které člověk skoro celou pracovní dobu tráví sedavým způsobem u obrazovek počítače a skoro na každém rohu je automobil, či městská hromadná doprava, která nám ulehčuje pohyb po městě. S rostoucí mírou sedavého způsobu života však narážíme na zvýšený výskyt tzv. civilizačních onemocnění, která jsou spojena s nedostatkem pohybu a špatnými stravovacími návyky. Například z výsledků průzkumu Národní zprávy o pohybové aktivitě českých dětí a mládeže z roku 2022 vyplývá, že přes 70% dospívajících tráví více než 2 hodiny ze svého volného času sedavým způsobem života, což se negativně projevuje nejen na jejich fyzické kondici, ale na zvýšeném výskytu civilizačních chorob již v relativně nízkém věku, jejichž výskyt se s rostoucím věkem zvyšuje a komplikace se prohlubují [1]. Část populace si však tato rizika uvědomuje a vybízí k prevenci výskytu těchto onemocnění aktivním trávením volného času sportovními aktivitami. Aby se situace změnila je třeba šířit osvětu ohledně této problematiky a začleňovat ji do souvislostí již ve výuce na střední škole a vést žáky k pochopení souvislostí mezi a pohybem a zdravým životním způsobem života.

Proto je třeba se zamyslet nad problematikou sportování nejen v rámci hodin tělesné výchovy, ale i v rámci ostatních předmětů jako je chemie a biologie. Pochopení principů pohybu by žáky mělo k pohybu motivovat a také podpořit a rozvíjet mezioborovost předmětu chemie, biologie, sport a zdravý životní styl. V rámci podpory této problematiky byly vytčeny cíle připravit výukové materiály na příčně pruhované svalstvo kosterní a hladké svalstvo, které budou propojovat chemii, biologii a tělesnou výchovu (v případě sportovních gymnázií i se sportovním tréninkem) s cílem vysvětlit a lépe objasnit, funkci unikátního systému jako je náš pohybový aparát a jak je vůbec možné, že se můžeme pohybovat.



## 2.2 Vzdělávací systém v České republice

V současné době je v České republice vzdělávání na úrovni předškolním, základním, středním, vyšším odborném a jiném zakotveno v zákoně č. 561/2004 Sb., též nazývaný „Školský zákon“. Tento zákon zavádí systém kurikulárních dokumentů pro vzdělávání žáků od 3 do 19 let. Kurikulární dokumenty lze obecně rozdělit do dvou úrovní. První úrovní jsou státní kurikulární dokumenty, což představují rámcové vzdělávací programy (RVP), které vymezují závazné rámce vzdělávání. Jednotlivé rámce vzdělávání jsou uvedeny pro konkrétní vzdělávací etapy (tj. předškolní, základní a střední vzdělání). Druhou úroveň představují školní vzdělávací programy (ŠVP). Podle ŠVP pak probíhá vzdělávání v jednotlivých školách. ŠVP si každá škola vytváří sama na základě svého zaměření na základě RVP [2].

RVP vycházejí ze Strategie vzdělávací politiky České republiky, která klade důraz na získání klíčových kompetencí potřebných a využitelných v aktivním občanském, profesním a osobním životě. Dále formulují očekávanou úroveň vzdělání absolventů jednotlivých etap vzdělávání. A v neposlední řadě vycházejí z koncepce celoživotního učení [2,3].

V rámci své bakalářské práce budu dále vycházet z východisek pro Rámcový vzdělávací plán pro gymnázia (RVP G) a Rámcový vzdělávací program pro gymnázia se sportovní přípravou (RVP GSP).

### 2.2.1 RVP G

Rámcový vzdělávací plán pro gymnázia (RVP G) rozděluje vzdělávací obsah na čtyřletých gymnáziích a na vyšším stupni víceletých gymnáziích do osmi vzdělávacích oblastí. Vzdělávací oblasti jsou tvořeny vzdělávacím oborem či obory, které jsou vůči sobě tematicky blízké. Vzdělávací oblasti obsahují svou charakteristiku vzdělávací oblasti, cílové zaměření vzdělávací oblasti a samotný vzdělávací obsah [2].

Charakteristika vzdělávací oblasti vyjadřuje význam, postavení na gymnáziu a její návaznost na základní vzdělání [2].

Cílové zaměření vzdělávací oblasti chápe, jak vzdělávací oblast se svými obory přispívá k rozvoji klíčových kompetencí žáků [2].

Vzdělávacím obsahem se rozumí propojený celek očekávaných výstupů a učiva. Tím rozumíme, jaké úrovně vzdělání mají žáci po absolvování gymnázia dosáhnout v daném oboru. Jedná se o dovednosti, vědomosti a postoje [2].

Samotný obor vzdělávání je v rámci ŠVP rozpracován do podoby učebních osnov, které tvoří daný vyučovací předmět. Škola může obsah vzdělávacího oboru převzít celý, případně ho rozdělit mezi více předmětů. Případně obsah více oborů naopak spojovat do jednoho předmětu [2].

Podle výše uvedené koncepce spadá chemie do vzdělávací oblasti Člověk a příroda. Do této vzdělávací oblasti společně i s fyzikou, biologií, geografii a geologií. Tělesná výchova spadá do oblasti Člověk a zdraví společně s Výchovou ke zdraví [2].

Chemie je rozdělena na čtyři oblasti. Jedná se o obecnou chemii, anorganickou chemii, organickou chemii a biochemii. V rámci biochemie se očekávají od žáka následující výstupy:

- „objasní strukturu a funkci sloučenin nezbytných pro důležité chemické procesy probíhající v organismech“
- „charakterizuje základní metabolické procesy a jejich význam“ [2].

Přitom se však předpokládá, že žáci budou seznámeni s učivem, které se zabývá:

- lipidy,
- sacharidy,
- proteiny,
- nukleovými kyselinami,
- enzymy,
- vitaminy a hormony [2].

Problematiku chemie kosterního a hladkého svalu lze zařadit do výstupu, kdy žák „charakterizuje základní metabolické procesy a jejich význam“ [2]. V tomto případě se jedná o mezioborový vztah s biologií, kde je problematika kosterního a hladkého svalu spjata se vzdělávacím obsahem biologie člověka, kde jedním z očekávaných výstupů je, že žák „využívá znalosti o orgánových soustavách pro pochopení vztahů mezi procesy probíhajícími v lidském těle“ [2]. Poznatky získané o problematice kosterního a hladkého svalu, žáci uplatní i ve vzdělávací oblasti Člověk a zdraví, jak v problematice zdravého

životního stylu (Výchova ke zdraví), tak v problematice aktivního způsobu života (Tělesná výchova) [2].

### **2.2.2 RVP GSP**

V rámci RVP pro gymnázia se sportovní přípravou (RVP GSP) je obsah výuky v oborech chemie a biologie velice podobný tomu na gymnáziích, avšak RVP GSP vymezuje v rámci vzdělávací oblasti Člověk, sport a zdraví, kromě oboru Výchova ke zdraví, Tělesná výchova i obor s názvem Sportovní trénink. Ve Sportovním tréninku se žáci seznamují s teorií sportovní přípravy, všestrannou pohybovou přípravou a se samotným tréninkem ve zvolené sportovní specializaci. Obor zahrnuje vzdělávací obsah pod názvem „*Činnosti podporující sportovní trénink*“, kde jsou žáci seznámeni s problematikou fyziologických aspektů svalové práce. Problematikou hladké svaloviny se RVP GSP zabývají ve stejném rozsahu jako v rámci RVP G [4].

### **2.2.3 Biochemie kosterního a hladkého svalu ve ŠVP na vybraných školách**

Na zjištění aktuálního stavu probírané látky na školách gymnaziálního typu je vybral 3 fakultní školy Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy (PřF UK) [5] a jedno nefakultní sportovní gymnázium, pro porovnání, zda je na tomto typu školy více kladen důraz na problematiku kosterního a hladkého svalu ve výuce, než na všeobecných gymnáziích. Konkrétní obsah výuky jsem posuzoval na základě nahlédnutí do jejich ŠVP. Vybranými fakultními školami jsou Gymnázium Botičská, Gymnázium, Praha 6, Arabská 14 a Gymnázium Jana Keplera. Na základě průzkumu ŠVP jednotlivých škol je patrné, že problematika svalového stahu je probírána v rámci biologie v rámci 3. ročníku čtyřletých oborů, případně je více rozebírán mechanismus svalové činnosti v rámci volitelného semináře Molekulární biologie a genetiky pro 4. ročníky na Gymnázium, Praha 6, Arabská 14. ŠVP Gymnázia, Praha 6, Arabská 14 nebyl bohužel dostupný v online podobě, byl tedy prostudován prezenčně přímo v budově školy. V rámci biochemie, ke které se přistupuje až po probrání všech ostatních témat v posledním ročníku, kdy je chemie vyučována, případně některých škol dokonce pouze v rámci volitelného semináře, není bohužel čas ani prostor se zabývat problematikou biochemie kosterního ani hladkého svalu. Problematika kosterní a hladké svaloviny je často více probírána ve volitelných seminářích pro 4. ročníky [5–7].

Pro srovnání a doplnění jsem ještě zvolil Sportovní gymnázium, Kladno, Plzeňská 3103, kde jsem analýzou ŠVP dozvěděl, že se kosterní a hladká svalovina probírá v rámci hodin biologie v septimě (3. ročník) avšak s tím rozdílem, že se při výkladu problematiky dává větší důraz na pochopení mechanismu činnosti svalů a souvislostmi se sportem. Též se vyučují kapitoly z patofyziologii svalstva. Dokonce v rámci předmětu Teorie sportovní přípravy pro 2. ročník se probírá i fyziologie svalové činnosti. Dále v rámci toho předmětu se ve 4. ročníku pokračuje s biochemickými a fyziologickými základy TV. V rámci hodin chemie se svalová činnost vyučuje v rámci biochemie na volitelném semináři z biologie a chemie, který se vyučuje ve 3. a 4. ročníku. V rámci toho semináře se dokonce probírá i samotná biochemie svalové činnosti [8].

## 2.3 Hodnocení učebnic chemie

V dnešní době existuje řada studijních materiálů, které se označují jako učebnice a jejich doplňky. Jedná se o tištěné či elektronické knihy, videa, sborníky, slovníky a mnoho dalších. Často učebnice tvoří ucelenou řadu pro jeden předmět na několik školních let. Co tedy je učebnice vlastně je?

Vytvořit dobrou a ucelenou definici učebnice není vůbec jednoduché, jelikož v odborné literatuře se vykytuje velká škála variant. Obecně můžeme jako učebnici označit učební pomůcku, která předkládá soustavný výklad učiva [9]. Dle jiné definice můžeme jako učebnici označit jako formu školního didaktického textu, který spadá do skupiny didaktických prostředků a je součástí kurikulárních prostředků [10].

Mezi odborníky, tedy neexistuje jednotná definice učebnice, avšak pokud se podíváme do školského zákon, tak zjistíme, že ani v něm není přesně definováno, jaké parametry by učebnice měla mít. Pouze předkládá, že by každá učebnice měla reflektovat požadavky příslušného RVP [11]. V rámci výše uvedeného můžeme zjednodušeně konstatovat, že učebnici si může teoreticky napsat kdokoliv a nabídka učebnic je poměrně široká.

Aby bylo možné rozhodnout, které tituly jsou svou obsahovou i didaktickou strukturou vhodné, je třeba literaturu analyzovat a porovnávat. Metod, jak provést analýzu učebnice je mnoho, jak představuje ve své disertační práci Klečka [12].

Pro ukázkou můžu uvést kritéria hodnocení učebnic, které si ve své práci stanovila Kudrnová, jedná se o tyto posuzovací kritéria:

- vizualizační prvek – grafika,
- vizualizační prvky – obrázky doplňující text a názornost,
- informační aparát – systém uspořádání učiva,
- budování vztahů a souvislostí – vztah k běžnému životu,
- interdisciplinární témata – vztahy mezi chemií a biologií, zdravým životním stylem, environmentální výchovou a trvale udržitelným rozvojem,
- kritérium – zajímavosti a nadstavbové učivo,
- kritérium – motivační a ověřovací otázky, úkoly, laboratorní pokusy [13].

## **2.4 Kosterní a hladký sval ve vybraných závěrečných pracích**

V rámci provádění rešerše ohledně zpracování podobného tématu v jiných vysokoškolských kvalifikačních pracích, jsem výběr prováděl na základě schody s cílem mé práce, tedy vytvoření podpůrných materiálů pro výuku kosterní a hladké svaloviny na středních školách. Dále jsem se soustředil i obsahovou shodou tématu práce, tedy výklad problematiky související s kosterní a hladkou svalovinou. Na základě výše uvedených parametrů výběru jsem vybral na porovnání 3 práce. Jedná se o práce:

- KUNDRATOVÁ, Miroslava. *VÝUKA KOSTERNĚ-SVALOVÉ SOUSTAVY NA STŘEDNÍCH ŠKOLÁCH*. Praha, 2014. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze Pedagogická fakulta. Vedoucí práce RNDr. Edvard Ehler, Ph.D.
- MEZULIÁNIKOVÁ, Diana. *Tvorba a ověření didaktických materiálů k tématu podpůrné prostředky ve sportu a jejich působení na lidský organismus*. Praha, 2018. Diplomová práce. Univerzita Karlova Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Milada Teplá, Ph.D.
- BENEŠOVÁ, Eva. *STRUČNÝ PŘEHLED BÍLKOVIN KOSTERNÍHO SVALU*. Hradec Králové, 2018. Bakalářská práce. UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE FARMACEUTICKÁ FAKULTA V HRADCI KRÁLOVÉ. Vedoucí práce Prof. RNDr. Eva Kvasničková, CSc.

### **2.4.1 Výuka kosterně-svalové soustavy na středních školách**

V práci věnované na téma Výuka kosterně-svalové soustavy na středních školách, se Mgr. Miroslava Kunderatová zaměřila na metody a formy výuky svalové soustavy na středních školách. Přičemž v rámci své práce rozpracovala problematiku anatomie svalové soustavy na 6 stran, avšak jedná spíše o popisně-odborný text, který spíše, než k pochopení dané problematiky vede k memorování informací. V textu je uvedena problematika příčně pruhovaného svalu kosterního na dvě stránky, přičemž je zde velice okrajově zmíněn i mechanismus svalové kontrakce. Problematika hladkého svalu je zde pouze okrajově zmíněna. Autorka sestavila i pracovní listy k problematice svalové soustavy na 4 strany, avšak jedná se pouze o procvičení anatomických a fyziologických termínů [14].

### **2.4.2 Tvorba a ověření didaktických materiálů k tématu podpůrné prostředky ve sportu a jejich působení na lidský organismus**

Okrajově se problematice se ve své práci na téma Tvorba a ověření didaktických materiálů k tématu podpůrné prostředky ve sportu a jejich působení na lidský organismus věnovala i Mgr. Diana Mezuliáníková. Mezuliáníková se zaměřila na výživové prostředky ve sportu, avšak ve své práci se dotkla i tématu fyziologie sportu. V rámci fyziologie sportu se zaměřila na energetický metabolismus svalové činnosti, který relativně podrobně rozpracovala přibližně na 6 stránek v rámci odborného textu pro učitele. Pro podporu výuky vytvořila prezentaci, ve které této problematice energetického metabolismu věnovala 8 stránek, přičemž využila barevné grafické znázornění převažujících zdrojů energie pro svalovou činnost v závislosti na délce konané aktivity [15].

### **2.4.3 Stručný přehled bílkovin kosterního svalu**

Problematice stavby a mechanismu kosterní a hladké svaloviny se ve své bakalářské práci věnuje významně Eva Benešová, která se zabývá přehledem a popisem samotných svalových bílkovin. V práci je věnováno 8 stránek mechanismu a energetice kontrakce kosterní a hladké svaloviny, přičemž autorka text doplnila vhodně zvolenými ilustračními obrázky jednotlivých pochodů. Autorka v části o energetice svalové činnosti popisuje i alaninový a laktátový cyklus s jejich důležitým významem pro náš každodenní

život. Avšak cílem autorčiny práce nebylo vytvoření podpůrných materiálů pro výuku na středních škola, čemuž odpovídá i náročnost psaného textu, který by byl pro žáka střední školy velice náročný na samotné čtení, natož na správné pochopení dané problematiky [16].

#### 2.4.4 Vypovídající závěr z uvedených prací

Z výše uvedených prací je patrné, že se zabývají tvorbou podpůrných materiálů pro výuku na středních školách, ale žádná z prací se nezaměřila na chemickou podstatu svalové činnosti. Dále nebylo ani v jedné z výše uvedených didaktických pracích uvedeno nic o hladké svalovině ani mechanismu její činnosti. V neposlední řadě chybí i samotná regulace svalové činnosti, jak pro kosterní tak i hladký sval [14,15].

### 2.5 Přehled dostupných materiálů zabývajících se podobnou problematikou na internetu

V rámci vyhledávání zpracování podobného tématu v online dostupných zdrojích, byla pozornost zaměřena na stránky <http://www.studiumbiochemie.cz/> a <https://studiumchemie.cz/>. Na stránkách <https://studiumchemie.cz/> bohužel nebyl nalezen žádný materiál zabývajících se tematikou svalové činnosti, kromě materiálu vytvořeného Mgr. Dianou Mezuliáníkovou v rámci její závěrečné práce, která je uvedena výše.

Na stránkách <https://studiumchemie.cz/> byl opět nalezen v záložce „Biochemie a sport“ materiál vytvořený Mgr. Dianou Mezuliáníkovou v rámci její závěrečné práce uvedené výše. Avšak na těchto stránkách byla v záložce „Buněčná signalizace“, která se zabývá přenosem signálu (vzruchu) v lidském organismu. Zde je i téma zabývajících se mechanismem přenosu vzruchu do svalového vlákna, a tedy jeho excitací.

Dále byl mimo výše uvedené webové stránky nalezen srozumitelný materiál na svalovou kontrakci dostupný na stránkách <http://fbt.cz/skripta/iv-pohybova-soustava/6-svalova-kontrakce/> a na metabolismus svalové tkáně dostupný na adrese <http://fbt.cz/skripta/iv-pohybova-soustava/7-metabolismus-svalove-tkane/>. Oba materiály jsou součástí skript vytvořených kolektivem autorů pro studenty lékařských fakult. Text sice není určený pro střední školu, avšak je relativně dobře srozumitelný a pochopitelný. Uceleně vysvětluje celou problematiku svalové kontrakce a excitace svalového stahu obecně u svalové tkáně. Zavádí odborné pojmy, které však následně

srozumitelně vysvětluje. Bohužel textu chybí doprovodné ilustrace, které by lépe by pomohly k lepší představě řešené látky. Obdobné závěry lze konstatovat u metabolismu svalové tkáně, kde je dobře popsána problematika zásobení svalu pomocí ATP a jeho cesty resyntézy. Kapitola obsahuje i část o diagnostice svalových onemocnění na základě stanovení látek v krvi. V textu opět chybí doprovodné ilustrace řešené problematiky. Bohužel text se nezabývá konkrétně problematikou jenom kosterní a hladké svaloviny.

Z hlediska dostupných a vhodných videí, pro popis dané problematiky byla shledána jako vhodná dvě výuková videa. První z nich se zabývá problematikou stavby a funkce svalovým vláknem kosterní svaloviny (video je dostupné na adrese <https://www.youtube.com/watch?v=s9eqg3r8YEc>), přičemž je v čase 2:47 velice hezký obrázek ukazující stavbu a inervaci svalového vlákna kosterního svalu. Ve druhém videu, které se zabývá energetikou svalové kontrakce, jsou relativně srozumitelně vysvětlené zdroje energie pro svalovou činnost, přičemž v čase 3:47 je graf znázorňující převažující způsoby resyntézy ATP v závislosti na době trvání dané pohybové aktivity.

Bohužel v rámci hledání nebyl nalezen vhodný materiál, který by šel použít bez větších či menších úprav v rámci výuky na střední školy pro kosterní sval. Materiál týkající se výkladu problematiky spojené s hladkým svalem, jeho stavbou, kontrakcí a regulací nebyl bohužel nalezen žádný vhodný pro posluchače střední školy.



## 3 PRAKTICKÁ ČÁST — VÝSLEDKY

### 3.1 Přehled zpracování tématu u vybraných českých učebnic chemie a biologie

V rámci hodnocení vybraných učebnic byla má pozornost zaměřena na zpracování dané problematiky kosterní a hladké svaloviny. Do hodnocení učebnic byly zařazeny jak vybrané učebnice chemie pro střední školu zabývající se biochemií, tak i učebnice biologie, konkrétně ty zabývající se biologií člověka.

#### 3.1.1 Chemie

Pro hodnocení byly vybrány tyto učebnice:

- Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl
- Chemie pro střední školy
- Přehled středoškolské chemie
- Biochemie pro studenty středních škol a všechny, které láká tajemství živé přírody
- Úvod do biochemie a molekulární biologie (nejen) pro gymnázia
- Chemie 2 (organická a biochemie) pro gymnázia.

#### **Biochemie pro studenty středních škol a všechny, které láká tajemství živé přírody (Vodrážka Z. 1998)**

Tato učebnice biochemie pro střední školu obsahuje kapitolu s názvem „Bílkoviny uskutečňující pohyb“, ve které autor popisuje svalové proteiny umožňující pohyb, zmiňuje zde aktin s myozinem, přičemž obou proteinům věnuje náležitou pozornost. U aktinu je popsána detailně stavba samotného aktinového vlákna včetně zavedení pojmů jako je sarkomera, tropomyozin a troponinový komplex. V rámci popisu myozinu je zmíněna jeho struktura včetně jeho uspořádání. Je uveden i princip mechanismu svalové činnosti s naznačením regulační funkce  $\text{Ca}^{2+}$  iontů při svalovém stahu kosterní svaloviny, avšak jakákoliv spojitost s hladkým svalem chybí. Z energetického hlediska je uvedeno pouze, že činnost probíhá za dodání energie ve formě ATP, což je z chemického hlediska nedostatečné. Text je však obecně psán srozumitelnou češtinou, i když některé odstavce svou pojmovou složitostí připomínají spíše vysokoškolská skripta než středoškolskou

učebnici biochemie. Autor se snažil text doplnit obrázky ilustrující uspořádání kontraktálního aparátu, avšak chybí popisky jednotlivých částí sarkomery (aktinové a myozinové vlákno, hlavičky myozinu, Z-linie, apod.), což může žákům komplikovat orientaci v pojmech [17].

## **Chemie 2 (organická a biochemie) pro gymnázia**

V rámci této učebnice je problematika kontraktálních proteinů zmíněna jen okrajově v kapitole „Funkce bílkovin“. V této kapitole je zmíněn pouze existenci proteinů umožňující vykonávat pohyb za dodání energie ve formě ATP, jehož významem v organismu a pohybu popisuje v kapitole „Energetické potřeby organismu“. V kapitole jsou zmíněny jen pro úplnost proteiny aktin, myozin, troponin a tropomyozin, bez jakéhokoliv popisu [18].

V ostatních výše zmíněných učebnicích středoškolské chemie jako je **Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl** [19], **Chemie pro střední školy** [20], **Přehled středoškolské chemie** [21] a **Úvod do biochemie a molekulární biologie (nejen) pro gymnázia** [22], se bohužel autoři problematice proteinů svalového aparátu vůbec nevěnují, a dokonce sval ani nezmiňují v rámci souvislostí s biologií člověka.

### **3.1.2 Biologie**

Pro hodnocení byly vybrány tyto učebnice biologie člověka pro střední školy:

- Biologie člověka, Kočárek, 2010
- Biologie člověka, Novotný, 2015

#### **Biologie člověka, Kočárek, 2010**

V učebnici Biologie člověka od Eduarda Kočárka z roku 2010 je popsána svalová tkáň jako základní stavební i funkční složka svalů, kde autor uvádí základní informace o jednotlivých typech svaloviny člověka, a to příčně pruhované kosterní svalstvo, příčně pruhované srdeční svalstvo a hladké svalstvo. Popis funkce jednotlivých skupin je doložen ilustračními obrázky histologických řezech svalovou tkání. Avšak až na molekulární úroveň se popis nedostává. V textu je uveden i zjednodušený nástin mechanismu svalové činnosti kosterního svalu s ilustračním obrázkem, avšak spojitost s hladkým svalem chybí. Z hlediska energetiky svalové činnosti je zde pouze uvedeno nepřesné konstatování, že se při štěpení ATP na ADP se uvolňuje chemická energie.

Chybí též rovnice hydrolýzy ATP a princip regulace svalové činnosti. Učebnice je však koncipována poutavou formou s uvedenými zajímavostmi poutající se k dané problematice, avšak v jistých momentech anatomického popisu stavby svalu je žák zahlcen vesměs lékařskými pojmy, které jsou spíše určeny ke komunikaci mezi odborníky, jako jsou endomysium, perimyzium a epimyzium [23].

### **Biologie člověka, Novotný, 2015**

V rámci učebnice Biologie člověka od Ivana Novotného z roku 2015 je velice hezky popsána stavba svalové tkáně kosterní a hladké svaloviny, přičemž není kladen velký důraz na zbytečné lékařské pojmy. Je zde zmíněn velice zjednodušený nástin svalového stahu kosterní svaloviny, ale opět bez spojitostí se stahem hladké svaloviny. Mechanismus svalového stahu je doplněn zjednodušeným ilustračním obrázkem, ve kterém však chybí popis jednotlivých komponent stahového aparátu. V textu je zmíněna, avšak trochu nepřesně regulační úloha  $\text{Ca}^{2+}$  iontů při svalovém stahu. V poznámce o rozšiřujícím učivu je uveden nástin energetického zásobení svalu, přičemž je uvedeno nepřesné konstatování, že chemická energie vzniká štěpením ATP. Dále je zde zcela nepřesně uvedená myokinázová reakce pouze jako „ $\text{ADP} \rightarrow \text{AMP} + \text{P}_i$ “ [24]. Avšak text je relativně čtivý a nezabíhá do velkých podrobností. Jako velký nedostatek učebnice by se dala označit její nebarevnost s dlouhými odstavci textu, ve kterých se ztrácí pozornost žáka [24].

## **3.2 Tvorba vlastních materiálů pro výuku**

Byly připraveny celkem tři studijním materiály, které se zaměřují na podporu výuky kosterního a hladkého svalu, které propojují biologii s chemií, přičemž se snaží vykládanou látku uvést do souvislostí. Při tvorbě materiálů jsem se snažil doplnit nedostatky v učebnicích a středoškolsky orientované literatuře na toto téma. Jako zdroj informací pro tvorbu samotných materiálů jsem použil středoškolské učebnice chemie a biologie, a hlavně vysokoškolské učebnice fyziologie a histologie doplněné o informace z odborných článků zabývajících se touto problematikou. Celkový souhrn použité literatury k tvorbě výukových materiálů je uveden níže (Tabulka 1).

Tabulka 1: Přehled literatury použité k tvorbě výukových materiálů.

BEZPEČNOSTNÍ LIST – Oxid dusnatý. <i>Bezpeč. List</i> , <b>2015</b> .
Kodíček, M. <i>Biochemické pojmy: výkladový slovník</i> ; Vyd. 1.; Vysoká škola chemicko-technologická v Praze: Praha, <b>2007</b> .
Kodíček, M. <i>Biochemie: chemický pohled na biologický svět</i> ; 2. přepracované vydání.; Vysoká škola chemicko-technologická v Praze: Praha, <b>2018</b> .
Sofrová, D. <i>Biochemie: základní kurz</i> ; Učební texty Univerzity Karlovy v Praze; 4. vydání.; Karolinum: Praha, <b>2005</b> .
Wikipedia. Calsequestrin. <i>Wikipedia</i> , <b>2022</b> .
Švihovec, J.; kolektiv. <i>Farmakologie</i> ; 1st ed.; Grada Publishing a.s.: Praha, <b>2018</b> .
Konrádová, V. <i>Funkční histologie</i> ; 2. vyd.; H & H: Jinočany, <b>2000</b> .
Wang, C.-L.A. Caldesmon and Smooth-Muscle Regulation. <i>Cell Biochem. Biophys.</i> , <b>2001</b> , 35, 275–288.
Máček, M. <i>Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity</i> ; Galén: Praha, <b>2011</b> .
Richard, R. <i>Fyziologie a patologická fyziologie pro klinickou praxi</i> ; 1st ed.; Grada Publishing, a. s.: Praha, <b>2015</b> .
Robert K. Murray; Bender, A.D.; Botham, M.K.; Kennelly, J.P. <i>Harperova Ilustrovaná Biochemie</i> ; 28; 5.; Nakladatelství Galén: Praha; Vol. <b>2012</b> .
Lüllmann-Rauch, R. <i>Histologie</i> ; 3rd ed.; Grada Publishing a.s.: Praha 7, <b>2012</b> .
Kupková, Z.; Beneš, L. <i>Chemické vlastnosti, biologické účinky a metody detekce biologického oxidu dusnatého</i> In: Proceedings of the Chemické listy; 3; Chemické listy: Brno, <b>2003</b> ; Vol. 98, pp. 116–122.
Valentová, K.; Entnerová, P.; Urbaníková, J.; Šimánek, V. <i>Chemie mužské sexuality</i> In: Proceedings of the Chemické listy; Chemické listy: Olomouc, <b>2004</b> ; Vol. 98, pp. 1119–1129.
Barker, C.J.; Illies, C.; Gaboardi, G.C.; Berggren, P.-O. Inositol Pyrophosphates: Structure, Enzymology and Function. <i>Cell. Mol. Life Sci.</i> , <b>2009</b> , 66, 3851.
Kittnar, O. <i>Lékařská fyziologie</i> ; 1st ed.; Grada Publishing, a. s.: Praha 7, <b>2011</b> .
Trojan, S.; Langmeier, M.; Kittnar, O. <i>Lékařská fyziologie</i> ; 4th ed.; Grada Publishing, a. s.: Praha, <b>2003</b> .
Vajner, L. <i>Lékařská histologie I.: cytologie a obecná histologie</i> ; Učební texty Univerzity Karlovy v Praze; 1. vyd.; Karolinum: Praha, <b>2010</b> .
Balko, J.; Tonar, Z.; Varga, I. <i>Memorix histologie</i> ; 2nd ed.; Stanislav Juhaňák - TRITON: Praha 10, <b>2017</b> .

Njus, D.; Knoth, J.; Zallakian, M. Proton-Linked Transport in Chromaffin Granules. <i>Curr. Top. Bioenerg.</i> , <b>1981</b> , <i>11</i> , 107–147.
Ganong, W.F. <i>Přehled lékařské fyziologie</i> ; 20. vyd., 1. v Galénu.; Galén: Praha, <b>2005</b> .
Grasgruber, P. <i>Sportovní geny</i> ; Vyd. 1.; Computer Press: Brno, <b>2008</b> .
Paul, R.J. Smooth Muscle Energetics. <i>Annu. Rev. Physiol.</i> , <b>1989</b> , <i>51</i> , 331–345.
Tidow, H.; Nissen, P. Structural Diversity of Calmodulin Binding to Its Target Sites. <i>FEBS J.</i> , <b>2013</b> , <i>280</i> , 5551–5565.
Hradec, J.; Bultas, J.; Želízko, M. Stabilní angina pectoris. Doporučený diagnostický a léčebný postup České kardiologické společnosti. <i>Cor Vasa</i> , <b>2010</b> , <i>52</i> , 543–561.
Aumailley, M. The Laminin Family. <i>Cell Adhes. Migr.</i> , <b>2013</b> , <i>7</i> , 48–55.
Vokurka, M. <i>Velký lékařský slovník</i> ; 10. aktualizované vydání.; Maxdorf: Praha, <b>2015</b> .

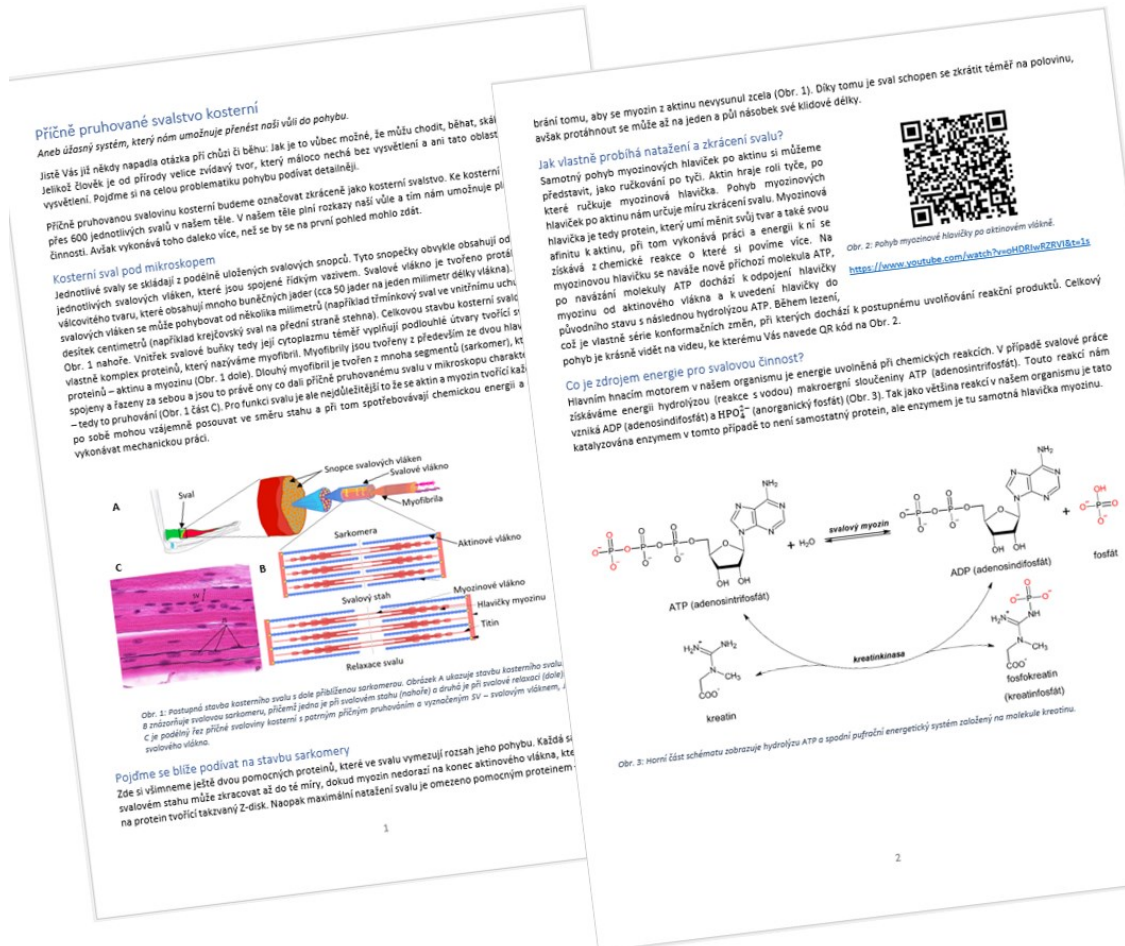
### 3.2.1 Uspořádání obsahu v materiálech

Materiály byly koncipovány jako doprovodné studijní materiály k výuce, přičemž byl kladen důraz na pochopení dané problematiky nikoliv na prosté učení se pojmům, které byly až na nezbytné v materiálu vynechány. Dalším důležitým faktorem při tvorbě materiálu byla jeho celková velikost, aby nebyl materiál příliš moc objemný pro žáky, a tedy náročný na čas a pozornost žáka.

#### Příčně pruhované svalstvo kosterní – žákovský materiál

Materiál se věnuje kosterní svalovině na 4 stránkách. Přičemž text je členěn do jednotlivých kapitol, které jsou doplněné zajímavostmi v postranních částech stránky a obrázky tak že na každé stránce textu je aspoň jeden. Většina obrázků byla vytvořena originálně právě pro účely ilustrování dějů popisovaných v tomto materiálu. V úvodní části je úvodní motivační text k problematice kosterního svalu, následuje kapitola zabývající se stavbou kosterního svalu až na molekulární úroveň tedy na přehled hlavních proteinů, které sval tvoří. Pokračuje se kapitolou zabývající se významem sarkomery a jejími mechanickými vlastnostmi, následuje kapitola věnovaná mechanismu svalového stahu, jenž je doplněn videem uvedeným na QR kódu vedle textu Obr. 1, jelikož video usnadní pochopení. Na tuto kapitolu navazuje pojednání o zdroji energie pro svalovou činnost, přičemž je dbáno na správné označení hydrolyza ATP, místo nepřesného označení „štěpení“. Jednotlivé reakce jsou doplněné strukturními vzorci. V předposlední

kapitole je nastíněno řízení kontrakce doplněné obrázkem ilustrujícím úlohu  $\text{Ca}^{2+}$  iontů s následnou svalovou relaxací. Poslední kapitolou je pojednání o bílých a červených svalových vláknech a vlivu na rychlost svalové kontrakce. Ukázky z materiálu jsou uvedeny níže na Obr. 1. Celý materiál pak je součástí přílohy 1.



Obr. 1: Ukázky vytvořených výukových materiálů ke kosternímu svalu pro žáky.

## Hladký sval – žákovský materiál

Hladkému svalu se materiál věnuje na 3 stránkách, text jsou doplněn obrázky a zajímavostmi. Materiál navazuje na materiál o kosterním svalu, jelikož hladký sval je mu v jistých ohledech velice podobný, proto je text koncipován jako navazující na kosterní sval a často obsahuje odkazy a srovnávání se svalem kosterním. Text začíná motivačním textem o hladkém svalu a jeho důležitosti pro náš život. První kapitolou je stavba hladké svaloviny pod mikroskopem, přičemž je doplněna obrázkem srovnávajícím tvar buněk hladké a kosterní svaloviny Obr. 2. Též je zmíněno rozdělení hladké svaloviny z hlediska řízení a předávání informací mezi jednotlivými buňkami s ilustračním obrázkem Obr. 2.

Následuje kapitola o proteinech podílejících se na svalovém stahu, která pokračuje mechanismem svalového stahu hladké svaloviny. V další kapitole je popsán rozdíl mezi mechanickými vlastnostmi hladkého a kosterního svalu. Navazuje na ni kapitola zabývající se cestami možného spřažení excitace se stažením svalu, kapitola je doplněná o ilustrační obrázky. Poslední dvě kapitoly se zabývají úlohou  $Ca^{2+}$  iontů ve svalů a svalovou relaxací. Materiál je součástí přílohy 2 tohoto dokumentu. Ukázky materiálů jsou níže na Obr. 2.

**Hladký sval**  
Aneb příčně pruhovaný svalem kosterním to ani zdaleka nekochi.

Jak již jistě víte, kosterní svalstvo není jediným druhem svalů v našem těle. Jsou tu je svalem toho mají hodně společného, ale v některých směrech funguje jinak. Pojdme bližší.

Hladké svalstvo v našem těle vykonává nespočet funkcí a naše tělo by bez něj nemohlo ve stěnách cév, orgánů trávicího systému (jícen, žaludek), oýchachio (průdušky, močová trubice, močový měchýř). Jeho velkou odlišností od kosterního svalstva ovladatelné, tedy ho nemůžeme vědomě řídit.

**Jak vlastně hladký sval vypadá pod mikroskopem?**  
Hladký sval je na rozdíl od kosterní svaloviny složen z menších buněk vřetenovitých. Hladký sval, na rozdíl od kosterní svaloviny, která jich v jedné dlouhé buňce obsahu Obr. 1 A.

Membrána svalové buňky obsahuje velké množství vchlípenin. Vchlípeniny si může membrána (Obr. 1 B). Zvrásnění zvětšuje povrch membrány, takže může obsahovat vchlípeniny urychlují přenos informací, jelikož nám prostorově přibližují receptor s míst

Jednotlivé svalové buňky jsou mezi sebou „vodivé“ spojeny pomocí spojení gap j. pohodlný přenos signálů (elektrických i molekulárních) mezi jednotlivými buňkami hie na Obr. 1 C.

Buňky, které jsou takto propojené mohou být inervované i jen jedním neuronem, buňce, ze které se pak pomocí spojení gap junction šíří dál do ostatních buněk. Sval s celý najednou. Příkladem jsou svaly dělohy a žaludku.

Avšak ne všechny buňky hladké svaloviny obsahují mezi sebou toto spojení. Buňky v hladkém svalů, které spojení gap junction neobsahují, pak musí být inervované individuálně pak musí být každá buňka napojená na nerv. Příkladem jsou ciliární svaly oka. Porovnání ukazuje (Obr. 2).

**Buňky se spojením gap junction**  
Nervové vlákno  
Jádru svalové buňky  
Spojení gap junction

**Buňky bez spojení gap junction**  
Nervové vlákno  
Jádru svalové buňky

**NEKONTRAHOVANÝ STAV**  
aktomyozinový komplex  
denzní tělísky

**KONTRAHOVANÝ STAV**  
denzní tělísky uchytené napříkád dvěře či šroubu

**Obr. 1:** A zobrazuje porovnaní stavby kosterní a hladké svaloviny. B zobrazuje vchlípeniny svalové buňky spojení dvou buněk pomocí gap junction.

**Obr. 2:** Porovnání buněk hladké svaloviny se spojením gap junction a bez něj.

**Obr. 3:** Denzní tělísky na kontrahované a nekontrahované (relaxované) buňce hladkého svalu.

**Angina pectoris** je forma ischemické choroby srdeční a projevuje se svíravými bolestmi na hrudi, často vystřelující do krku či levé horní končetiny. Toto onemocnění je způsobeno nedostatečným prokrvením srdečního svalu, které pak vede k nedostatečnému zásobení srdece kyslíkem následkem. Při těchto stavech se podává jako léčivo nitroglycerin, který hladké svaly cév uvolní a roztažené cévy pak také srdci dopraví více životodárného kyslíku.

**Jaké proteiny zajišťují stah hladké svaloviny?**  
V hladkém svalů podobné jako v kosterním, se nachází svalové proteiny aktin a myozin, které zajišťují stah svalu. Oba svalové proteiny jsou ke svalové buňce připevněny tzv. denzními tělísky k cytoskeletu svalové buňky. Funkci denzních tělísek si můžeme představit, tak že cytoskelet buňky je stabilní konstrukce domu, ke které jsou pomocí šroubu (denzních tělísek) uchytené napříkád dvěře či šroubu v klidu a ve stahu.

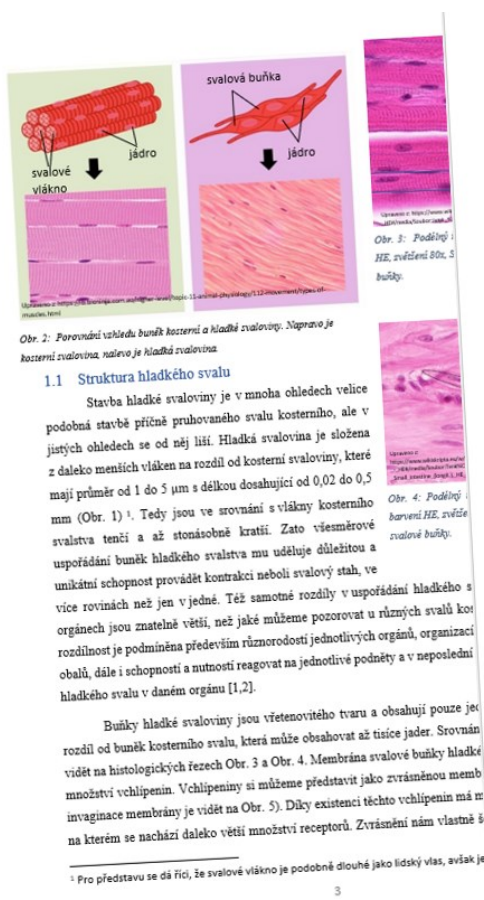
**Jak vlastně probíhá natažení a stažení hladkého svalu?**  
Podobně jako u kosterního svalu probíhá samotný pohyb myozinových hlaviček po aktinovém vlákně opět jako ručkování po tyči, kde aktin hraje roli tyče, po které ručkuje myozinová hlavička. Myozinová hlavička má opět afinitu k aktinovému vlákně a za dodání energie ve formě hydrolyzy molekuly ATP může změnit tvar, a tedy konat mechanickou práci.

**Jaké jsou pohybové odlišnosti od kosterního svalu?**  
Jak již bylo uvedeno výše, hladká svalovina užívá svalovinu některých našich orgánů a jak již bylo uvedeno výše, hladké svaloviny mnohem větší, což je dáno odlišnou prostorovou stavbou stahu je u hladké svaloviny mnohem větší, což je dáno odlišnou prostorovou stavbou stahového aparátu. Hladký sval totiž nemá Z-linie, které v kosterním svalů omezují rozsah možného stahu. Tato odlišnost má velice praktický význam, například našemu organismus to umožňuje omezit průtok krve v cévách na minimum, či ho dokonce v jistých momentech úplně zastavit, tento stav může navodit forma ischemické choroby srdeční zvaná jako angina pectoris.

Obr. 2: Ukázky vytvořených výukových materiálů k hladkému svalů pro žáky.

## Biochemie hladkého svalu – učitel'ský text

V rámci textu určeného pro učitele je problematika hladkého svalu zpracována na 18 stran, jelikož se jedná o doprovodný materiál k žákovskému, je zde velice podobná struktura členění kapitol, ovšem s větším počtem detailů a citace použitých pramenů. V textu se vyskytuje větší počet odborných pojmů, aby byl pedagog s danou problematikou obeznámen do větších detailů a souvislostí. Text je doplněn ilustračními obrázky a schémata jednotlivých pochodů. Ukázky z materiálu jsou uvedeny na Obr. 3. Materiál je součástí přílohy 3.



### 1.1 Struktura hladkého svalu

Stavba hladké svaloviny je v mnoha ohledech velice podobná stavbě příčně pruhovaného svalu kosterního, ale v jistých ohledech se od něj liší. Hladká svalovina je složena z daleko menších vláken na rozdíl od kosterní svaloviny, které mají průměr od 1 do 5  $\mu\text{m}$  s délkou dosahující od 0,02 do 0,5 mm (Obr. 1)<sup>1</sup>. Tedy jsou ve srovnání s vlákny kosterního svalstva tenčí a až stonásobně kratší. Zato všesměrové uspořádání buněk hladkého svalstva mu uděluje důležitou a unikátní schopnost provádět kontrakci neboli svalový stah, ve více rovinách než jen v jedné. Těch samotných rozdílů v uspořádání hladkého svalstva v orgánech jsou znatelně větší, než jaké můžeme pozorovat u různých svalů kosterní, protože podmíněna především různorodostí jednotlivých orgánů, organizací orgánů, dále i schopnosti a nutnosti reagovat na jednotlivé podněty a v neposlední řadě hladkého svalu v daném orgánu [1,2].

Buňky hladké svaloviny jsou většinou tvaru a obsahují pouze jedno jádro od buněk kosterního svalu, která může obsahovat až tisíce jader. Srovnání vidět na histologických řezech Obr. 3 a Obr. 4. Membrána svalové buňky hladké svaloviny jsou znatelně větší. Vchlípeniny si můžeme představit jako zvrásněnou membránu invaginace membrány je vidět na Obr. 5). Díky existenci těchto vchlípenin má membrána na kterém se nachází daleko větší množství receptorů. Zvrásnění nám vlastně š

<sup>1</sup> Pro představu se dá říci, že svalové vlákno je podobně dlouhé jako lidský vlas, avšak je

### 1.3.2 Mechanismus svalové kontrakce

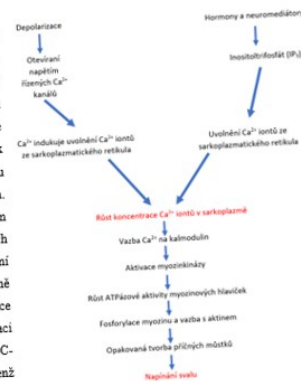
Po vstupu vápenatých iontů do sarkoplazmy svalové buňky, se vápenaté ionty naváží na bílkovinu kalmodulin, která má čtyři vazebná místa pro vápenaté kationty. Pokud jsou alespoň tři z nich obsazena, tak dochází ke konformační změně bílkoviny. Komplex kalmodulinu s vápníkem umožní vazbu vápníku na další regulační bílkovinu, a to na kaldesmon. Po navázání komplexu kalmodulinu s vápníkem na kaldesmon dochází k odhalení vazebných míst na aktinu, což umožňuje navázání myozinových hlaviček na aktin. Další neméně důležitá role kalmodulinu je aktivace či inhibice protein kináz. Jedná se například o aktivaci kinázy myozinového lehkého řetězce (MLC-kináza), která fosforyluje lehké řetězce, jenž přestávají inhibovat interakci myozin-F-aktin, což výrazně zvýší jejich ATPázovou aktivitu<sup>3</sup>.

Tím se odlišuje hladká svalovina od příčně pruhovaného svalu, kde je ATPázová aktivita stále stejně vysoká. ATPázová aktivita funguje jako regulátor rychlosti kontrakce. Fosforylace tedy spouští kontrakci. Hlavičky myozinu získávají schopnost se opakovaně připojovat na aktin a posouvat se po sobě („veslování myozinových hlaviček“). Další průběh mechanismu kontrakce je velice podobný mechanismu kontrakce příčně pruhované svaloviny kosterní, proto zde nebude znovu uveden (více v kap. Kontrakce příčně pruhované svaloviny kosterní). Výčet jednotlivých kroků, které vedou ke svalové kontrakci je uveden na Obr. 12 [2,9].

### 1.3.3 Ukončení kontrakce a svalová relaxace

Aby nastala svalová relaxace je třeba ze sarkoplazmy svalové buňky odčerpat  $\text{Ca}^{2+}$  ionty, podobně jako je tomu u svaloviny kosterní. Zpětnou resorpci  $\text{Ca}^{2+}$  iontů zpět do sarkoplazmatického retikula zajišťuje  $\text{Ca}^{2+}$  pumpa za spotřeby ATP, podobně jako je tomu u kosterní svaloviny. Avšak činnost pumpy je daleko pomalejší, než jak je tomu u kosterní svaloviny, což je jedním z důvodů, proč kontrakce přetrvává i několik dalších vteřin po ukončení stimulace. Zpětnému vstřebávání vápníku přicházejícího ze sarkoplazmy zpět do sarkoplazmatického retikula pomáhá například protein kalsekvestrin, který váže přicházející vápenaté ionty v sarkoplazmatickém retikulu. Po snížení hladiny

<sup>3</sup> ATPáza (adenosin trifosfatáza) je označení pro enzym, který katalyzuje hydrolyzu molekuly ATP na ADP a  $\text{P}_i$  [10].



Obr. 12: Nejdůležitější kroky svalové kontrakce hladké svaloviny.

Obr. 3: Ukázky vytvořené učitelského textu k hladkému svalu.

## Doplnění textů o zajímavosti a dodatečné informace

V případě žákovských textů jsou do hlavního textu zařazeny na určitých místech ještě vsuvky se zajímavostmi a doplňujícími informacemi, které se vztahují k tématu probíraného v textu. Konkrétně se vsuvky zabývají tématy:

- K čemu slouží myoglobin ve svalu?
- Jakou roli má v našem organismu NO?
- Má posilování smysl?
- Rigor mortis (posmrtná ztuhlost)
- Angina pectoris
- Hodně kyselý posel – inositoltrifosfát ( $\text{IP}_3$ ).

Ukázku použití vsuvek ukazuje Obr. 4 níže.



### Co se však děje, pokud nechceme běžet či skákat?

Ukončení svalové činnosti neboli svalová relaxace nastává, pokud již nepřichází nové podráždění z nervové soustavy, což vede k zastavení vypouštění  $\text{Ca}^{2+}$  iontů ze sarkoplazmatického retikula pomocí tzv.  $\text{Ca}^{2+}$  pump jsou odčerpávány zpět do sarkoplazmatického retikula pomocí tzv.  $\text{Ca}^{2+}$  iontů. Při poklesu koncentrace za spotřeby chemické energie ve formě hydrolyzy ATP. Při poklesu koncentrace  $\text{Ca}^{2+}$  iontů v cytoplazmě svalové buňky dochází k uvolnění navázaných  $\text{Ca}^{2+}$  iontů z troponinu a následně tvarové změně tropomyozinového komplexu, čímž dojde opět k zablokování vazebných míst na aktinovém vlákně. V odpojené myozinové hlavičce zůstane navázaná molekula ATP. Tento jev se označuje jako svalová relaxace, jelikož pokud je zakryté vazebné místo pro myozin, tak nemůže probíhat svalová práce.

### Co dělá některé sportovce rychlejší než jiné?

Možná jste se zamýšleli, co dělá některé sportovce rychlejšími? Odpověď se skrývá v rozdílné stavbě našich svalů. Máme dva typy svalových vláken, jeden typ vláken jsou tzv. červená (pomalejší) svalová vlákna, která jsou uzpůsobena pro rychlý pohyb, avšak jen po krátkou dobu. Jsou rychlá, jelikož mají velkou zásobu  $\text{Ca}^{2+}$  iontů, kterou mohou také rychle uvolnit. Mají ale pomalejší tvorbu ATP, v důsledku nižší koncentrace myoglobinu a nižšího počtu mitochondrií, tedy menší zásoby  $\text{O}_2$  méně hemoproteinů. Z těchto důvodů se jejich barva jeví jako světlá až bílá, proto doslyaly název bílá svalová vlákna. Lidé, kteří jich mají ve svalech více pak mohou mít výhodu například ve sprintu na 100 m.

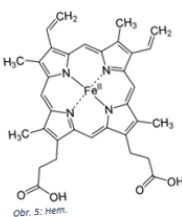
Další typ vláken jsou tzv. bílá (rychlá) svalová vlákna, která nám umožňují rychlé pohyby, avšak jen po krátkou dobu. Jsou rychlá, jelikož mají velkou zásobu  $\text{Ca}^{2+}$  iontů, kterou mohou také rychle uvolnit. Mají ale pomalejší tvorbu ATP, v důsledku nižší koncentrace myoglobinu a nižšího počtu mitochondrií, tedy menší zásoby  $\text{O}_2$  méně hemoproteinů. Z těchto důvodů se jejich barva jeví jako světlá až bílá, proto doslyaly název bílá svalová vlákna. Lidé, kteří jich mají ve svalech více pak mohou mít výhodu například ve sprintu na 100 m.

Oba typy vláken, se v každém svalu mohou vyskytovat v různých poměrech. Například ve svalech oka převažují bílá svalová vlákna, naopak červená svalová vlákna převažují ve stehenním svalu. Samotný poměr je dán geneticky, a lze jej částečně ovlivnit tréninkem.

**Rigor mortis** (posmrtná ztuhlost) je to stav, ke kterému dochází vlivem vyčerpání zásob ATP uvnitř svalu například v důsledku smrti organismu. Vypravené  $\text{Ca}^{2+}$  ionty nemohou být zpětně resorbovány zpět do sarkoplazmatického retikula a spojení aktinu s myozinem je kvůli absenci ATP trvalé. Na neobtěžování se to projeví výraznou svalovou ztuhlostí, která po éše v důsledku rozkladu myofilament ustupuje.

### K čemu slouží myoglobin ve svalu?

Myoglobin je protein, který společně s hemoglobinem patří mezi hemoproteiny obsahující hem s  $\text{Fe}^{2+}$ . Podobně jako hemoglobin má myoglobin schopnost navázat a uvolnit molekulu  $\text{O}_2$ , avšak na rozdíl od hemoglobinu, který se je spíše takový přepravník pro kyslík, tak myoglobin je takové pohotovostní skladisko  $\text{O}_2$ .



### stáhnout?

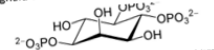
ení je zajišťováno čistě naší vůlí, tedy pomocí nervových signálů z našeho mozku, jinými mechanismy. Jak víme, hladká svalovina nepodléhá naší vůli jako svalstvo, jak činnost hladkého svalu řídit. Jednou z možností je vegetativní nervová soustava, která šíří naši nervovou soustavou až do místa napojení na svalovou membránu a otevření kanálů pro vápenaté ionty, které vstupují do svalové buňky. Další možností je dpořadí další uvolnění  $\text{Ca}^{2+}$  iontů ze sarkoplazmatického retikula. Další možností je otevření vazebných míst na membráně svalové buňky, spustí uvolnění tzv.  $\text{IP}_2$ , a ty pak otevřou vápníkové kanály v sarkoplazmatickém retikulu, což opět buňky a k zahájení svalového stahu. Obě možnosti jsou zobrazeny Obr. 5.

### řiny zastávají $\text{Ca}^{2+}$ ionty?

tele kontrakce u hladkého svalu, n, že v hladkém svalu je protein izen podobným proteinem – ropenin po navázání  $\text{Ca}^{2+}$  iontů á místa pro myozinové hlavičky

### Hodně kyselý posel – inositoltrifosfát ( $\text{IP}_3$ )

Inositoltrifosfát ( $\text{IP}_3$ ) je příkladem tzv. druhých posílů, což jsou chemické sloučeniny, které se podílejí na přenosu signálu v buňce.

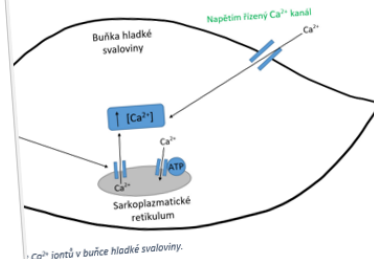


### e relaxovat?

liní či nervové podněty ke svalové avování  $\text{Ca}^{2+}$  iontů do cytoplazmy : nacházejí ve svalové buňce jsou > svalu odčerpány  $\text{Ca}^{2+}$  pumpami > je jejich koncentrace ale nižší než koncentračnímu gradientu vyžaduje > činnost je na rozdíl od kosterního ím z důvodů, proč u hladké svaloviny Při dostatečném poklesu koncentrace sí k uvolnění navázaných  $\text{Ca}^{2+}$  iontů kování vazebných míst na aktinovém íčky myozinu od aktinu, takže myozin ídkého svalu se natáhne a uvolní.

### Jakou roli má v našem organismu NO?

Oxid dusnatý NO funguje v těle jako malá signální molekula, která se účastní mnoha pochodů v lidském těle. Jedním z nich je samotná svalová relaxace hladké svaloviny. Díky této vlastnosti se používá v medicíně ve formě nitroglycerinu například při stavech jako je například angina pectoris.



Obr. 4: Ukázky použití vsuvek ve vytvořených výukových materiálech.

## 3.2.2 Zařazení materiálů do výuky

Žákovské materiály na hladký a kosterní sval je vhodné zařadit do výuky ve 3. ročníku čtyřletého gymnázia v předmětu biologie, v momentě, kdy je daná tematika řešena v rámci výuky, případně jako text na samostatné studium například v rámci distanční formy výuky. V hodinách chemie je možné zařadit daný materiál v hodinách biochemie, což odpovídá posledního ročníku, ve kterém je chemie povinná. Případně pak v rámci semináře, v němž se dotýká témat biochemie pohybu či molekulární biologie. V rámci sportovních gymnázií lze materiál s interpretací učitele nasadit do výuky již dříve v závislosti na využitelnosti v předmětech, ve kterých se řeší otázky fyziologie pohybu například v rámci předmětu Sportovní trénink [4].

Materiály jsou sestavené tak, že hladkému svalu by měl předcházet materiál ke kosternímu svalu, jelikož je v materiálu k hladkému svalu odkazováno na kosterní sval, což by bez předešle informace o kosterní svalovině mohlo být pro žáky matoucí.

Lze očekávat, že na řádné prostudování materiálu je třeba žákům nechat, alespoň 25 minut pro kosterní sval a pro hladký sval 20 minut.

Materiál může být také použit v rámci asynchronní distanční výuky v případě obnovení karantény či nutnosti přejít do online režimu výuky, nebo při výuce pomocí tzv. obrácené třídy, kdy žáci dostanou texty nejprve k domácímu prostudování a ve škole mohou na dané téma diskutovat či navázat s prohlubujícími detaily.

Učitelství text pro hladký sval je koncipován tak, aby si jej pedagog prostudoval před nasazením žakovského textu do samotné výuky. Popř. může sloužit k prohloubení znalostí např. pro motivované žáky semináře apod.

### **3.2.3 Minimální znalostní požadavky pro nasazení materiálů do výuky**

Aby bylo možné nasadit materiál do výuky bez větších komplikací jsou nutné, aby žáci byli obeznámeni s pojmy:

- Makroergní sloučeniny (ATP, ADP)
- Nukleotid fosfáty (AMP, GTP)
- Chemické rovnice v organické chemii
- Enzym
- Afinita enzymu k substrátu a ligandu
- Hydrolýza
- Fosforylace
- Základní energetický metabolismus sacharidy (Glykolýza)
- Stavba eukaryotní buňky

## 4 DISKUSE

Ačkoliv je v dnešní snaha podporovat a motivovat populaci k aktivním trávení volného času, tak v hodinách chemie a biologie se této problematice nevěnuje mnoho času, proto předpokládám a doufám, že vytvořené materiály pomohou usnadnit pochopení důležitosti pohybu v našem životě skrze porozumění mechanismu jeho činnosti a budou motivovat žáky nejen k pohybu i v rámci volného času.

Na základě uvedené analýzy RVP G a RVP GSP bylo zjištěno, že problematika svalové činnosti je jmenovitě uvedena v rámci výuky biologie, avšak často se daná problematika v rámci biologie probírá pouze okrajově a popisně, tedy žáci se pouze naučí řadu pojmů například aktin, myozin, A-proužek, Z-disk, aj., avšak jež bez propojení s mechanismem jejich činnosti to vede pouze k memorování odborných pojmů bez pochopení jejich významu a souvislostí. Výklad se ještě často omezuje pouze na kosterní sval s nástinem mechanismu svalové kontrakce, avšak problematika hladkého svalu se omezuje jen na popis stavby a příkladů hladkých svalů v lidském těle.

Měl jsem příležitost rozhovoru s učitelem chemie a biologie na Gymnáziu, Praha 6, Arabská 14, jakým způsobem on konkrétně přistupuje k výuce dané problematiky. Z rozhoru vyplynulo, že se často k samotnému výkladu molekulárně-chemické podstaty svalové kontrakce se zaměřením na funkci  $\text{Ca}^{2+}$  iontů přistupuje až v rámci volitelných seminářů v posledních ročnících studia, kde se již žáci profilují podle svých budoucích preferencí. Přičemž on se konkrétně se detaily svalové kontrakce kosterní svaloviny zabývá v semináři s názvem Molekulární biologie a genetika, který je právě určený pro žáky 4. ročníku. Jako hlavní výukové materiály dotazovaný pedagog používá vlastní prezentace, které si vytvořil ze zdrojů dostupných volně na internetu.

Na sportovních gymnáziích je však situace trochu rozdílnější, jelikož se v rámci většího zaměření na sportovní problematiku více zaměřují na svaly jako takové. Například z rozboru RVP GSP a konkrétního ŠVP Sportovního gymnázia, Kladno, Plzeňská 3103, kde se touto problematikou zabývají v předmětu Sportovní trénink, předpokládám, že toto se patrně týká i jiných sportovních gymnázií, kde tuto problematiku probírají v obdobných předmětech jako na Sportovním gymnáziu, Kladno, Plzeňská 3103.

Ve vytvořených výukových materiálech je kosterní sval zpracován na menším stránkovém rozsahu než je to běžné například v pracích [14–16] avšak toto by záměr a

považuji to spíše za výhodu, jelikož to umožňuje učitelům podat téma žákům v nejkratším možném čase. Na rozdíl od rozsahu, v jakém je zpracované téma v českých učebnicích je ve vytvořených materiálech text podán ve větším a ucelenějším rozsahu. Z hlediska výkladu problematiky hladkého svalstva, kterému se detailně ve své práci věnuje Benešová, je ve vytvořených výukových materiálech učivo sepsáno ve zkrácené a zjednodušené podobě, aby bylo pro žáka střední školy lépe pochopitelné, přičemž materiál na rozdíl od práce Benešové obsahuje doprovodné ilustrace, které se snaží udělat z abstraktního výkladu konkrétní, a tedy pro žáka učivo uchopitelnější.

V učebnicích je grafický doprovod většinou barevně chudý až černobílý a zdaleka ne všechny popisované děje tam jsou doplněny ilustracemi a přesto, že se jedná o učebnice chemie nejsou tam často popsány ani všechny chemické děje ve svalu například často chybí reakce ADP s fosfokreatinem, v některých dokonce nebyla správně popsána ani hydrolýza ATP, ta je v učebnicích často nepřesně označována jako „štěpení“, čemuž se snaží vytvořené materiály vyhnout, a proto v nich jsou reakce popsány chemickými rovnicemi se strukturními vzorci reagujících látek a proces je nazýván správně hydrolýza. V závěrečných pracích je grafická stránka opět chudší s převažujícím textem, přičemž výklad chemických dějů je vesměs spíše slovní.

Věřím, že žáci ocení, že většina popisovaných procesů, dějů a morfologických záležitostí je v rámci vytvořených materiálů skoro vždy doplněna ilustracemi, popřípadě odkazem na animaci svalové činnosti kosterního svalu. Důležitost vizualizace ve výuce při procesu učení popsal Jan Amos Komenský (1592-1670), který tvrdil, že žák se novým pojmům nejlépe naučí, pokud má možnost si je spojit s konkrétním obrazem [25].

Materiály obsahují i redukované množství odborné terminologie, což by pravděpodobně mělo mít vliv na lepší osvojení si daného učiva, jelikož přílišné množství odborných termínů činí pro žáka text pocitově náročnější a nesrozumitelný.

Bohužel z časových důvodů bohužel nebylo možné materiál otestovat v rámci výuky. Nicméně texty budou zveřejněny na webu [studiumchemie.cz](http://studiumchemie.cz) s poznámkou žádající učitele o zpětnou vazbu při jeho použití.

## 5 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo připravit didaktické materiály zaměřené na vybraná témata středoškolské biochemie se zdůrazněním přesahu k tématu Člověk a zdraví se zaměřením na problematiku biochemie kosterní a hladké svaloviny a také provést rozbor zpracování problematiky ve stávajících studijních textech.

V rámci rozboru vybraných učebnic chemie a biologie je patrné, že ve vybraných učebnicích středoškolské chemie zabývajících se problematikou biochemie se pouze dvě z nich zmiňují o biochemii svalového aparátu. Bohužel obě učebnice postrádaly vhodné ilustrace a ucelené vysvětlení základních principů a chemicky správné termíny.

Z hlediska rozboru dvou vybraných učebnic biologie člověka vyšlo najevo, že učebnice se kosterním (okrajově hladkým) svalem zabývají spíše z anatomického popisu, přičemž popis často obsahuje až přílišný počet odborných až lékařských pojmů. Načeš se učebnice pokouší popsat energetické krytí pro svalovou činnost pomocí chemických rovnic, ve kterých se však bohužel nacházejí nepřesnosti a chyby.

Dalším velkým mínusem učebnic je jejich nebarevnost a nedostatečná grafická stránka. K podobným závěrům obecně dospěla ve své práci i Kudrnová [13].

Kromě učebnic byl také proveden rozbor tří vybraných závěrečných prací zabývajících se podobnou problematikou, avšak texty svou náročností nejsou ideálním studijním materiálem pro žáky střední školy.

V rámci průzkumu materiálů volně dostupných na internetu, nebyly v češtině nalezeny žádné komplexní materiály vhodné pro žáky střední školy, vesměs se jednalo výukové texty pro studenty vysokých škol lékařského zaměření, které nejsou z hlediska textové a odborné náročnosti příliš vhodné pro žáky střední školy.

Na základě uceleného rozboru nedostatků v dostupných zdrojích a vybraných středoškolských učebnicích chemie a biologie je možné říct, že tyto materiály ve výuce chybí. Proto byly vytvořeny celkem 3 studijních materiály, kde dva texty určené pro žáky na téma kosterní sval, hladký sval, byly doplněny textem pro učitele zpracovávající detailněji hladký sval. Celkový rozsah vytvořených materiálů činí 26 stran. Materiály danou problematiku předkládají aktuální informace formou vhodnou pro žáky. Text v materiálech je doplněn ilustračními obrázky a odkazem na video, které mají za úkol

vytvořit reálnou představu o přibližném tvaru a funkci jednotlivých svalových bílkovin při svalové činnosti, jejichž služeb využíváme každý den po celý náš život.

Z hlediska časové náročnosti textu se v případě kosterního svalu jedná o cca 25 minut na řádné přečtení textu a z hlediska žákovského materiálu na hladký sval o asi 20 minut. Materiál je vhodné nasadit v rámci hodin biologie člověka ve 3. ročníku a v seminářích s molekulárně-biochemickou tematikou.

## 6 CITOVANÁ LITERATURA

- [1] Gába, A.; Baďura, P.; Dygrýn, J.; Hamřík, Z. *Národní zpráva o pohybové aktivitě českých dětí a mládeže 2022*; Univerzita Palackého v Olomouci: Olomouc, **2022**.
- [2] Balada, J.; Baladová, G.; Boněk, J. *Rámcový vzdělávací program pro gymnázia RVP G*, **2021**.
- [3] Fryč, J.; Matušková, Z.; Katzová, P. *Strategie vzdělávací politiky České republiky do roku 2030+*; Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy: Praha 1, **2020**.
- [4] Balada, J.; Baladová, B.; Boněk, J. *Rámcový Vzdělávací Program pro Gymnázia Se Sportovní Přípravou*, **2007**.
- [5] Seznam fakultních škol. <https://www.natur.cuni.cz/fakulta/o-fakulte/fakultni-skoly/seznam-fakultnich-skol> (Accessed May 1, **2022**).
- [6] Gymnázium Botičská. *Společně s přírodou – školní vzdělávací program (ŠVP)*. <http://www.gybot.cz/rubrika/131-O-skole-Skolni-vzdelavaci-program/index.htm>.
- [7] Tomášková, L. ŠVP GJK „Per aspera ad astra!“. <https://sites.google.com/a/gjk.cz/svp/5-osnovy>.
- [8] Nekužová, M. *Školní vzdělávací program: KALOKAGHATIA - rozvoj ducha a těla*, **2007**.
- [9] Knecht, P. *Učebnice z pohledu pedagogického výzkumu*; Pedagogický výzkum v teorii a praxi ; sv. 11; Paido: Brno, **2008**.
- [10] Průcha, J. *Učebnice: teorie a analýzy edukačního média příručka pro studenty, učitele, autory učebnic a výzkumné pracovníky*; Edice pedagogické literatury; Paido: Brno, **1998**.
- [11] 561/2004 Sb. Školský zákon. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-561> (Accessed May 2, **2022**).
- [12] Klečka, M. *Teorie a praxe tvorby učebnic chemie pro střední školy Theory and use of creating chemistry textbooks for secondary schools*. Disertační práce, Univerzita Karlova v Praze Přírodovědecká fakulta: Praha, **2011**.
- [13] Kudrnová, T. *Bílkoviny v učivu chemie na základních a středních školách*. Bakalářská práce, Univerzita Karlova v Praze Přírodovědecká fakulta: Praha, **2008**.
- [14] Kundratová, M.M. *VÝUKA KOSTERNĚ-SVALOVÉ SOUSTAVY NA STŘEDNÍCH ŠKOLÁCH*. Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze Pedagogická fakulta: Praha, **2014**.
- [15] Mezuliániková, D. *Tvorba a ověření didaktických materiálů k tématu podpůrné prostředky ve sportu a jejich působení na lidský organismus*. Diplomová práce, Univerzita Karlova Přírodovědecká fakulta: Praha, **2018**.
- [16] Benešová, E. *Stručný přehled bílkovin kosterního svalu*. Bakalářská práce, NIVERZITA KARLOVA V PRAZE FARMACEUTICKÁ FAKULTA V HRADCI KRÁLOVÉ: Hradec Králové, **2014**.
- [17] Vodrážka, Z. *Biochemie: pro studenty středních škol a všechny, které láká tajemství živé přírody*; Scientia: Praha, **1998**.
- [18] Kolář, K. *Chemie (organická a biochemie) pro gymnázia*. 2; 1. vyd.; SPN - pedagogické nakladatelství: Praha, **1997**.
- [19] Mareček, A. *Chemie pro čtyřletá gymnázia*. 3. díl; Vyd. 1.; Nakladatelství Olomouc: Olomouc, **2000**.
- [20] Banýr, J. *Chemie pro střední školy: obecná, anorganická, organická, analytická, biochemie*; 2. vyd.; SPN - pedagogické nakladatelství: Praha, **2001**.
- [21] Vacík, J. *Přehled středoškolské chemie*; 4. vyd., v SPN-pedagogickém nakladatelství 2. vyd.; SPN - pedagogické nakladatelství: Praha, **1999**.

- [22] Jelínek, J. *Úvod do biochemie a molekulární biologie (nejen) pro gymnázia*; Vydání první.; Computer Media: Prostějov, **2021**.
- [23] Kočárek, E. *Biologie člověka*; Biologie pro gymnázia; 1. vydání.; Scientia: Praha, **2010**.
- [24] Novotný, I. *Biologie člověka*; 5., rozšířené a upravené vydání.; Fortuna: Praha, **2015**.
- [25] BALLSTAEDT, S.-P. *Visualisieren: Bilder in wissenschaftlichen Texten*; 1st ed.; Huter & Roth KG: Wein, **2012**.
- [26] Kittnar, O. *Lékařská fyziologie*; 1st ed.; Grada Publishing, a. s.: Praha 7, **2011**.
- [27] Richard, R. *Fyziologie a patologická fyziologie pro klinickou praxi*; 1st ed.; Grada Publishing, a. s.: Praha, **2015**.
- [28] Konrádová, V. *Funkční histologie*; 2. vyd.; H & H: Jinočany, **2000**.
- [29] Balko, J.; Tonar, Z.; Varga, I. *Memorix histologie*; 2nd ed.; Stanislav Juhaňák - TRITON: Praha 10, **2017**.
- [30] Lüllmann-Rauch, R. *Histologie*; 3rd ed.; Grada Publishing a.s.: Praha 7, **2012**.
- [31] Robert K. Murray; Bender, A.D.; Botham, M.K.; Kennelly, J.P. *Harperova Ilustrovaná Biochemie*; 28; 5.; Nakladatelství Galén: Praha; Vol. 2012.
- [32] Švihovec, J.; kolektiv. *Farmakologie*; 1st ed.; Grada Publishing a.s.: Praha, **2018**.
- [33] Tidow, H.; Nissen, P. Structural Diversity of Calmodulin Binding to Its Target Sites. *FEBS J.*, **2013**, *280*, 5551–5565.
- [34] Wang, C.-L.A. Caldesmon and Smooth-Muscle Regulation. *Cell Biochem. Biophys.*, **2001**, *35*, 275–288.
- [35] Wikipedia. Calsequestrin. *Wikipedia*, **2022**.
- [36] Vácha, M. Srovnávací fyziologie živočichů | Přírodovědecká fakulta. [https://is.muni.cz/do/sci/UEBBiol/um/sfz/ch08\\_s04.html?lang=en](https://is.muni.cz/do/sci/UEBBiol/um/sfz/ch08_s04.html?lang=en) (Accessed Mar 27, **2022**).
- [37] BEZPEČNOSTNÍ LIST - Oxid dusnatý. *Bezpeč. List*, **2015**.
- [38] Kupková, Z.; Beneš, L. *Chemické vlastnosti, biologické účinky a metody detekce biologického oxidu dusnatého* In: Proceedings of the Chemické listy; 3; Chemické listy: Brno, **2003**; Vol. 98, pp. 116–122.
- [39] Hradec, J.; Bultas, J.; Želízko, M. Stabilní angina pectoris. Doporučený diagnostický a léčebný postup České kardiologické společnosti. *Cor Vasa*, **2010**, *52*, 543–561.
- [40] Trojan, S.; Langmeier, M.; Kittnar, O. *Lékařská fyziologie*; 4th ed.; Grada Publishing, a. s.: Praha, **2003**.



## **7 SEZNAM PŘÍLOH**

PŘÍLOHA 1: Příčně pruhované svalstvo kosterní – žákovský materiál

PŘÍLOHA 2: Hladký sval – žákovský materiál

PŘÍLOHA 3: Biochemie hladkého svalu – učitelský text

## **Příloha 1**

Příčně pruhované svalstvo kosterní – žákovský materiál

## Příčně pruhované svalstvo kosterní

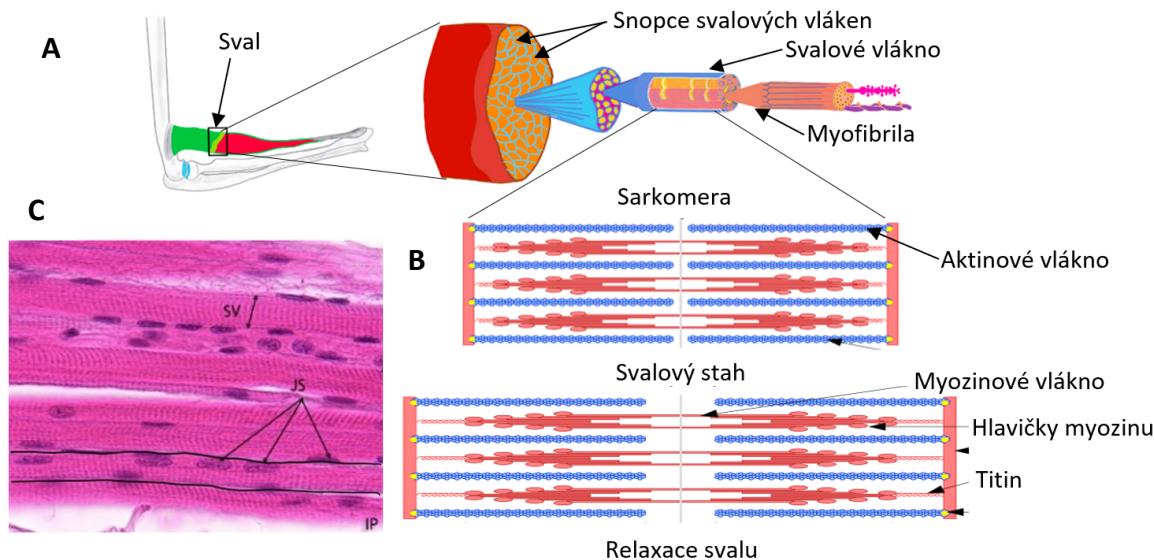
*Aneb úžasný systém, který nám umožňuje přenést naši vůli do pohybu.*

Jistě Vás již někdy napadla otázka při chůzi či běhu: Jak je to vůbec možné, že můžu chodit, běhat, skákat a hýbat se? Jelikož člověk je od přírody velice zvědavý tvor, který máloco nechá bez vysvětlení, a tak ani tato oblast nezůstala bez vysvětlení. Pojdme si na celou problematiku pohybu podívat detailněji.

Příčně pruhovanou svalovinu kosterní budeme označovat zkráceně jako kosterní svalstvo. Ke kosterní svalovině patří přes 600 jednotlivých svalů v našem těle. V našem těle plní rozkazy naší vůle a tím nám umožňuje plnit každodenní činnosti. Avšak vykonává toho daleko více, než by se na první pohled mohlo zdát.

### Kosterní sval pod mikroskopem

Jednotlivé svaly se skládají z podélně uložených svalových snopců. Tyto snopečky obvykle obsahují od 10 až po 1000 jednotlivých svalových vláken, které jsou spojené řídkým vazivem. Svalové vlákno je tvořeno protáhlými buňkami válcovitého tvaru, které obsahují mnoho buněčných jader (cca 50 jader na jeden milimetr délky vlákna). Samotná délka svalových vláken se může pohybovat od několika milimetrů (například třmínkový sval ve vnitřnímu uchu) až po několik desítek centimetrů (například krejčovský sval na přední straně stehna). Celkovou stavbu kosterní svaloviny zobrazuje Obr. 5 nahoře. Vnitřek svalové buňky tedy její cytoplazmu téměř vyplňují podlouhlé útvary tvořící svalovinu což je vlastně komplex proteinů, který nazýváme myofibril. Myofibrily jsou tvořeny z především ze dvou hlavních svalových proteinů – aktinu a myozinu (Obr. 5 dole). Dlouhý myofibril je tvořen z mnoha segmentů (sarkomer), které jsou pevně spojeny a řazeny za sebou a jsou to právě ony co dali příčně pruhovanému svalů v mikroskopu charakteristický vzhled – tedy to pruhování (Obr. 5 část C). Pro funkci svalů je, ale nejdůležitější to že se aktin a myozin tvořící každou sarkomeru po sobě mohou vzájemně posouvat ve směru stahu a při tom spotřebovávají chemickou energii a díky ní mohou vykonávat mechanickou práci.



Obr. 5: Postupná stavba kosterního svalu s dole přiblíženou sarkomerou. Obrázek A ukazuje stavbu kosterního svalu. Obrázek B znázorňuje svalovou sarkomeru, přičemž jedna je při svalovém stahu (nahoře) a druhá je při svalové relaxaci (dole). Obrázek C je podélný řez příčně svaloviny kosterní s patrným příčným pruhováním a vyznačeným SV – svalovým vláknem, JS – jádra svalového vlákna.

### Pojďme se blíže podívat na stavbu sarkomery

Zde si všimneme ještě dvou pomocných proteinů, které ve svalů vymezují rozsah jeho pohybu. Každá sarkolema se při svalovém stahu může zkracovat až do té míry, dokud myozin nedorazí na konec aktinového vlákna, které je uchycené na protein tvořící takzvaný Z-disk. Naopak maximální natažení svalů je omezeno pomocným proteinem – titinem, který

brání tomu, aby se myozin z aktinu nevysunul zcela (Obr. 5). Díky tomu je sval schopen se zkrátit téměř na polovinu, avšak protáhnout se může až na jeden a půl násobek své klidové délky.

### Jak vlastně probíhá natažení a zkrácení svalu?

Samotný pohyb myozinových hlaviček po aktinu si můžeme představit, jako ručkování po tyči. Aktin hraje roli tyče, po které ručkuje myozinová hlavička. Pohyb myozinových hlaviček po aktinu nám určuje míru zkrácení svalu. Myozinová hlavička je tedy protein, který umí měnit svůj tvar a také svou afinitu k aktinu, při tom vykonává práci a energii k ní se získává z chemické reakce o které si povíme více. Na myozinovou hlavičku se naváže nově příchozí molekula ATP, po navázání molekuly ATP dochází k odpojení hlavičky myozinu od aktinového vlákna a k uvedení hlavičky do původního stavu s následnou hydrolýzou ATP. Během lezení, což je vlastně série konformačních změn, při kterých dochází k postupnému uvolňování reakčních produktů. Celkový pohyb je krásně vidět na videu, ke kterému Vás navede QR kód na Obr. 6.

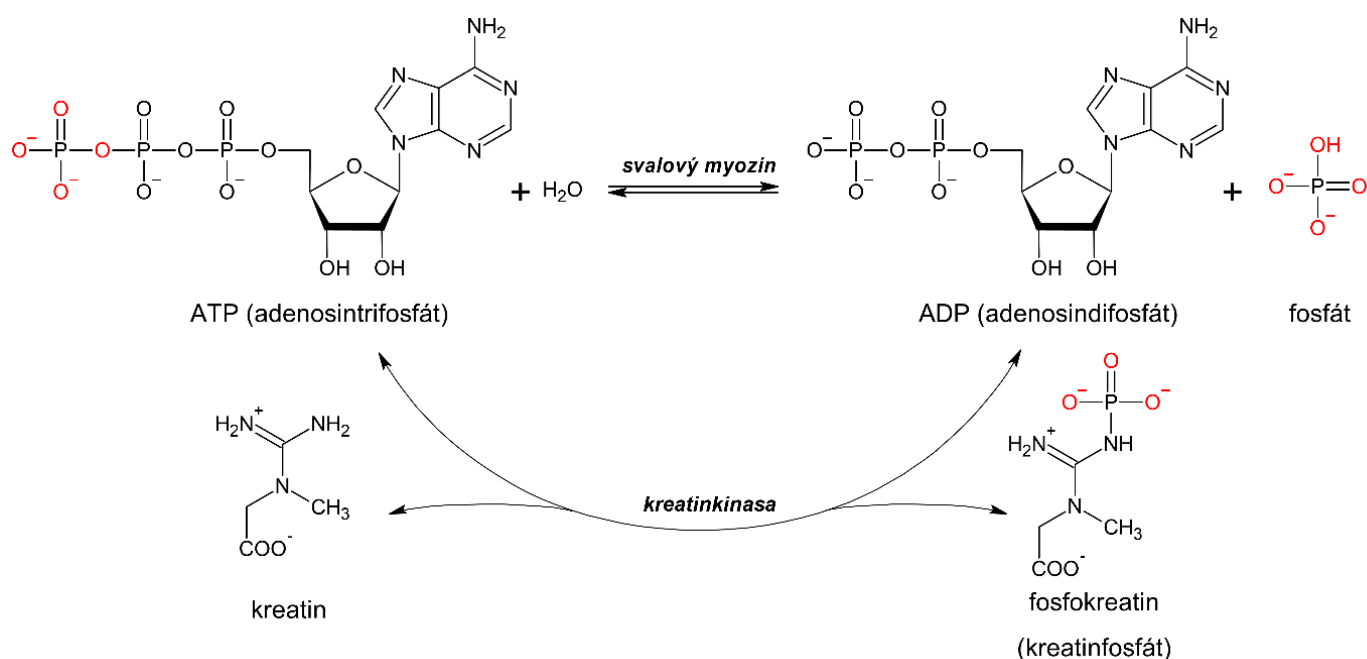


Obr. 6: Pohyb myozinové hlavičky po aktinovém vlákně.

<https://www.youtube.com/watch?v=oHDRIwRZRVI&t=1s>

### Co je zdrojem energie pro svalovou činnost?

Hlavním hnacím motorem v našem organismu je energie uvolněná při chemických reakcích. V případě svalové práce získáváme energii hydrolýzou (reakce s vodou) makroergní sloučeniny ATP (adenosintrifosfát). Touto reakcí nám vzniká ADP (adenosindifosfát) a  $\text{HPO}_4^{2-}$  (anorganický fosfát) (Obr. 7). Tak jako většina reakcí v našem organismu je tato katalyzována enzymem, v tomto případě to není samostatný protein, ale enzymem je tu samotná hlavička myozinu.

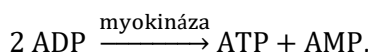


Obr. 7: Horní část schématu zobrazuje hydrolýzu ATP a spodní pufrací energetický systém založený na molekule kreatinu.

Kde se však ATP ve svalu bere?

Bez ATP sval nemůže pracovat, protože to je jediný substrát, který myozin dokáže využít. Pro jeho kontinuální práci tedy potřebuje stálý přísun ATP.

1. ATP se vyskytuje volně ve svalu, avšak koncentrace takto vyskytujícího se ATP ve svalu je nízká a pro samotný svalový stah vystačí jen na několik málo sekund.
2. Naštěstí se může ATP rychle regenerovat jednoduchou reakcí s jinou makroergní sloučeninou fosfokreatinem. V případě potřeby je možné rychlou a jedнокrokovou reakcí z kreatinfosfátu a ADP získat opět molekulu ATP dle reakce (Obr. 7), která je katalyzována enzymem kreatinkinázou.
3. Dalším zdroje ATP může být také reakční produkt svalové práce, tedy ADP, které je samo o sobě makroergní sloučeninou a může fosforylovat samo sebe za vzniku jednoho ATP, dle reakce:



molekula AMP (adenosinmonofosfát) je velice důležitým produktem, jelikož je to účinný stimulátor glykolýzy. s

4. Dalším, ale již pomalejším zdrojem ATP je glykolýza, ve které je výchozí látkou molekula glukózy. Molekula glukózy se nejprve získává ve volné formě z krve. Následně se získává ze svalového a jaterního glykogenu.

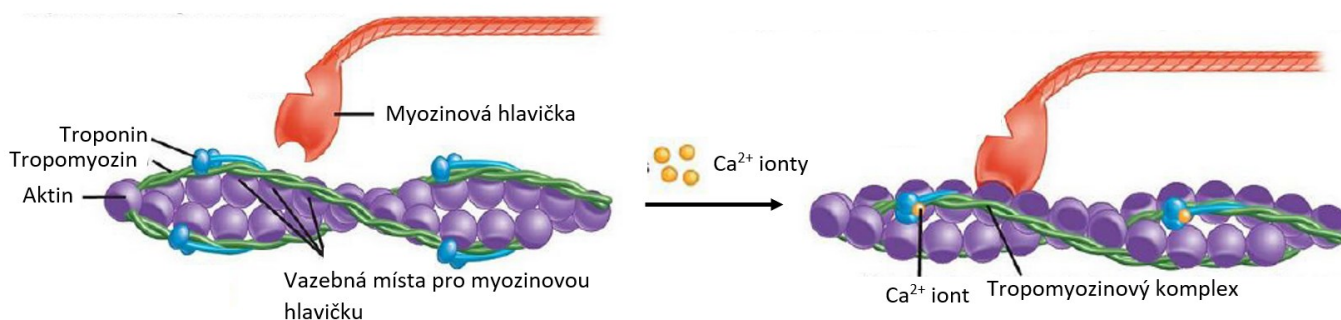
Po ukončení pohybové aktivity jsou zásobní systémy ATP ve svalu doplněny pomocí oxidativní fosforylace a odbourávány odpadní metabolity, které vznikly při svalové činnosti. Vysoká hladina ATP zvrátí reakci kreatinkinázy, která začne regenerovat fosfokreatin a sval je tak připraven na další výkon.

### Jak sval pozná, kdy se má stáhnout?

Co se děje ve chvíli, kdy mozek vyšle signál svalu ke svalovému stahu? Přenos této informace je zajištěn naší nervovou soustavou. Každý sval je napojený na nerv. Vzruch se šíří nervovou soustavou až do místa, kde se nerv dotýká svalové buňky. Zde způsobí depolarizaci membrány sarkoplazmatického retikula, což je takové skladiště  $\text{Ca}^{2+}$  iontů a ty se uvolní cytoplazmy svalové buňky. Funkci  $\text{Ca}^{2+}$  iontů si můžeme představit, jako informaci od pana učitele či paní učitelky, zda můžeme či nesmíme šplhat po tyči či laně. Na koncentraci  $\text{Ca}^{2+}$  iontů reaguje svalový protein troponin, který je součástí většího proteinového komplexu zvaného tropomyozinový. Po navázání vápníku dojde ke změně tvaru tropomyozinu a to teprve umožní, aby se myozin zachytil na aktinu a mohl po něm začít šplhat (Obr. 8).

### Má posilování smysl?

Pokud provádíme **namáhavý pohyb či posilovací trénink**, tak ve svalu dochází k tvorbě malých trhlinek, což může vést k bolesti svalů druhý den. Tyto trhlinky jsou nalezeny a vyspraveny tzv. satelitními kmenovými buňkami, které trhlinu zacelí a přidají o něco více materiálu, což vede ke zvětšení objemu svalových buněk (svalové hypertrofii).



Obr. 8: Tropomyozinový komplex překrývající vazebná místa pro myozinovou hlavičku na aktinu (A), následná změna tvaru tropomyozinového komplexu po navázání  $\text{Ca}^{2+}$  iontů (B).

## Co se však děje, pokud nechceme běžet či skákat?

Ukončení svalové činnosti neboli svalová relaxace nastává, pokud již nepřichází nové podráždění z nervové soustavy, což vede k zastavení vyplavování  $\text{Ca}^{2+}$  iontů ze sarkoplazmatického retikula. Již vyplavené  $\text{Ca}^{2+}$  ionty v sarkoplasmě jsou odčerpávány zpět do sarkoplazmatického retikula pomocí tzv.  $\text{Ca}^{2+}$  pump za spotřeby chemické energie ve formě hydrolýzy ATP. Při poklesu koncentrace  $\text{Ca}^{2+}$  iontů v cytoplasmě svalové buňky dochází k uvolnění navázaných  $\text{Ca}^{2+}$  iontů z troponinu a následné tvarové změně tropomyozinového komplexu, čímž dojde opět k zablokování vazebných míst na aktinovém vlákne. V odpojené myozinové hlavičce zůstane navázaná molekula ATP. Tento jev se označuje jako svalová relaxace, jelikož pokud je zakryté vazebné místo pro myozin, tak nemůže probíhat svalová práce.

## Co dělá některé sportovce rychlejší než jiné?

Možná jste se zamýšleli, co dělá některé sportovce rychlejšími? Odpověď se skrývá v rozdílné stavbě našich svalů. Máme dva typy svalových vláken, jeden typ vláken jsou tzv. červená (pomalá) svalová vlákna, která jsou uzpůsobena pro co nejeftivnější tvorbu ATP. Proto mají hodně mitochondrií a také myoglobinu, který pro mitochondrie skladuje  $\text{O}_2$ . Přitom obojí mají vysoký obsah „krevního“ barviva hemu, kterým jim uděluje červenohnědou barvu. Tyto vlákna nám umožňují vykonávat dlouhé svalově náročné činnosti například běh na 10 km, pokud tedy naše plíce a srdce zvládne po tu dobu dodávat svalům dostatek  $\text{O}_2$ .

Další typ vláken jsou tzv. bílá (rychlá) svalová vlákna, která nám umožňují rychlé pohyby, avšak jen po krátkou dobu. Jsou rychlá, jelikož mají velkou zásobu  $\text{Ca}^{2+}$  iontů, kterou mohou také rychle uvolnit. Mají ale pomalejší tvorbu ATP, v důsledku nižší koncentrace myoglobinu a nižšího počtu mitochondrií, tedy menší zásoby  $\text{O}_2$  méně hemoproteinů. Z těchto důvodů se jejich barva jeví jako světlá až bílá, proto dostaly název bílá svalová vlákna. Lidé, kteří jich mají ve svalech více pak mohou mít výhodu například ve sprintu na 100 m.

Oba typy vláken, se v každém svalu mohou vyskytovat v různých poměrech. Například ve svalech oka převažují bílá svalová vlákna, naopak červená svalová vlákna převažují ve stehenním svalu. Samotný poměr je dán geneticky, a lze jej částečně ovlivnit tréninkem.

## Zopakování na závěr

Celou výše probranou problematiku si můžete zopakovat pomocí krátkého videa, které naleznete pod QR kódem níže (Obr. 10).



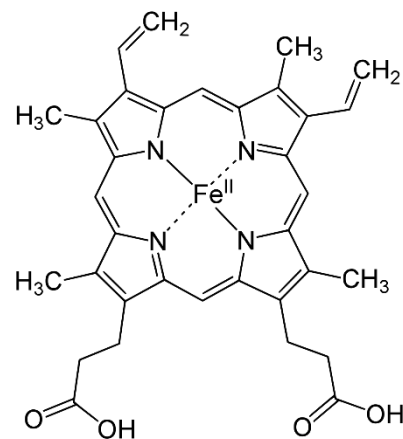
Obr. 10: Video shrnující problematiku kosterní svaloviny.

<https://www.youtube.com/watch?v=s9eqg3r8YEc>

**Rigor mortis (posmrtná ztuhlost)** je to stav, ke kterému dochází vlivem vyčerpání zásob ATP uvnitř svalu například v důsledku smrti organismu. Vyplavené  $\text{Ca}^{2+}$  ionty nemohou být zpětně resorbovány zpět do sarkoplazmatického retikula a spojení aktinu s myozinem je kvůli absenci ATP trvalé. Na nebožtíkovi se to projeví výraznou svalovou ztuhlostí, která po čase v důsledku rozkladu myofilament ustupuje.

## K čemu slouží myoglobin ve svalu?

Myoglobin je protein, který společně s hemoglobinem patří mezi hemoproteiny obsahující hem s  $\text{Fe}^{2+}$ . Podobně jako hemoglobin má myoglobin schopnost navázat a uvolnit molekulu  $\text{O}_2$ , avšak na rozdíl od hemoglobinu, který se je spíše takový přepravník pro kyslík, tak myoglobin je takové pohotovostní skladiště  $\text{O}_2$ .



## **Příloha 2**

Hladký sval – žákovský materiál

## Hladký sval

Aneb příčně pruhovaným svalem kosterním to ani zdaleka nekončí.

Jak již jistě víte, kosterní svalstvo není jediným druhem svalů v našem těle. Jsou tu ještě hladké svaly a ty s kosterním svalem toho mají hodně společného, ale v některých směrech fungují však jinak. Pojďme se na hladký sval podívat trochu blíže.

Hladké svalstvo v našem těle vykonává nespočet funkcí a naše tělo by bez něj nemohlo přežít. Nalezneme ho například ve stěnách cév, orgánů trávicího systému (jícen, žaludek), dýchacího (průdušky, průdušinky) či močopohlavního (močová trubice, močový měchýř). Jeho velkou odlišností od kosterního svalstva je skutečnost, že není vůlí ovladatelné, tedy ho nemůžeme vědomě řídit.

### Jak vlastně hladký sval vypadá pod mikroskopem?

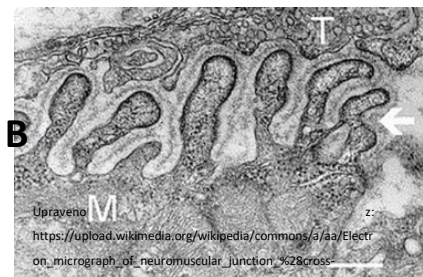
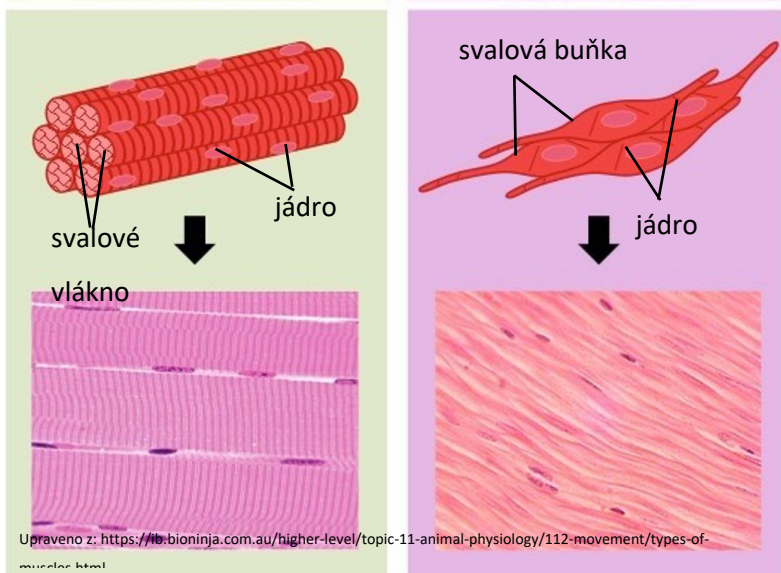
Hladký sval je na rozdíl od kosterní svaloviny složen z menších buněk vřetenovitého tvaru. Tyto buňky obsahují jen jedno jádro, na rozdíl od kosterní svaloviny, která jich v jedné dlouhé buňce obsahuje až tisíce. Srovnání ukazuje *Obr. 11 A*.

Membrána svalové buňky obsahuje velké množství vchlípenin. Vchlípeniny si můžeme představit, jako zvrásněnou membránu (*Obr. 11 B*). Zvrásnění zvětšuje povrch membrány, takže může obsahovat více membránových proteinů. Vchlípeniny urychlují přenos informací, jelikož nám prostorově přiblíží receptor s místem, kam je signál třeba dopravit.

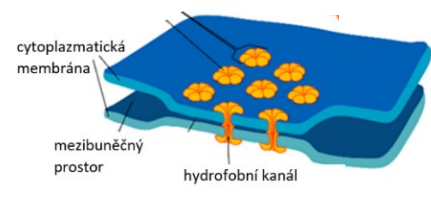
Jednotlivé svalové buňky jsou mezi sebou „vodivě“ spojeny pomocí spojení *gap junction*, toto spojení umožňuje pohodlný přenos signálů (elektrických i molekulárních) mezi jednotlivými buňkami hladkého svalstva. Spojení je ukázáno na *Obr. 11 C*.

Buňky, které jsou takto propojené mohou být inervované i jen jedním neuronem, který předá nervový vzruch jen buňce, ze které se pak pomocí spojení *gap junction* šíří dál do ostatních buněk. Sval se tedy stahuje synchronizovaně celý najednou. Příkladem jsou svaly dělohy a žaludku.

**A**



**C**

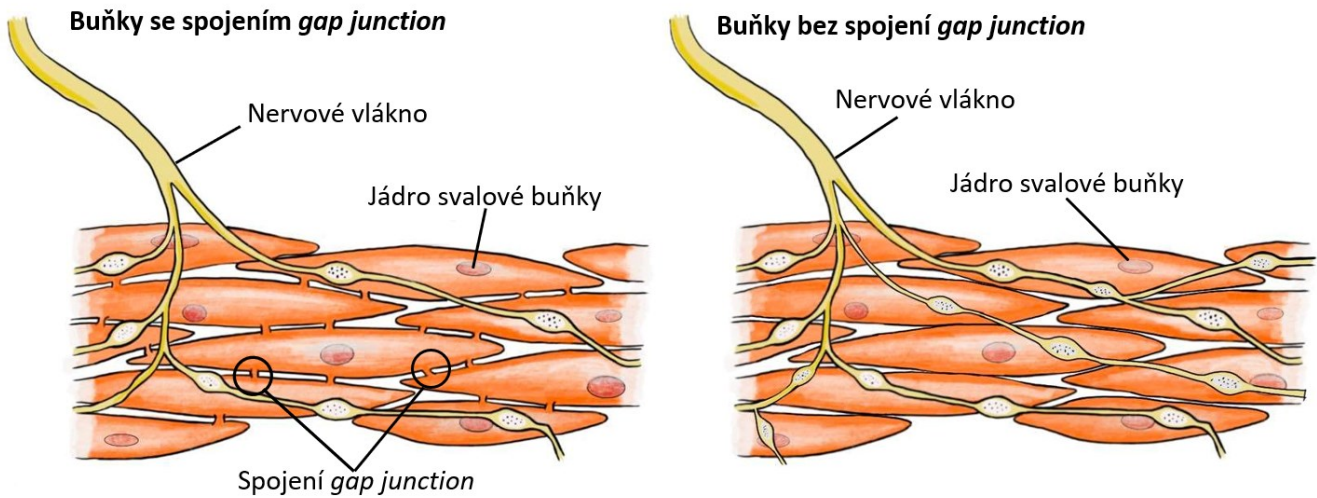


Upraveno z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Gap\\_junctions#/media/Soubor:Gap\\_cell\\_junction-cs.svg](https://www.wikiskripta.eu/w/Gap_junctions#/media/Soubor:Gap_cell_junction-cs.svg)

*Obr. 11: A* zobrazuje porovnání stavby kosterní a hladké svaloviny. *B* zobrazuje vchlípeniny svalové buňky hladkého svalstva. *C* zobrazuje spojení dvou buněk pomocí *gap junction*.



Avšak ne všechny buňky hladké svaloviny obsahují mezi sebou toto spojení. Buňky v hladkém svalu, které spojení *gap junction* neobsahují, pak musí být inervované individuálně pak musí být každá buňka napojená na nerv. Příkladem jsou ciliární svaly oka. Porovnání ukazuje (Obr. 12).



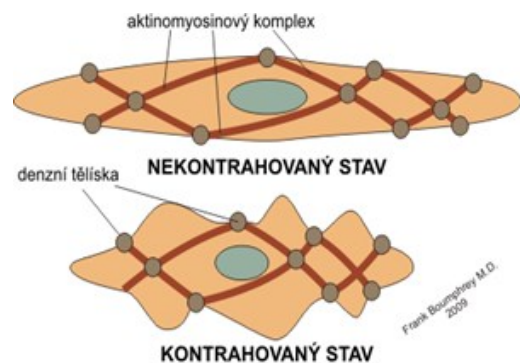
Obr. 12: Porovnání buněk hladké svaloviny se spojením *gap junction* a bez něj.

### Jaké proteiny zajišťují stah hladké svaloviny?

V hladkém svalu podobně jako v kosterním, se nachází svalové proteiny aktin a myozin, které zajišťují stah svalu. Oba svalové proteiny jsou ke svalové buňce připevněny tzv. denzními tělísky k cytoskeletu svalové buňky. Funkci denzních tělísek si můžeme představit, tak že cytoskelet buňky je stabilní konstrukce domu, ke které jsou pomocí šroubů (denzních tělísek) uchycené například dveře či okna.

**Angina pectoris** je forma ischemické choroby srdeční a projevuje se svíravými bolestmi na hrudi, často vystřelující do krku či levé horní končetiny. Toto onemocnění je způsobeno nedostatečným prokrvením srdečního svalu, které pak vede k nedostatečnému zásobení srdce kyslíkem. Při těchto stavech se podává jako léčivo nitroglycerin, který hladké svaly cév uvolní a roztažené cévy pak také srdci dopraví více životodárného kyslíku.

Obr. 13 nám ukazuje funkci denzních tělísek na buňce hladkého svalu v klidu a ve stahu.



Obr. 13: Denzní tělíska na kontrahované a nekontrahované (relaxované) buňce hladkého svalu.

Převzato z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Hladk%C3%A9\\_svalstvo#/media/Soubor:Kontrakce\\_hladkeho\\_svalu.png](https://www.wikiskripta.eu/w/Hladk%C3%A9_svalstvo#/media/Soubor:Kontrakce_hladkeho_svalu.png)

### Jak vlastně probíhá natažení a stažení hladkého svalu?

Podobně jako u kosterního svalu probíhá samotný pohyb myozinových hlaviček po aktinovém vlákně opět jako ručkování po tyči, kde aktin hraje roli tyče, po které ručkuje myozinová hlavička. Myozinová hlavička má opět afinitu k aktinovému vlákně a za dodání energie ve formě hydrolýzy molekuly ATP může změnit tvar, a tedy konat mechanickou práci.

### Jaké jsou pohybové odlišnosti od kosterního svalu?

Jak již bylo uvedeno výše, hladká svalovina utváří svalovinu některých našich orgánů a cév. Stah našich orgánů, ale i samotná relaxace hladkých svalů našich orgánů jsou daleko pomalejší než pohyb kosterní svaloviny. Na druhou stranu rozsah svalového stahu je u hladké svaloviny mnohem větší, což je dáno odlišnou prostorovou stavbou stahového aparátu. Hladký sval totiž nemá Z-linie, které v kosterním svalu omezuje rozsah možného stahu. Tato odlišnost má velice praktický význam, například našemu organismus to umožňuje omezit průtok krve v cévách na minimum, či ho dokonce v jistých momentech úplně zastavit, tento stav může navodit forma ischemické choroby srdeční zvaná jako *angina pectoris*.

## Jak hladký sval pozná, kdy se má stáhnout?

Na rozdíl od kosterního svalu, jehož řízení je zajišťováno čistě naší vůlí, tedy pomocí nervových signálů z našeho mozku, řízení hladké svaloviny může probíhat i jinými mechanismy. Jak víme, hladká svalovina nepodléhá naší vůli jako svalstvo kosterní. Naš organismus má dvě možnosti, jak činnost hladkého svalu řídit. Jednou z možností je vegetativní nervové řízení, kdy podobně jako u kosterního svalu se vzruch šíří naší nervovou soustavou až do místa napojení na svalovou buňku. Zde nerv způsobí depolarizaci membrány a otevření kanálů pro vápenaté ionty, které vstupují do svalové buňky. Zvýšenou koncentrací  $\text{Ca}^{2+}$  iontů se podpoří další uvolnění  $\text{Ca}^{2+}$  iontů ze sarkoplazmatického retikula. Další možností je působením hormonů a neurotransmiterů, které skrze receptory na membráně svalové buňky, spustí uvolnění tzv. druhých posílů (např. inositoltrifosfát,  $\text{IP}_3$ ), a ty pak otevřou vápníkové kanály v sarkoplazmatickém retikulu, což opět vede k uvolnění  $\text{Ca}^{2+}$  iontů do svalové buňky a k zahájení svalového stahu. Obě možnosti jsou zobrazeny Obr. 15.

## Jakou roli při stahu hladké svaloviny zastávají $\text{Ca}^{2+}$ ionty?

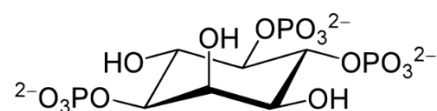
$\text{Ca}^{2+}$  ionty hrají stejnou roli oznamovatele kontrakce u hladkého svalu, jako u kosterního svalu. S tím rozdílem, že v hladkém svalu je protein vázající  $\text{Ca}^{2+}$  ionty troponin nahrazen podobným proteinem – kalmodulinem, který podobně jako troponin po navázání  $\text{Ca}^{2+}$  iontů změní tvar a přestane blokovat vazebná místa pro myozinové hlavičky na aktinu.

## Jak pozná hladký sval, že už může relaxovat?

Pokud přestanou přicházet hormonální či nervové podněty ke svalové buňce, tak dochází k zastavení vyplavování  $\text{Ca}^{2+}$  iontů do cytoplazmy svalové buňky.  $\text{Ca}^{2+}$  ionty, které se nacházejí ve svalové buňce jsou podobně jako v buňce kosterního svalu odčerpány  $\text{Ca}^{2+}$  pumpami (naznačeno na Obr. 15), v cytoplasmě je jejich koncentrace ale nižší než v retikulu, takže jejich přesun proti koncentračnímu gradientu vyžaduje dodání energie hydrolyzou ATP. Tato činnost je na rozdíl od kosterního svalstva daleko pomalejší, což je jedním z důvodů, proč u hladké svaloviny přetrvává svalový stah mnohem déle. Při dostatečném poklesu koncentrace  $\text{Ca}^{2+}$  iontů v cytoplasmě pak dochází k uvolnění navázaných  $\text{Ca}^{2+}$  iontů z kalmodulinu a k opětovnému zablokování vazebných míst na aktinovém vlákně. To hned vede k odpojení hlavičky myozinu od aktinu, takže myozin již nemůže šplhat po aktinu, a buňka hladkého svalu se natáhne a uvolní.

## Hodně kyselý posel – inositoltrifosfát ( $\text{IP}_3$ )

Inositoltrifosfát ( $\text{IP}_3$ ) je příkladem tzv. druhých posílů, což jsou chemické sloučeniny, které se podílejí na přenosu signálu v buňce.

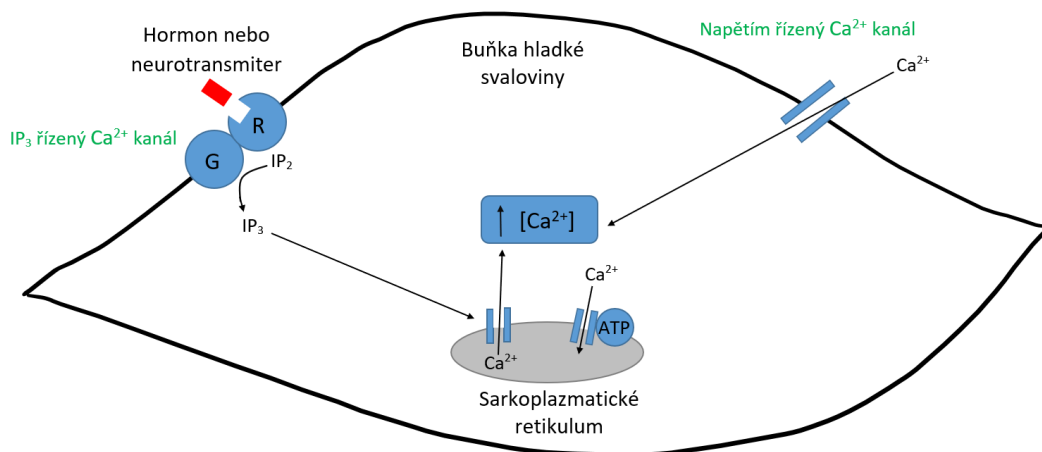


Převzato z: [https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Soubor:Inositol\\_1,4,5-trisphosphate.svg](https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Soubor:Inositol_1,4,5-trisphosphate.svg)

Obr. 14: Inositoltrifosfát ( $\text{IP}_3$ ).

## Jakou roli má v našem organismu NO?

Oxid dusnatý NO funguje v těle jako malá signální molekula, která se účastní mnoha pochodů v lidském těle. Jedním z nich je samotná svalová relaxace hladké svaloviny. Díky těmto vlastnostem se používá v medicíně ve formě nitroglycerinu například při stavech jako je například *angina pectoris*.



Obr. 15: Dvě cesty vzrůstu koncentrace  $\text{Ca}^{2+}$  iontů v buňce hladké svaloviny.

## **PŘÍLOHA 3**

Biochemie hladkého svalu – učitelský text

# Biochemie hladkého svalu

Učitel'ský text pro střední školy

**Petr Honomichl**

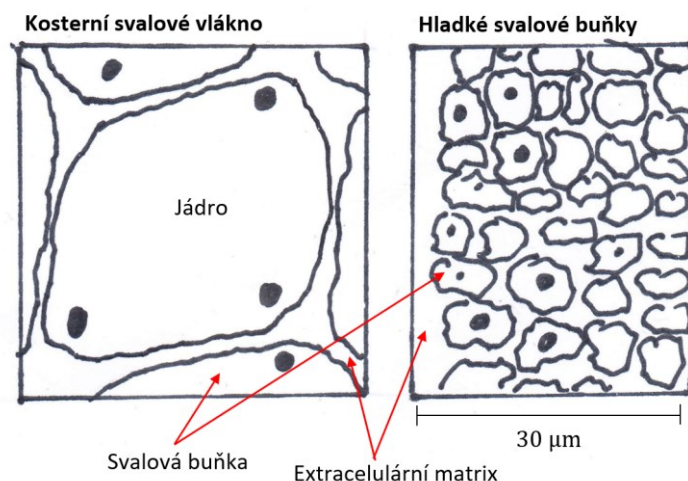
## Obsah

1	Hladký sval.....	2
1.1	Struktura hladkého svalu.....	3
1.2	Kontraktilní bílkoviny v hladkém svalu.....	6
1.3	Kontraktilní mechanismus hladkého svalu.....	7
1.3.1	Excitace svalového vlákna .....	7
1.3.2	Mechanismus svalové kontrakce.....	9
1.3.3	Ukončení kontrakce a svalová relaxace.....	9
1.4	Řízení kontrakce hladkého svalu.....	10
1.4.1	Nervové řízení kontrakce .....	10
1.4.2	Humorální řízení kontrakce.....	11
1.5	Porovnání délky trvání svalového stahu hladkého a kosterního svalu .....	14
1.6	Léky s účinky na hladké svalstvo.....	14
1.7	Onemocnění hladké svaloviny .....	15
1.7.1	Kolika .....	15
1.7.2	Prinzmetalova angina pectoris.....	16
1.7.3	Raynaudova choroba .....	16
1.7.4	Astma.....	16
1.8	Seznam použité literatury .....	17

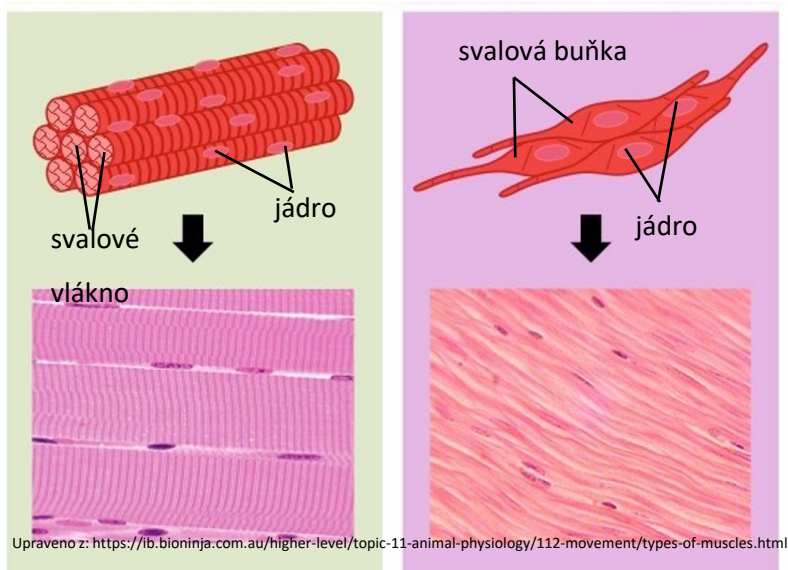
## Hladký sval

Zázrak jménem hladký sval aneb co jste o něm možná nevěděli.

Hladký sval je velice důležitým typem svalstva, který má v našem těle nezastupitelnou úlohu, tvoří totiž podstatnou část našeho vnitřního prostředí a zajišťuje plynulý chod, tak složitého systému jako je naše tělo. Spolu s různými druhy epitelu utváří skoro celý náš trávicí trakt, oběhový systém a spolutvoří i některé vnitřní orgány, svou roli hraje i při stažení bronchů v rámci dýchání a našli bychom spoustu dalších nezastupitelných funkcí, které takřka nepřetržitě vykonává po dobu celého našeho života. Velice unikátní vlastností hladké svaloviny je schopnost autonomní činnosti, na rozdíl od pruhované svaloviny kosterní. Nelze si tedy říct, že teď žaludek roztáhnu a teď zase stáhnu, což se někomu může zdát, jako komplikace, že si nemůže řídit celé naše tělo, ale ve výsledku nám to velice usnadňuje práci a umožňuje se soustředit na svět okolo nás. Neméně důležitou odlišností hladkého svalstva od příčně pruhovaného je jeho schopnost stahovat se všemi směry, což je dáno nepravidelným uspořádáním vláken s myofibrilami, naproti tomu svalová vlákna příčně pruhovaného svalstva se stahují pouze v jedné ose. Jejich další a unikátní vlastností je i fakt, že intenzita stahu příliš nezáleží na výchozí délce svalu, což u příčně pruhovaného svalu kosterního neplatí [26,27].



Obr. 16: Porovnání kosterní svaloviny a hladké svaloviny v příčných řezech při stejném zvětšení (kresba histologických preparátů). Zvětšení 575x.

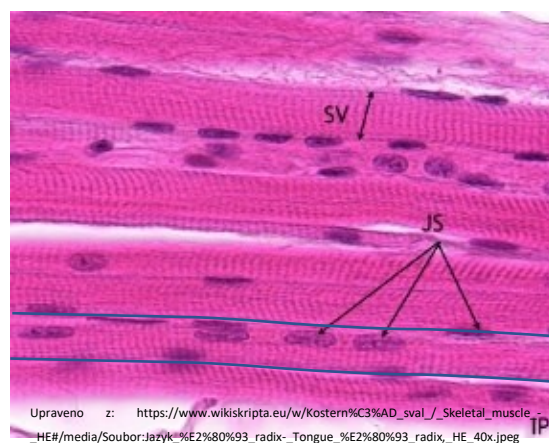


Obr. 17: Porovnání vzhledu buněk kosterní a hladké svaloviny. Napravo je kosterní svalovina, nalevo je hladká svalovina.

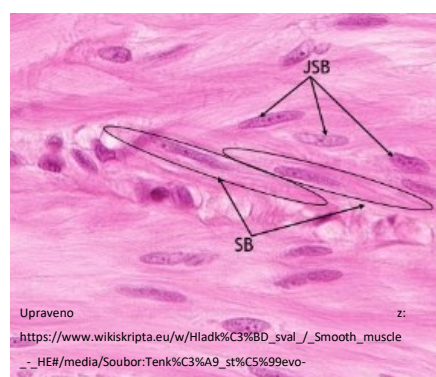
### 1.1 Struktura hladkého svalu

Stavba hladké svaloviny je v mnoha ohledech velice podobná stavbě příčně pruhovaného svalu kosterního, ale v jistých ohledech se od něj liší. Hladká svalovina je složena z daleko menších vláken na rozdíl od kosterní svaloviny, které mají průměr od 1 do 5  $\mu\text{m}$  s délkou dosahující od 0,02 do 0,5 mm (Obr. 16)<sup>1</sup>. Tedy vlákna hladkého svalu jsou ve srovnání s vlákny kosterního svalstva tenčí a až stonásobně kratší. Důležitý rozdíl je také všesměrové uspořádání buněk hladkého svalstva, to mu uděluje důležitou a unikátní schopnost provádět kontrakci neboli svalový stah, ve více rovinách než jen v jedné. Tytéž rozdíly v uspořádání hladkého svalstva v jednotlivých orgánech jsou znatelně větší, než jaké můžeme pozorovat u různých svalů kosterního svalstva. Tato rozdílnost je podmíněna především různorodostí jednotlivých orgánů, organizací svazků vláken a jejich obalů, dále i schopností a nutností reagovat na jednotlivé podněty a v neposlední řadě na způsobu řízení hladkého svalu v daném orgánu [26,27].

Buňky hladké svaloviny jsou vřetenovitého tvaru a obsahují pouze jedno jádro (Obr. 17), na rozdíl od buněk kosterního svalu, která může obsahovat až tisíce jader. Srovnání obou buněk můžeme vidět na histologických řezech Obr. 18 a Obr. 19. Zajímavé je, že membrána svalové buňky hladkého svalu není vůbec hladká, ale vytváří velké množství vchlípenin. Vchlípeniny si můžeme představit jako zvrásněnou membránu (zvrásnění neboli invaginace membrány je vidět na Obr. 20). Díky existenci



Obr. 18: Podélný řez kosterního svalstva jazyka, barvení HE, zvětšení 80x, SV – svalové vlákno, JSB – jádro svalové buňky.



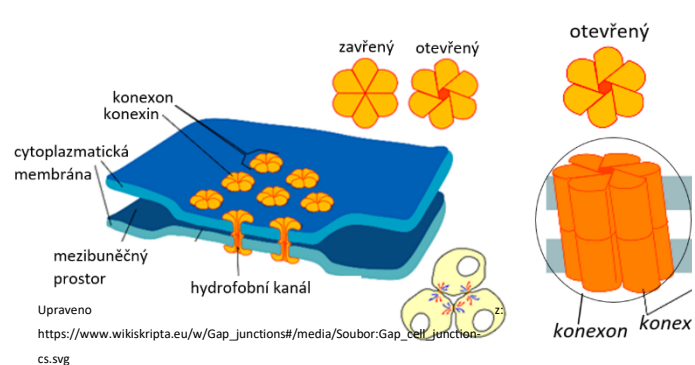
Obr. 19: Podélný řez hladkého svalstva tenkého střeva, barvení HE, zvětšení 60x, SB – svalová buňka, JSB – jádro svalové buňky.

<sup>1</sup> Pro představu se dá říci, že svalové vlákno typického kosterního svalu je podobně dlouhé jako lidský vlas, avšak je ještě 10x tenčí.

těchto vchlípenin má membrána větší povrch, na kterém se nachází daleko větší množství receptorů. Zvrásnění nám vlastně šetří prostor ve svalové buňce, jelikož výrazně zvětšuje poměr povrchu membrány ku velikosti buňky, díky tomu i malá buňka může mít více membránových bílkovin (receptorů a kanálů). Zvrásnění též urychlují přenos signálu z receptoru do nitra svalové buňky, protože se pomocí vchlípeniny prostorově přiblíží receptor s místem, kam je třeba signál dopravit. V blízkosti vchlípeniny pod membránou, se nachází sarkoplazmatické retikulum, které vykonává podobné funkce jako v kosterním svalu, tedy podílí se na regulaci uvolňování a zpětné resorpci  $\text{Ca}^{2+}$  ve svalu [26]. Hezky je to vizualizováno na [www.youtube.com/watch?v=s9eqg3r8YEc](http://www.youtube.com/watch?v=s9eqg3r8YEc) v čase cca 3 min.



Obr. 20: Zvrásnění membrány svalové buňky (vytváří vchlípeniny) na nervosvalové ploténce (pořízeno transmisní elektronovou mikroskopií).

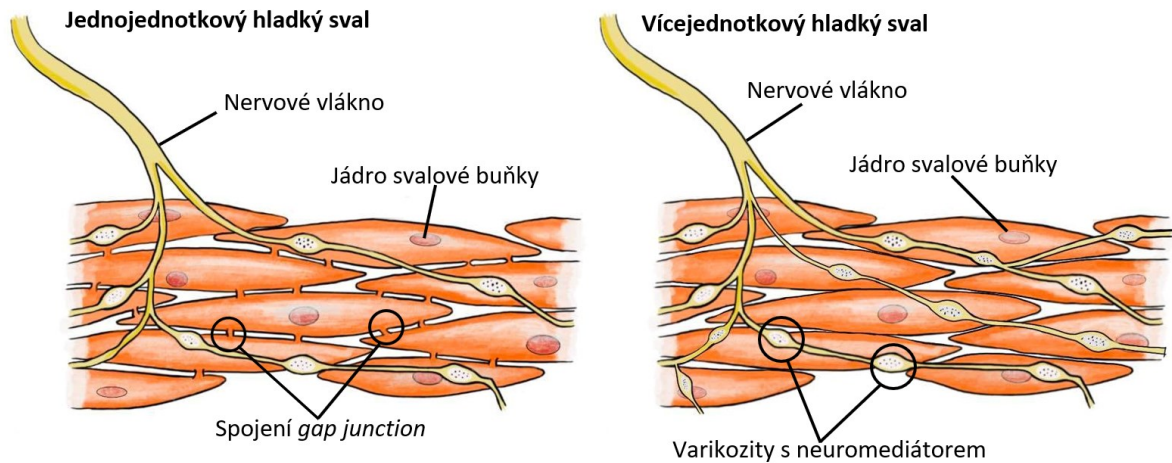


Obr. 21: Spojení dvou buněk pomocí gap junction a struktura konexonu.

Jednotlivé svalové buňky hladkého svalu jsou navzájem elektricky spojena pomocí *gap junction* (Obr. 21), což je běžný typ spojení sousedních buněk v rámci jedné tkáně, v místě spojení dochází k přiblížení jejich membrán a propojení cytoplazmy těchto buněk, takže mezi nimi může docházet k výměně molekul, iontů či membránového potenciálu. Toto propojení je realizováno pomocí membránových kanálů tzv. konexonů tvořených šesti molekulami bílkoviny konexinu (Obr. 21). Je dobré si uvědomit, že pomocí gap junction jsou buňky velice dobře chemicky i metabolicky propojeny a v určitých ohledech se chovají jako jedna buňka, tento útvar se proto také někdy nazývá soubuní [28].

Spojení typu *gap junction* v tomto případě umožňuje ve svalu elektrické spojení buněk a vzájemný přenos akčního potenciálu mezi nimi, bez nutnosti individuální inervace každého svalového vlákna.





Obr. 22: Porovnání jednojednotkového a vícejednotkového svalu.

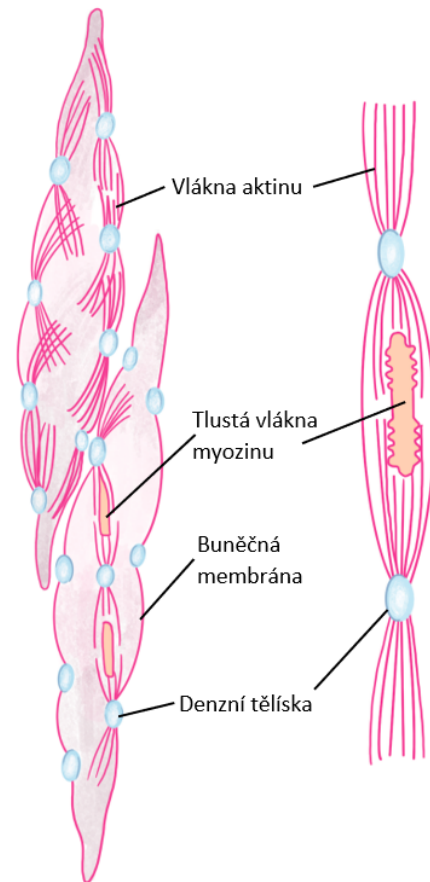
Z funkčního hlediska se v tom případě u hladkého svalu jedná o soubuní tvořené stovkami až tisíciemi vzájemně mechanicky spojených vláken, která se společně kontrahují a depolarizují jako celek. Tento typ hladkého svalu se nazývá svaem jednojednotkovým (Obr. 22 vlevo), jelikož se chová jako jedna kontraktibilní jednotka, která reaguje na podněty společně. Tento typ svalu je možné nalézt například u cirkulární svaloviny například dělohy a žaludku. [26,28]

Z hlediska řízení kontrakce hladkého svalu uvedeme i další typ hladkého svalu, jehož kontrakce funguje trochu na jiném principu, než jak je tomu u svalu jednojednotkového, jehož buňky v něm nejsou vzájemně propojené pomocí *gap junction* a tím je sval vícejednotkový (Obr. 22 vpravo). Kontrakce každého vlákna je v jeho případě záležitostí individuální a je řízena pomocí jednotlivých nervových zakončení. Ve výsledku to znamená, že se jednotlivá vlákna mohou kontrahovat nezávisle na sobě, čímž se docílí gradace výsledné síly celého svalu, podobně jako je tomu u svalů příčně pruhovaných, avšak s tím rozdílem, že stah a relaxaci nemůžeme ovládat vůlí. Jako příklad vícejednotkového svalu můžeme uvést ciliární svaly oka (zajišťují zúžení zornic). Srovnání ukazuje Obr. 22 [26].

## 1.2 Kontraktilní bílkoviny v hladkém svalu

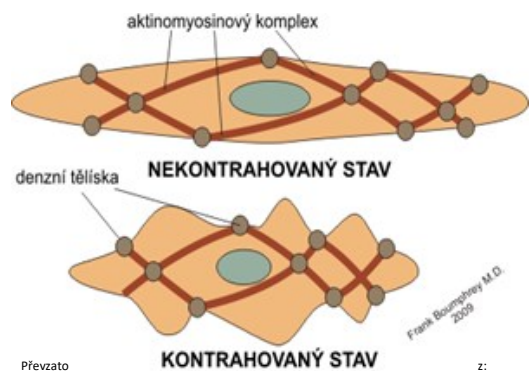
Podobně jako v příčně pruhovaném svalu kosterním se i v hladkém svalu nacházejí aktinová a myozinová myofilamenta. Přičemž tenká myofilamenta jsou tvořena dvojitou šroubovicí F-aktinu, která se obtáčí kolem molekuly tropomyozinu, avšak je zde absence troponinového komplexu, ten je funkčně nahrazen kalmodulinem a kalmodesmonem. Tlustá myofilamenta jsou velice podobná myozinovým filamentům v příčně pruhovaném svalu.

V hladké svalu můžeme lokalizovat denzní tělíska. Denzní tělíska zastávají obecně funkci úponu tenkých (aktinových) a intermediálních filament. Intermediální filamenta, která jsou jednou ze složek cytoskeletu, jsou tvořena bílkovinou desminem a ve svalovině cév také vimentinem. Denzní tělíska společně s intermediálními filamenty slouží k upevnění kontraktilního aparátu k sobě navzájem a také k povrchu buňky (Obr. 23, Obr. 24). Ve zjednodušené představě si to můžeme představit, že intermediální filamenta fungují jako stabilní konstrukce buňky (domu), ke které jsou přichycena jednotlivá myofilamenta pomocí denzních tělísek (šrouby).



Obr. 23: Schéma stavby kontraktilního systému hladkého svalu a umístění denzních tělísek.

Denzní tělíska se skládají z  $\alpha$ -aktinu. Funkčním a chemickým složením jsou velice podobná Z liniím v příčně pruhovaném svalu kosterním. Tedy z obou stran jsou do denzních tělísek ukotvena vlákna aktinu a uprostřed mezi nimi jsou vlákna myozinu (Obr. 23). Je možné si jejich funkci ve zjednodušené podobě představit jako zářezky vymezující rozsah možné svalové kontrakce. Avšak oproti konstrukci kontraktálního aparátu kosterní svaloviny je u hladké svaloviny možné daleko větší zkrácení, jelikož nám nebrání v kontrakci délka sarkomery. Toto větší zkrácení se uplatňuje například v cévách, které se mohou trochu zavřít jen trochu nebo až téměř úplně. Obr. 23 a Obr. 24 nám ilustruje stavbu a funkci denzních tělísek [28–30].

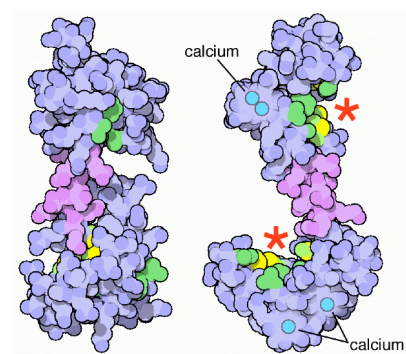


Převzato z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Hladke\\_svalstvo#/media/Soubor:Kontrakce\\_hladkeho\\_svalu.png](https://www.wikiskripta.eu/w/Hladke_svalstvo#/media/Soubor:Kontrakce_hladkeho_svalu.png)

Obr. 24: Funkce denzních tělísek ve hladké svalové buňce (kontraovaný a nekontraovaný stav).

Tenké vlákno je tvořeno, kromě aktinu i kaldesmonem a kalmodulinem [27].

Kalmodulin je protein o molekulové hmotnosti 17 kDa (Obr. 25), který na sebe váže čtyři vápenaté ionty, čímž dojde k jeho aktivaci [27,31–33].



Převzato z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Calmodulin>

Obr. 25: Struktura kalmodulinu.

Kaldesmon je vícedoménový protein, který se významně podílí na regulaci kontrakce hladké svaloviny. Jeho regulační funkce je založena na tom, že se v klidu váže na aktin, kde podobně jako troponin u příčně pruhovaného svalu kosterního blokuje vazbu aktinu a myozinu. Odstranit kaldesmon z aktinu lze tak, že dojde k jeho fosforylaci protein kinázou C, přičemž tato fosforylace způsobí, že se kaldesmon nemůže navázat na aktin, na který se tak může navázat myozin [34].

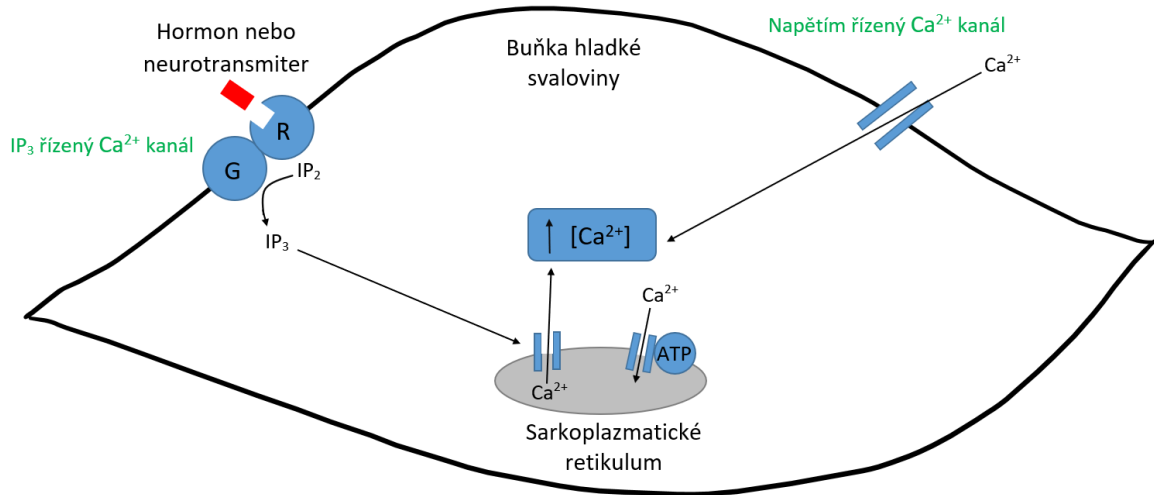
### 1.3 Kontraktální mechanismus hladkého svalu

Samotný kontraktální mechanismus je možné rozdělit do tří fází. První fází je excitace svalového vlákna, druhou je samotná svalová kontrakce a třetí fází je její ukončení tedy svalová relaxace.

#### 1.3.1 Excitace svalového vlákna

Aby došlo k samotné svalové kontrakci je zapotřebí vzestup koncentrace vápenatých iontů ( $\text{Ca}^{2+}$ ) v sarkoplasmě. Vzestup koncentrace vápenatých iontů může proběhnout dvěma cestami. První z cest je depolarizace membrány hladkého svalu za otevření  $\text{Ca}^{2+}$  kanálů. Vápenaté ionty následně vtékají do buněk otevřenými  $\text{Ca}^{2+}$  kanály po svém koncentračním gradientu, tedy ve směru klesající koncentrace. Zvýšená hladina vápenatých iontů indukuje uvolnění vápenatých iontů ze

sarkoplazmatického retikula do sarkoplazmy svalové buňky. Druhou cestou je aktivace uvolňování vápenatých iontů působením hormonů a neurotransmiterů, které interagují s receptorem na membráně svalové buňky (tento receptor je spřažen s G-protein receptorem, což vede k uvolnění druhých posílů (např. inozitoltrifosfát  $IP_3^2$ ), které indukují opět otevírání  $Ca^{2+}$  kanálů sarkoplazmatického retikula. Výše uvedené cesty jsou shrnuty ve schématech na Obr. 27 [27].

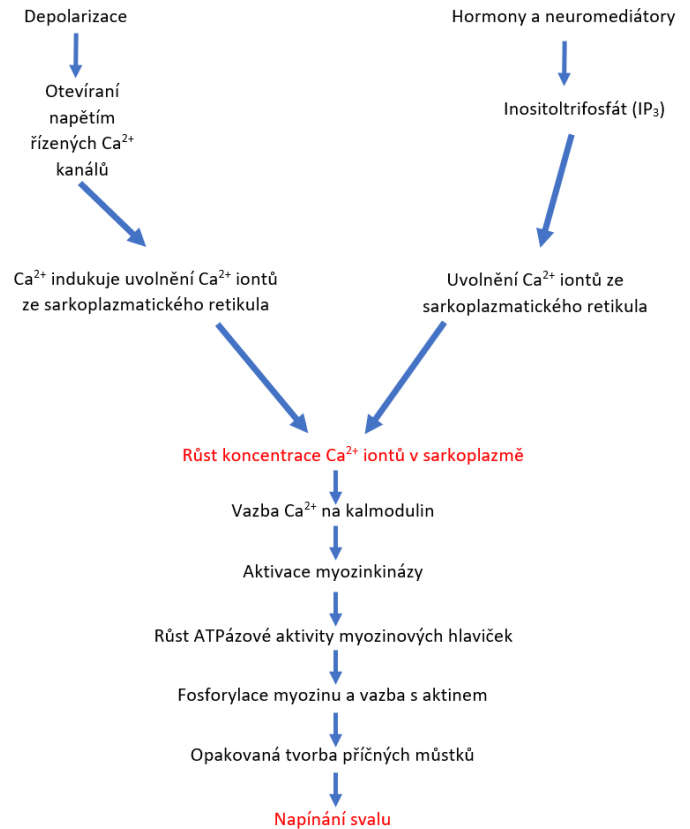


Obr. 26: Cesty excitace svalového vlákna.

<sup>2</sup> Inozitoltrifosfát ( $IP_3$ ) je příkladem tzv. druhých posílů, tedy chemických sloučenin, které se podílejí na přenosu signálu v buňce. Samotný  $IP_3$  vzniká až fosforylací z  $IP_2$  (fosfatidylinositol-4,5-difosfát) pomocí enzymu spřaženého s G-proteinem, což je v tomto případě fosfolipáza C.

### 1.3.2 Mechanismus svalové kontrakce

Po vstupu vápenatých iontů do sarkoplazmy svalové buňky, se vápenaté ionty naváží na bílkovinu kalmodulin, která má čtyři vazebná místa pro vápenaté kationty. Pokud jsou alespoň tři z nich obsazena, tak dochází ke konformační změně bílkoviny. Vápníkem aktivovaný kalmodulin pak dělá především dvě činnosti, které obě vedou ke stahu hladkého svalu, jednak aktivuje enzym kinázu myozinového lehkého řetězce (MLC kinázu), která pak následně fosforyluje lehké myozinové řetězce, které přestávají inhibovat interakci myozin-F-aktin, což vede k počátku kontrakce [27,31–33]. Tím se odlišuje hladká svalovina od příčně pruhovaného svalu, kde je ATPázová aktivita myozinu stále stejně vysoká. Jeho ATPázová aktivita přitom funguje u hladkého svalu jako regulátor rychlosti kontrakce. Fosforylace tedy spouští kontrakci tím, že hlavičky myozinu získávají schopnost se opakovaně připojovat na aktin a posouvat se po sobě („veslování myozinových hlaviček“). Kalmodulin také inhibuje vápníkové pumpy, které by jinak vraceli  $\text{Ca}^{2+}$  zase zpátky do sarkoplasmatického retikula, touto cestou zas vápníkem aktivovaný kalmodulin zajišťuje, že stah trvá déle. Další průběh mechanismu kontrakce je velice podobný mechanismu kontrakce příčně pruhované svaloviny kosterní, proto zde nebude znovu uveden (více v kap. Kontrakce příčně pruhované svaloviny kosterní). Výčet jednotlivých kroků, které vedou ke svalové kontrakci je uveden na Obr. 27 [27,34].

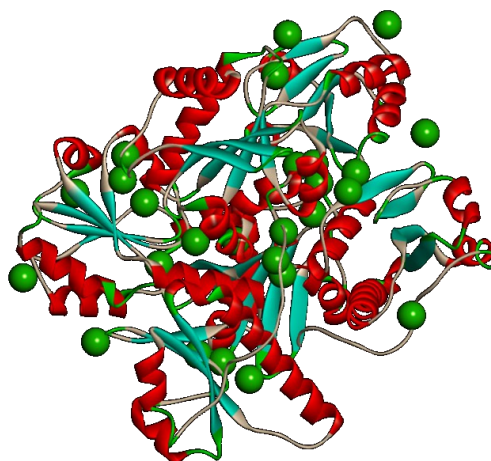


Obr. 27: Nejdůležitější kroky svalové kontrakce hladké svaloviny.

### 1.3.3 Ukončení kontrakce a svalová relaxace

Aby nastala svalová relaxace je třeba ze sarkoplazmy svalové buňky odčerpát  $\text{Ca}^{2+}$  ionty, podobně jako je tomu u svaloviny kosterní. Zpětnou resorpci  $\text{Ca}^{2+}$  iontů zpět do sarkoplasmatického retikula zajišťuje  $\text{Ca}^{2+}$  pumpa za spotřeby ATP, podobně jako je tomu u kosterní svaloviny. Avšak činnost pumpy je daleko pomalejší, než jak je tomu u kosterní svaloviny, což je jedním z důvodů, proč kontrakce přetrvává i několik dalších vteřin po ukončení stimulace. Zpětnému vstřebávání vápníku přicházejícího ze sarkoplazmy zpět do sarkoplasmatického retikula pomáhá například protein kalsekvestrin, který vyváže přicházející vápenaté ionty v sarkoplasmatickém retikulu, který tam funguje jako reverzibilní „lapač“  $\text{Ca}^{2+}$  v retikulu kde jedna molekula může navázat 18 až 50 vápenatých iontů , což ukazuje Obr. 28 [35].

Po snížení hladiny vápenatých iontů v sarkoplazmě, dojde k uvolnění vápenatých iontů z kalmodulinu a opětovnému navázání kaldesmonu na molekulu aktinu a tím k zakrytí vazebných míst pro myozin. Pokles koncentrace vápenatých iontů způsobí též nárůst aktivity myozinové cytoplazmatické fosfatázy, která odštěpí fosfát z regulační oblasti myozinové hlavy, tím dochází k výraznému poklesu ATPázové aktivity myozinu. [26,27,34]. Je dobré si uvědomit, že hladké svalstvo je stále ve stavu větší či menší kontrakce označovaný jako svalový tonus, což je velice důležité u vnitřních orgánů. Jelikož na rozdíl od příčně pruhovaného svalstva je aktivita ATPázy myozinových hlav malá, což má za následek, že dochází k pomalému cyklování aktino-myozinových spojení, a tedy relativně malou spotřebu ATP. S malou spotřebou ATP souvisí nízká energetická náročnost konání práce hladkého svalu ve srovnání se svalem příčně pruhovaným, který spotřebovává 10 až 300x více energie při vytváření stejného svalového napětí [26,27].



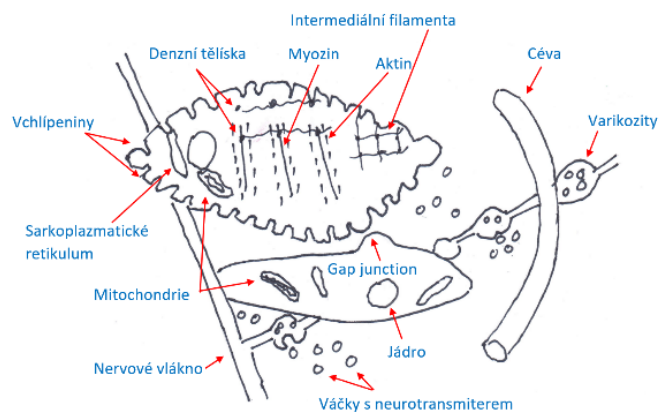
Obr. 28: Model kalsekvestrinu s navázanými  $Ca^{2+}$  ionty (zelené kuličky).

## 1.4 Řízení kontrakce hladkého svalu

Stejně jako u kosterního svalu je kontrakce i u hladkého svalu zahájena vtokem vápenatých iontů do cytoplazmy svalových vláken, jak již bylo psáno výše. Na rozdíl od kosterního svalu ale tento přísun vápenatých iontů může být však spuštěn nejen nervově ale i jen hormonálně, nebo v případě svalstva žaludku pouze natažením svalových vláken objemnější potravou [26].

### 1.4.1 Nervové řízení kontrakce

V hladké svalovině, jejíž aktivita je řízena především nervově, je možné nalézt funkční období nervově svalové ploténky kosterního svalu. Nervová autonomní vlákna řídící kontrakci se na povrchu hladkého svalu větví a vytvářejí tzv. varikozity (Obr. 22, Obr. 29), což jsou místa, ze kterých se uvolňuje neuromediátor<sup>3</sup>. Uvolněný neuromediátor (noradrenalin, acetylcholin a další) tak proniká



Obr. 29: Buňky hladké svaloviny a jejich inervace.

<sup>3</sup> Neuromediátory jsou obecně látky uvolňované z neuronu do synaptické štěrbině a ovlivňující aktivitu jednotlivých buněk. Příkladem takové látky je například acetylcholin. Více informací najdete na odkazu <http://www1.lf1.cuni.cz/~z fisar/bp/3.1.htm>.

(difunduje) do více stran, a tedy může podráždit větší část povrchu svalových vláken. Varikozity u hladkého svalu, se nacházejí především na povrchu

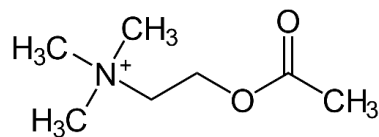
svazků hladké svaloviny a do nitra pronikají jen málo. Toto platí u výše zmíněného jednojednotkového svalu, kde se excitace do nitra svazku šíří prostřednictvím akčního potenciálu (pomocí spojení buněk typu *gap junction*) nebo pomalou difuzí neuromediátoru z vnějších vrstev svalu. U vícejednotkového svalu jsou varikozity umístěny hlouběji ve svalu a funkčně se rychlost přenosu tohoto spojení velice podobá příčně pruhovanému svalu kosternímu, což umožňuje relativně rychlou a gradovanou kontrakci hladkého svalu (přesto je jeho kontrakce asi 10x pomalejší než u kosterního svalu).

Mezi nejdůležitější neuromediátory ovlivňující hladké svalstvo patří acetylcholin (Obr. 30) a noradrenalin (Obr. 31). Ale působení jednotlivých mediátorů může být v různých tkáních různé, například noradrenalin vyvolává kontrakci hladkých svalů cév, ale zároveň relaxaci hladkých svalů střeva [36].

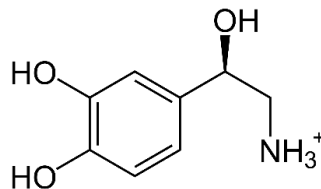
#### 1.4.2 Humorální řízení kontrakce

Až polovina všech hladkých svalů se kontrahuje bez vazby na autonomní inervaci nebo nutnosti šíření akčních potenciálů svalovou membránou. Tyto hladké svaly jsou závislé na lokální koncentraci různých látek. Často se jedná o metabolické produkty, jako jsou například laktát (kyselina mléčná), oxid uhličitý, oxid dusnatý (detaillnější informace níže v podkapitole Oxid dusnatý a jeho účinky na hladký sval), ale také koncentrace  $H^+$  a  $K^+$  iontů, změna teploty či parciálního tlaku  $O_2$ . Příkladem závislosti na předchozích látkách a podmínkách je hladká svalovina mnoha cév, které se na základě například teploty relaxují či kontrahují. Meziprodukty trávení se také mohou přímo podílet na aktivitě hladkého svalstva, jak je tomu například u řízení tonu svalové stěny dutých orgánů žaludku či tenkého a tlustého střeva. Mezi významné hormony podílející se na řízení tonu hladké svaloviny patří adrenalin (Obr. 32), noradrenalin a peptidový hormon oxytocin (například řídí stahy hladké svaloviny dělohy při porodu) [26,32].

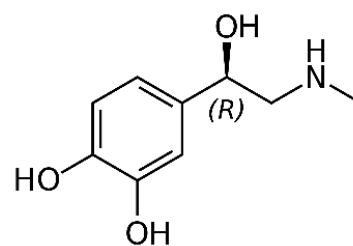
Některé stimuly ovlivňují přímo propustnost iontových kanálů pro  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$  nebo  $K^+$ , čímž mění hodnotu klidového membránového potenciálu svalové buňky. Jiné stimuly (často hormony) svou vazbou na membránový receptor jej aktivují a ten pak uvolní do cytosolu tzv. druhé posly, kteří mění aktivitu iontových pump, iontových kanálů nitrobuněčných organel nebo aktivitu samotných kontraktálních proteinů. Někteří poslové, například cAMP (cyklický -3',5'-adenosinmonofosfát, Obr.



Obr. 30: Chemický vzorec acetylcholinu.

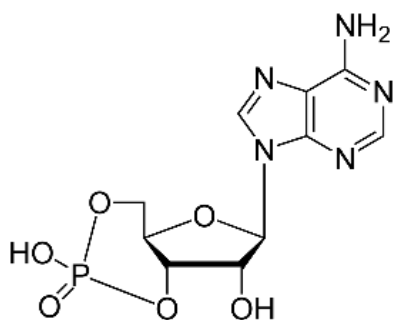


Obr. 31: Chemický vzorec noradrenalinu.

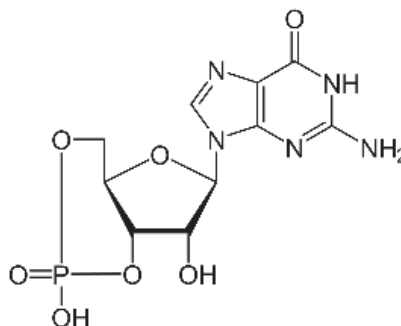


Obr. 32: Chemický vzorec adrenalinu.

33) či cGMP (cyklický guanosin-3',5'-fosfát, Obr. 34), mají schopnost nepřímé inhibice kontrakce prostřednictvím změny úrovně fosforylace některých enzymů, které mohou například ovlivnit rychlost odčerpávání  $\text{Ca}^{2+}$  iontů zpět do sarkoplazmatického retikula.



Obr. 33: Chemický vzorec cyklický 3',5'-adenosinmonofosfát (cAMP).



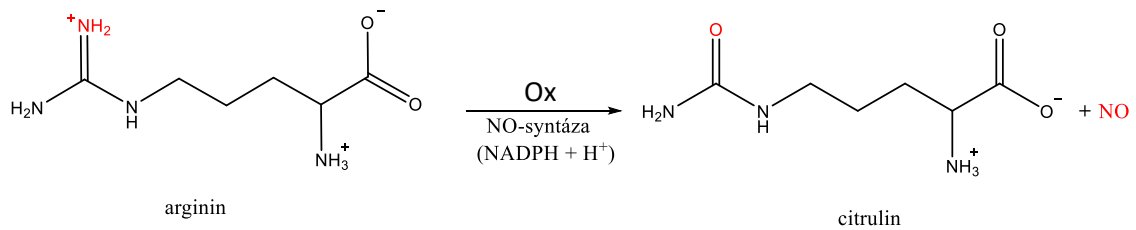
Obr. 34: Cyklický guanosin-3',5'-fosfát (cGMP).

#### 1.4.2.1 Oxid dusnatý a jeho účinky na hladký sval

Oxid dusnatý (NO) je plyn bez zápachu, barvy a je jedovatý, jelikož může ve vlhkém prostředí způsobit edém plic a poleptání respiračního traktu [37]. Avšak oxid dusnatý je také malou signální molekulou vyskytující se v našem těle. Například se účastní nespecifické obrany organismu v imunitním systému, má antiproliferační účinky (tlumí nádorové bujení), v kardiovaskulárním systému se podílí na udržování tonu cév a krevního tlaku, v centrální nervové soustavě působí jako buněčný posel, reguluje tvorbu synapsí a výbojovou aktivitu neuronů, je považován za jeden z mediátorů bolesti, hraje roli při vzniku morfinové tolerance (dokonce i při závislosti na alkohol a kokain), v hladké svalovině působí relaxačně (způsobuje prostřednictvím vazodilatace erekci) a našli bychom mnoho dalších funkcí [38]. Nyní se zaměříme na princip funkce oxidu dusnatého v relaxaci hladké svaloviny.

Pro zajímavost je zde uveden mechanismus působení NO v těle. Acetylcholin má vazodilatační funkci, tedy navozuje relaxaci hladkého svalstva krevních cév. Avšak on sám nepůsobí přímo na hladké svaly, ale nejprve interaguje s endoteliálními buňkami malých cév přes receptory. Tyto receptory jsou spřažené s intracelulárním uvolněním  $\text{Ca}^{2+}$  přes fosfatidylinositolový cyklus. Zvýšená hladina vápenatých iontů vede k uvolnění NO z endotelu buňky (vytváří se pomocí NO-syntetázy), který snad z buňky uniká a difunduje do hladkého svalu, kde reaguje s hemovou skupinou rozpustné guanylátcyklázy (to je vlastně vnitrobuněčná senzor NO), což způsobí její aktivaci. Aktivace guanylátcyklázy vede k zvýšení intracelulární koncentrace cGMP, tím dochází ke stimulaci některých cGMP-dependentních proteinkináz, konkrétně v buňkách hladké svaloviny cévní stěny, se jedná o proteinkinázu G, která inhibuje kinázu, která fosforyluje lehké myozinové řetězce. Snížená aktivita myozinové kinázy vede k omezení fosforylace lehkých myozinových řetězců, a tedy ke snížení ATPázové aktivity a k omezení interakce aktinu s myozinem. Výsledkem je relaxace cévní stěny.





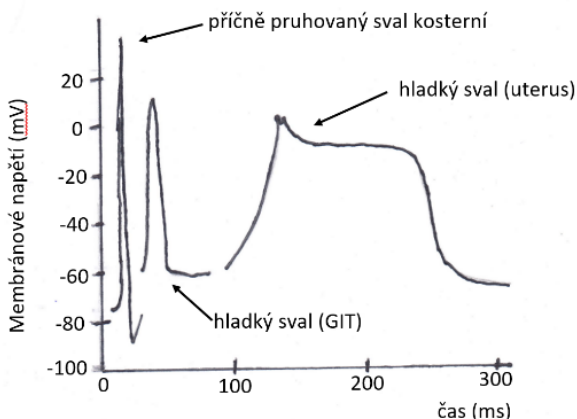
Obr. 35: Reakční schéma biosyntézy oxidu dusnatého.

NO-synthasa je syntetizována v těle z bazické aminokyseliny argininu a produkty jsou citrulin a NO, reakční schéma nám ukazuje Obr. 35 [31,38]. A citrulin se pak v močovinovém cyklu mění zpátky na arginin.

Na tomto místě je vhodné zmínit nitroglycerin, který se používá pro léčbu anginy pectoris, což je forma ischemické choroby srdeční. Angina pectoris se projevuje svíravými bolestmi na hrudi, často vystřelující do krku a levé horní končetiny. Toto onemocnění je způsobeno přechodnou ischemií srdečního svaly v důsledku nedostatečného zásobení okysličenou krví (vazokonstrikce (zúžení) koronárních cév). Po podání nitroglycerinu pacientovi dochází k jeho hydrolyze na nitráty a ty jsou následně v buňkách redukovány na NO, to opět přes svůj senzor – guanylátcyklázu zvýší koncentraci cGMP, to následně vede k relaxaci hladkého svalstva koronárních cév [31,39].

## 1.5 Porovnání délky trvání svalového stahu hladkého a kosterního svalu

Pokud bychom porovnali délku trvání a rychlost nástupu svalového stahu hladkého svalu s kosterním svaem. Dojdeme na základě výše uvedených faktů (např. pomalejší svalová relaxace, regulace činnosti ATPázy, apod.) k závěru, že svalový stah hladké svaloviny má pomalejší nástup a také trvá poněkud déle. Avšak na délku svalové kontrakce má vliv i délka trvání akčního potenciálu, který způsobí depolarizaci membrány svalové buňky. Například akční potenciál s dlouhou dobou trvání bychom našli v děloze či močovodu. Porovnání hladké a kosterní svaloviny můžeme vidět na obrázku Obr. 36 [26,27,40].



Obr. 36: Časová souvislost mezi akčním potenciálem sarkomery příčně pruhovaného svalu kosterního a hladkého svalu dělohy (uterus).

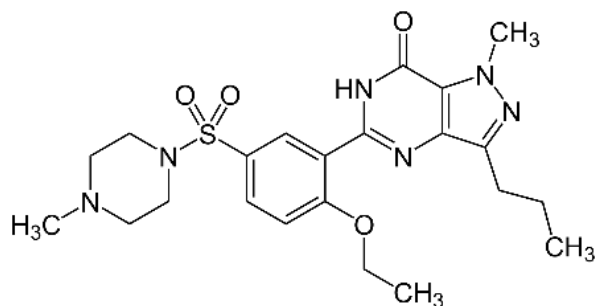
Existují však i některé hladké svaly, které ke své excitaci vůbec žádnou zevní stimulaci nepotřebují, tedy jsou schopné se stahovat sami, bez vnějšího řízení. Tento autonomní stah je založen na schopnosti spontánní změny membránového potenciálu (depolarizaci membrány). Tato schopnost spontánní změny membránového potenciálu má typický rytmus, který se nazývá bazální elektrický rytmus (BER). Frekvence a velikost BER je velice závislá na řadě faktorů (chemické prostředí, mechanické dráždění). Příkladem orgánu, jehož hladké svalstvo se řídí tímto mechanismem je žaludek, nebo ledvinová pánvička [26].

## 1.6 Léky s účinky na hladké svalstvo

V této relativně krátké podkapitole si pro zajímavost uvedeme látky, které mají vliv na hladké svalstvo. Zaměříme se pouze na vybrané lékové skupiny, kdy si charakterizujeme účinek dané skupina a případný mechanismus účinku [32].

První skupinou, u které se zastavíme, jsou léčiva určená k léčbě onemocnění srdce a cév. Konkrétně se podíváme na skupinu léčiv nazvanou vazodilatancia [32].

Vazodilatancia jsou skupinou léčiv, která navozují relaxaci hladké svaloviny cévní stěny na úrovni tepen a žil. Mechanismus účinku se velice liší u jednotlivých preparátů. Některá vazodilatancia mohou mít další významný farmakologický účinek, například zlepšují tokové vlastnosti krve, pro takové další užitečné vlastnosti bývají označována jako vazoprotektiva [32].



<https://cs.wikipedia.org/wiki/Sildenafil#/media/Soubor:Sildenafil.svg>

Obr. 37: Chemický vzorec sildenafilu (Viagra®).



[https://cs.wikipedia.org/wiki/Sildenafil#/media/Soubor:Viagra\\_in\\_Pack.jpg](https://cs.wikipedia.org/wiki/Sildenafil#/media/Soubor:Viagra_in_Pack.jpg)

Obr. 38: Sildenafil (Viagra®) balení.

Protože mechanismus svalového stahu má několik kroků tak i míst terapeutických přístupů je několik. Prvním přístupem je dosažení vazodilatace působením na receptor, tedy cestou poklesu hyperpolarizace buněčných membrán snížením uvolňování vápenatých iontů (blokátory  $\text{Ca}^{2+}$  kanálu či aktivátory  $\text{K}^+$  kanálu). Další možností je sekundární zvýšení koncentrace cyklického adenosinmonofosfátu (cAMP) nebo cyklického guanozinmonofosfátu (cGMP). Na této úrovni je možné stimulovat aktivitu jednotlivých cykláz (adenylátcyklázu nebo guanylátcyklázu) nebo inhibovat degradaci cAMP a cGMP blokadou fosfodiesterázy (PDE). Cestou aktivací cykláz působí například nitráty a donory NO (již pro nás známý nitroglycerin, mechanismus působení nitrátů v podkapitole Oxid dusnatý a jeho účinky na hladký sval). Další skupinou jsou aktivátory solubilní guanylátcyklazy (sGC) a inhibitory degradace cAMP a cGMP - fosfodiesterázy. Jako příklad preparátu působící jako inhibitor fosfodiesterázy PDE-5 je sildenafil (obchodně známa pod názvem Viagra®, Obr. 37, Obr. 38) [32].

Další skupinou léčiv, o které se stručně zmíníme, jsou látky ovlivňující vegetativní nervový systém. Do této skupiny se řadí léky, které ovlivňují kardiovaskulární systém (dilatace (rozvolnění) koronárních cév), bronchiální systém (relaxuje hladkou svalovinu bronchů), děloha (potlačení kontrakcí hladké svaloviny dělohy tzv. tokolytika), GIT (tlumí střevní peristaltiku), CNS (některé látky mají psychostimulační účinky) [32].

## 1.7 Onemocnění hladké svaloviny

Poruchy hladké svaloviny většinou nesouvisí se samotným poškozením vláken hladkého svalu, ale spíše se jedná o poruchy stimulace a řízení hladké svaloviny. Zde se pro jednoduchost budeme zabývat pouze několika poruchami hladké svaloviny.

### 1.7.1 Kolika

Jedná se o druh svalové křeče (nadměrný či dlouhodobý stah), který je charakteristický pro hladkou svalovinu. Tyto tzv. kolikovitě stahy jsou spojeny s nárůstem a poklesem bolesti. Často kolika vzniká jako snaha překonat nějakou mechanickou překážku, například žlučové či ledvinové kameny [27].

### 1.7.2 Prinzmetalova angina pectoris

Jedná se o patologické stahy hladké svaloviny koronárních cév. Většinou se jedná o velice nebezpečné stavy (infarkt myokardu). Při tomto stavu se postiženému podávají vysoké dávky donorů NO (nitroglycerin) [27].

### 1.7.3 Raynaudova choroba

Jedná se další formu patologických stahů cév. Často se jedná o stahy malých cév přivádějící krev do ruky, projevy mohou být bledé až bolestivé prsty na ruce z důvodu nedostatku živin. Příčinou mohou být dlouhodobá práce s pažemi nad hlavou nebo práce s vibrujícími nástroji (bourací kladiva, pily, apod.), případně následky poranění cév či omrzliny [27].

### 1.7.4 Astma

Je chronické zánětlivé onemocnění dýchacích cest, přičemž dochází k opakovanému zúžení průdušek v závislosti na různé podněty. Vlivem zvýšené činnosti dýchacích cest, dochází k hypertrofii svalových buněk a tím ještě k zúžení průdušek za standardních stavů. Stavy jsou charakteristické pocitem dušnosti a opakovanými stavy pískotů při dýchání [32].

## 1.8 Seznam použité literatury

- [1] Gába, A.; Baďura, P.; Dygrýn, J.; Hamřík, Z. *Národní zpráva o pohybové aktivitě českých dětí a mládeže 2022*; Univerzita Palackého v Olomouci: Olomouc, **2022**.
- [2] Balada, J.; Baladová, G.; Boněk, J. Rámcový vzdělávací program pro gymnázia RVP G, **2021**.
- [3] Fryč, J.; Matušková, Z.; Katzová, P. *Strategie vzdělávací politiky České republiky do roku 2030+*; Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy: Praha 1, **2020**.
- [4] Balada, J.; Baladová, B.; Boněk, J. Rámcový Vzdělávací Program pro Gymnázia Se Sportovní Přípravou, **2007**.
- [5] Seznam fakultních škol. <https://www.natur.cuni.cz/fakulta/o-fakulte/fakultni-skoly/seznam-fakultnich-skol> (Accessed May 1, **2022**).
- [6] Gymnázium Botičská. Společně s přírodou – školní vzdělávací program (ŠVP). <http://www.gybot.cz/rubrika/131-O-skole-Skolni-vzdelavaci-program/index.htm>.
- [7] Tomášková, L. ŠVP GJK „Per aspera ad astra!“. <https://sites.google.com/a/gjk.cz/svp/5-osnovy>.
- [8] Nekužová, M. Školní vzdělávací program: KALOKAGHATIA - rozvoj ducha a těla, **2007**.
- [9] Knecht, P. *Učebnice z pohledu pedagogického výzkumu*; Pedagogický výzkum v teorii a praxi ; sv. 11; Paido: Brno, **2008**.
- [10] Průcha, J. *Učebnice: teorie a analýzy edukačního média příručka pro studenty, učitele, autory učebnic a výzkumné pracovníky*; Edice pedagogické literatury; Paido: Brno, **1998**.
- [11] 561/2004 Sb. Školský zákon. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-561> (Accessed May 2, **2022**).
- [12] Klečka, M. *Teorie a praxe tvorby učebnic chemie pro střední školy Theory and use of creating chemistry textbooks for secondary schools*. Disertační práce, Univerzita Karlova v Praze Přírodovědecká fakulta: Praha, **2011**.
- [13] Kudrnová, T. *Bílkoviny v učivu chemie na základních a středních školách*. Bakalářská práce, Univerzita Karlova v Praze Přírodovědecká fakulta: Praha, **2008**.
- [14] Kundratová, M.M. *VÝUKA KOSTERNĚ-SVALOVÉ SOUSTAVY NA STŘEDNÍCH ŠKOLÁCH*. Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze Pedagogická fakulta: Praha, **2014**.
- [15] Mezuliániková, D. *Tvorba a ověření didaktických materiálů k tématu podpurné prostředky ve sportu a jejich působení na lidský organismus*. Diplomová práce, Univerzita Karlova Přírodovědecká fakulta: Praha, **2018**.
- [16] Benešová, E. *Stručný přehled bílkovin kosterního svalu*. Bakalářská práce, NIVERZITA KARLOVA V PRAZE FARMACEUTICKÁ FAKULTA V HRADCI KRÁLOVÉ: Hradec Králové, **2014**.
- [17] Vodrážka, Z. *Biochemie: pro studenty středních škol a všechny, které láká tajemství živé přírody*; Scientia: Praha, **1998**.
- [18] Kolář, K. *Chemie (organická a biochemie) pro gymnázia*. 2; 1. vyd.; SPN - pedagogické nakladatelství: Praha, **1997**.
- [19] Mareček, A. *Chemie pro čtyřletá gymnázia*. 3. díl; Vyd. 1.; Nakladatelství Olomouc: Olomouc, **2000**.
- [20] Banýr, J. *Chemie pro střední školy: obecná, anorganická, organická, analytická, biochemie*; 2. vyd.; SPN - pedagogické nakladatelství: Praha, **2001**.
- [21] Vacík, J. *Přehled středoškolské chemie*; 4. vyd., v SPN-pedagogickém nakladatelství 2. vyd.; SPN - pedagogické nakladatelství: Praha, **1999**.
- [22] Jelínek, J. *Úvod do biochemie a molekulární biologie (nejen) pro gymnázia*; Vydání první.; Computer Media: Prostějov, **2021**.
- [23] Kočárek, E. *Biologie člověka*; Biologie pro gymnázia; 1. vydání.; Scientia: Praha, **2010**.
- [24] Novotný, I. *Biologie člověka*; 5., rozšířené a upravené vydání.; Fortuna: Praha, **2015**.
- [25] BALLSTAEDT, S.-P. *Visualisieren: Bilder in wissenschaftlichen Texten*; 1st ed.; Huter & Roth KG: Wein, **2012**.
- [26] Kittnar, O. *Lékařská fyziologie*; 1st ed.; Grada Publishing, a. s.: Praha 7, **2011**.
- [27] Richard, R. *Fyziologie a patologická fyziologie pro klinickou praxi*; 1st ed.; Grada Publishing, a. s.: Praha, **2015**.
- [28] Konrádová, V. *Funkční histologie*; 2. vyd.; H & H: Jinočany, **2000**.
- [29] Balko, J.; Tonar, Z.; Varga, I. *Memorix histologie*; 2nd ed.; Stanislav Juhaňák - TRITON: Praha 10, **2017**.

- [30] Lüllmann-Rauch, R. *Histologie*; 3rd ed.; Grada Publishing a.s.: Praha 7, **2012**.
- [31] Robert K. Murray; Bender, A.D.; Botham, M.K.; Kennelly, J.P. *Harperova Ilustrovaná Biochemie*; 28; 5.; Nakladatelství Galén: Praha; Vol. 2012.
- [32] Švihovec, J.; kolektiv. *Farmakologie*; 1st ed.; Grada Publishing a.s.: Praha, **2018**.
- [33] Tidow, H.; Nissen, P. Structural Diversity of Calmodulin Binding to Its Target Sites. *FEBS J.*, **2013**, *280*, 5551–5565.
- [34] Wang, C.-L.A. Caldesmon and Smooth-Muscle Regulation. *Cell Biochem. Biophys.*, **2001**, *35*, 275–288.
- [35] Wikipedia. Calsequestrin. *Wikipedia*, **2022**.
- [36] Vácha, M. Srovnávací fyziologie živočichů | Přírodovědecká fakulta. [https://is.muni.cz/do/sci/UEBBiol/um/sfz/ch08\\_s04.html?lang=en](https://is.muni.cz/do/sci/UEBBiol/um/sfz/ch08_s04.html?lang=en) (Accessed Mar 27, **2022**).
- [37] BEZPEČNOSTNÍ LIST - Oxid dusnatý. *Bezpeč. List*, **2015**.
- [38] Kupková, Z.; Beneš, L. *Chemické vlastnosti, biologické účinky a metody detekce biologického oxidu dusnatého* In: Proceedings of the Chemické listy; 3; Chemické listy: Brno, **2003**; Vol. 98, pp. 116–122.
- [39] Hradec, J.; Bultas, J.; Želízko, M. Stabilní angina pectoris. Doporučený diagnostický a léčebný postup České kardiologické společnosti. *Cor Vasa*, **2010**, *52*, 543–561.
- [40] Trojan, S.; Langmeier, M.; Kittnar, O. *Lékařská fyziologie*; 4th ed.; Grada Publishing, a. s.: Praha, **2003**.