

Univerzita Karlova

Přírodovědecká fakulta

Studijní obor: Učitelství biologie pro střední školy
Studijní program: Učitelství biologie pro střední školy



Bc. Jakub Miškovský

Výuková aplikace „Proteosyntéza“

Protheosynthesis – an Educational Application

Diplomová práce

Vedoucí práce: PhDr. Petr Novotný, Ph.D.
Praha, 2024

Poděkování

Chtěl bych poděkovat PhDr. Petru Novotnému Ph.D. za vedení této diplomové práce, za jeho trpělivost, věcnost, přátelský přístup, cenné rady a odborný dohled. Dále bych rád poděkoval RNDr. Vandě Janštové Ph.D. jako konzultantovi práce a dalším pracovníkům Katedry učitelství a didaktiky biologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy za věcnou oponenturu při prvotním testování hry. V neposlední řadě děkuji své ženě Bc. Kláře Miškovské a dalším členům rodiny za podporu během celé doby mého studia.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně 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 1. 8. 2024

.....

Abstrakt

Téma genetiky je dlouhodobě vyhodnocováno, jako jedno z nejnáročnějších témat ve výuce biologie. Jednotlivé koncepty genetiky jsou často velmi abstraktní a těžko uchopitelné, což vede k tvorbě řady miskonceptů. Proto jsem se v rámci své diplomové práce rozhodl vytvořit interaktivní výukový materiál, který by mohl lépe pochopit proces tvorby bílkovin v našem těle (proteosyntézu). Výsledkem je hra, která provede studenta tvorbou enzymu, který dále stimuluje tvorbu melaninu a tím i tvorbu opálení kůže. Díky tomuto scénáři hra napomáhá pochopit jednotlivé děje na cestě od DNA k funkčnímu proteinu, napomáhá je v rámci buňky správně lokalizovat a propojovat mezi sebou. Hra byla posléze otestována na studentech čtyřletého a osmiletého gymnázia pomocí znalostních testů, kde studenti, kteří měli hru zařazenou do výuky, dosahovali lepších výsledků než ti, kteří ji nehráli.

Klíčová slova: výuková aplikace, proteosyntéza, transkripce, translace, melanin, fenotyp, genotyp, genetika, molekulární biologie, vzdělávání, výuka biologie

Abstract

The topic of genetics has long been evaluated as one of the most challenging topics in the teaching of biology. The individual concepts of genetics are often very abstract and difficult to grasp, which leads to the creation of a number of misconceptions. Therefore, as part of my diploma thesis, I decided to create interactive teaching material that could better understand the process of protein formation in our body (proteosynthesis). The result is a game that guides the student through the creation of an enzyme that further stimulates the production of melanin and the creation of a tan on the skin. Thanks to this scenario, the game helps to understand the individual events on the way from DNA to a functional protein, helps to correctly locate and connect them within the cell. The game was later tested on four-year and eight-year high school students using knowledge tests, where students who had the game included in their lessons achieved better results than those who did not play it.

Key words: education app, transcription, translation, melanine, genetics, phenotype, genotype, molecular biology, education, biology education

Obsah

1. ÚVOD	7
2. CÍLE PRÁCE.....	8
3. TEORETICKÁ ČÁST	9
3.1.1. DIDAKTICKÁ HRA	9
3.1.2. VYUŽITÍ HER VE ŠKOLNÍM PROSTŘEDÍ	11
3.1.3. VYUŽITÍ DIDAKTICKÝCH HER VE VÝUCE BIOLOGIE	13
3.1.4. VYUŽITÍ DIDAKTICKÝCH HER VE VÝUCE GENETIKY	14
3.2. ENGAGEMENT	16
3.3. METODICKÁ PŘÍPRAVA K EFEKTIVNÍMU ZAČLENĚNÍ DIDAKTICKÉ HRY DO VÝUKY... 16	16
3.4. BIOLOGICKÁ VÝCHODISKA DIPLOMOVÉ PRÁCE	17
3.4.1. GENETIKA	17
3.4.2. PROTEOSYNTÉZA.....	18
3.4.3. MUTACE DNA	19
3.4.4. MUTAGENNÍ ÚČINKY UV ZÁŘENÍ.....	20
3.4.5. MELANIN.....	20
3.4.6. MECHANISMUS TVORBY MELANINU PŘI EXPOZICI JEDINCE UV ZÁŘENÍ.....	21
3.4.7. FOTOTYP	22
3.5. STUDIE TÝKAJÍCÍ SE VÝUKY A ZNALOSTÍ V OBORU GENETIKA.....	23
3.6. POSTAVENÍ GENETIKY V ČESKÉM ŠKOLSTVÍ.....	24
3.6.1. RVP, ŠVP A TEMATICKÉ PLÁNY.....	24
3.6.2. RVP, ŠVP A TEMATICKÉ PLÁNY VE VZTAHU K VÝUCE GENETIKY	25
4. METODICKÁ ČÁST.....	28
4.1. VOLBA TÉMATU DIDAKTICKÉ APLIKACE.....	28
4.2 TVORBA HRY	28
4.2.1. SCÉNÁŘ HRY	28
4.2.2. TECHNICKÉ ŘEŠENÍ.....	29
4.3. ODBORNÁ Oponentura HRY	32
4.4 OVĚŘENÍ PŘÍNOSU HRY.....	32
4.4.1. VZOREK	32
4.4.2. TESTOVÁNÍ.....	33
4.4.3. VÝZKUMNÝ NÁSTROJ	33
4.5. ANALÝZA DAT.....	35
4.5.1. ANALÝZA ZNALOSTNÍHO TESTU	35
4.5.2. ANALÝZA POSTOJOVÉHO DOTAZNÍKU	35
5. VÝSLEDKY	35
5.1. SCÉNÁŘ	36
5.2. METODICKÁ PŘÍPRAVA K EFEKTIVNÍMU ZAČLENĚNÍ HRY DO VÝUKY	40
5.3. HODNOCENÍ PANELEM EXPERTŮ.....	42
5.4. ZNALOSTNÍ TEST	42
5.5. ANALÝZA POSTOJOVÉHO DOTAZNÍKU	44
6. DISKUZE.....	46
7. ZÁVĚR.....	49
8. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ	50
9. PŘÍLOHY	67

PŘÍLOHA Č.1: ZPRÁVA PRO ODBORNÍKY	67
PŘÍLOHA Č.2: ZNALOSTNÍ TEST	68
PŘÍLOHA Č.3: PŘEHLED OTÁZEK „ENGAGEMENT“ DOTAZNÍKU	70
PŘÍLOHA Č.4: JEDNOTLIVÉ SNÍMKY HRY	71

1. Úvod

Genetika je relativně mladá a velmi dynamická vědní disciplína, která velkou měrou ovlivňuje svět kolem nás. Během let se stala nedílnou součástí mnoha přírodních i medicínských oborů. Setkáváme se s ní v genetických poradnách, své místo si našla i v běžné lékařské diagnostice, je nám známo mnoho chorob, které jsou s genetikou přímo či nepřímo spjaté. V supermarketu se setkáme s produkty z tzv. transgenních (geneticky upravených) organismů jako je například pšenice či rajčata (Nawaz et al., 2023). Aktuálním a velmi ožehavým tématem jsou taktéž mRNA vakcíny (např. proti nemoci COVID-19). Jedná se proto o jednu z oblastí, kde je potřeba intenzivně pracovat na aktualizaci vzdělávacích obsahů a ontodidaktické transformaci vědeckých poznatků do učiva. Rychlý rozvoj poznání mechanismů genetiky spolu s naznačeným výrazným dopadem do každodenního života žáků vytváří požadavky, aby české školství opouštěli žáci, kteří jednotlivým konceptům genetiky rozumí a dokáží se v nich orientovat.

Ve výuce biologie (a to nejen na českých školách) se jedná o obsáhlé a náročné téma (Bahar et al., 2010a, b), které se navíc v drtivé většině případů objevuje až na konci studia (Machová, 2019). Pojmy, schémata a procesy se kterými se během studia žáci setkávají jsou často velmi abstraktní a jen těžko uchopitelné, což vede ke vzniku mnoha miskoncepcí (Machová & Ehler, 2021). Pro výše zmíněné, jsem se v rámci své diplomové práce rozhodl pomoci širšímu pochopení genetiky z řad studentů středních škol a víceletých gymnázií. Ze své pedagogické praxe na gymnáziu vím, že dnešní (a troufám si říct, že i následující) generace velmi dobře reagují na zařazení informačních technologií. Dle mého názoru hrají informační technologie důležitou roli v motivaci se danému tématu naplno věnovat a díky grafickému zpracování napomáhají lepšímu pochopení probírané látky. Výukové aplikace, resp. hry, jsou mnohými studii vyhodnocovány jako velmi efektivní edukační nástroje, a to nejen ve výuce biologie, ale napříč celým spektrem vyučovaných předmětů (Costa, 2022; Selvi & Çoşan, 2018; Zeng, 2019).

A jelikož jsou mi informační technologie blízké, rozhodl jsem se ve své diplomové práci věnovat tvorbě výukové aplikace. V této aplikaci jsem navrhl příběh, díky kterému student lehce pochopí, co se během proteosyntézy děje, co ji spouští, jak probíhá a co je jejím výsledkem.

Výstupem je předložená práce, která je tvořena literárním úvodem, metodikou, vyhodnocením výsledků a diskuzí. Literární úvod obsahuje kapitoly týkající se zejména

výuky genetiky na českých středních školách. V jednotlivých podkapitolách jsou nejdříve rozebrány jednotlivé pojmy, analýza RVP, ŠVP, učebnic a článků zabývajících se výukou genetiky na středních školách. Rešeršní kapitola obsahuje podkapitoly věnující se využití didaktických her ve výuce biologie, resp. genetiky. Dále jsou přítomny části odbornějšího rázu dotýkající se témat molekulární biologie, centrálního dogma molekulární biologie, mutací a tvorby melaninu jakožto obrannému mechanismu před vznikem mutací v kožních buňkách.

Metodická část popisuje proces tvorby výukového materiálu od procesu tvorby scénáře, přes tvorbu grafiky a programování pilotní verze, až po testování přínosu výukové aplikace ve školní praxi.

V sekci Výsledky jsou prezentovány výsledky a jejich statistické zpracování, které společně mapují přínos materiálu v pochopení daného tématu ve dvou třídách, kde byla učební jednotka s využitím aplikace odučena v kontrastu se třídou třetí, kde učební jednotka zařazena nebyla.

V samotném závěru jsou výsledky diskutovány, jsou zde popsány limity aplikace a její možná vylepšení, dále zde dochází ke shrnutí, které integruje pohled na problematiku her v rámci výuky biologie, resp. genetiky.

2. Cíle práce

Za svou relativně krátkou pedagogickou praxi, jsem již stihl zjistit, jaké je postavení informačních technologií v životech dnešní generace středoškolských studentů a jak důležitou roli (vzhledem k motivaci k učení) hraje příběh. V časovém rámci vypracování diplomové práce není prostor navrhnout kvalitní příběh a současně vytvořit dostatečně kvalitně naprogramovanou výukovou aplikaci (resp. hru). Proto cílem této práce zůstalo vytvořit kvalitní scénář a pilotní verzi tak, aby bylo možné formou didaktického výzkumu otestovat, jak studenti tento způsob výuky přijmou a jak velkou roli (zda vůbec nějakou) hraje v procesu pochopení dané látky. Implementace hry je pak provedena pouze v pilotním provedení.

Na uvedeném základě jsem si jako hlavní cíle pro svoji diplomovou práci stanovil:

- 1) Navrhnout scénář/příběh/libreto pro hru zaměřenou na rozvoj kognitivního porozumění základních genetických principů u žáků vyššího gymnázia
- 2) Implementovat pilotní verzi navržené hry
- 3) Výzkumně ověřit didaktický přínos užití pilotní verze

3. Teoretická část

Téma genetiky je dlouhodobě vnímáno jako jedno z nejnáročnějších témat učiva biologie napříč českým i zahraničním školstvím. Výuka genetiky je v mnoha studiích hodnocena jako složitá, a to jak studenty (Çimer, 2012), tak pedagogickými pracovníky (Bahar et al., 2010a, b; Johnstone & Mahmoud, 1980). V českém prostředí toto téma zmapovala ve své diplomové práci Natálie Tichá, kde genetika obsadila první místo, co se náročnosti týká a čtvrté v žebříčku důležitosti (Tichá, 2019).

3.1.1. Didaktická hra

Samotný pojem hra by se dal nejlépe definovat, jako činnost jednoho, či více osob přinášející radost či užitek (Horyna, 2002). Jako vůbec první, kdo se tématem hry zabýval, bývá uváděn známý řecký filosof Platón. Ten se ve svém díle „Zákony“ mimo samotné definice hry zabývá i tím, kterak u dětí hru povzbuzovat. Téma hry se až na výjimky (například Francouz J. J. Rousseau) dostalo do povědomí psychologů pořádně až v průběhu 19. století (Maňák, 1997). Tématem hry se dále zabývali i takoví velikáni jako např. Sigmund Freud či Jean Piaget. Ten pojem hra uvedl do kontextu jednotlivých fází kognitivního vývoje. Filosofický i pedagogický slovník se shodují, že hra by měla být činností plně dobrovolnou. Pedagogický slovník pojem hra dále rozvíjí ve vztahu k dítěti a nezapomíná na její výchovnou funkci (Horyna, 2002; Průcha, 2008). Pedagogický slovník dále obsahuje informace o tom, jak mohou být hry strukturovány, jakou mohou mít podobu a co je potřebné k její realizaci viz. následující úryvek:

„Hra je forma činnosti, která se liší od práce i od učení. Člověk se hrou zabývá po celý život, avšak v předškolním a školním věku má specifické postavení – je vůdčím typem činnosti. Hra má řadu aspektů: aspekt poznávací, procvičovací, emocionální, pohybový, motivační, tvořivostní, fantazijní, sociální, rekreační, diagnostický, terapeutický. Zahrnuje

činnosti jednotlivce, dvojice, malé skupiny i velké skupiny. Existují hry, k jejichž provozování jsou nutné speciální pomůcky (hračky, herní pomůcky, sportovní náčiní, nástroje, přístroje). Většina her má podobu sociální interakce s explicitně formulovanými pravidly (danými dohodou aktérů nebo společenskými konvencemi). Výchozí situace, průběh a výsledky některých her lze formalizovat a rozhodování aktérů exaktně studovat.” (Průcha, 2008).

Právě ze studií, které vyhodnocovaly jednotlivé aspekty hry a chování hráčů vzniklo rozdělení her na *kooperativní* a *kompetitivní*. Kompetitivní hry se jeví pro školní prostředí jako ne zcela vhodné, jelikož hra jako taková, a hlavně její edukativní význam zůstávají upozaděny a pro hráče se stává primárním cílem vítězství. V tomto případě hráči dokonce doufají v selhání toho druhého a takové selhání jim může přinášet i uspokojení. Z tohoto ohledu je mnohem lepší sáhnout po hře kooperativní, kde je nutná spolupráce a rozvoj sociálních dovedností je veden pozitivním směrem. Pokud bychom přeci volili hru kompetitivní, bylo by vhodné, aby oním soupeřem byl někdo/něco mimo kolektiv (Kasíková, 1997).

Hry je (mimo předcházející rozdělení) možné klasifikovat podle různých kritérií. V kontextu předškolního vzdělávání tato kritéria formulovala například Opravilová (2016) následovně:

- a) podle schopností, které rozvíjejí (smyslové, pohybové, intelektuální a speciální)
- b) podle typů činnosti (napodobovací, dramatizující, konstruktivní a fiktivní)
- c) podle místa (exteriérové a interiérové)
- d) podle počtu hráčů (individuální, párové a skupinové)
- e) podle věku (hra kojenců, batolat, předškoláků, školáků, dospělých)

Pojem „didaktický“ vychází z řeckého „*didasko*“ = učím, vyučuji. Didaktická hra je pojem definující nejen společenské, ale i například pohybové či video hry, pomáhající jejich hráčům procvičovat, rozvíjet či nově nabývat specifických schopností, znalostí či zkušeností. Didaktické hry mohou nabývat mnoha podob, jako je například karetní, desková, pohybová či počítačová hra. Ve školním prostředí bývají tyto hry řízeny pokyny vyučujícího, kdy vyučující dohlíží na splnění cílů didaktické hry, její průběh a závěrečné vyhodnocení (Sieglová, 2019).

V zahraniční literatuře se v kontextu didaktických her setkáváme s pojmem “*serious games*”. Zahraniční literatura tento pojem definuje jako hry navržené speciálně pro tréninkové a vzdělávací účely, jejichž cílem je poskytnout poutavou a interaktivní vzdělávací zkušenost (Kato, 2010). Oproti hrám klasickým se nezaměřují pouze na zábavu, ale také na řešení problémů skutečného světa. Didaktické hry zahrnují vzdělávací obsah s herními prvky, což zajišťuje, že herní cykly vedou k účinnějšímu učebnímu procesu (Watsjold et al., 2022). Při návrhu takovýchto her je nutné klást důraz na propojení designu učení s herní mechanikou a logikou. Dále tyto hry umožňují vytvořit přístup, který se zaměřuje na různou rychlost a různé potřeby studentů (Lamas et al., 2016; Hannig et al., 2012). Jedná se tedy o cenný nástroj, umožňující uspokojit potřeby různých studentů a posílit jejich zapojení do procesu učení (Paneva-Marinova & Pavlov, 2018).

Výzkumy ukazují, že didaktické hry mohou být ve srovnání s konvenčními metodami výuky mnohem efektivnější (Keller et al., 2022). Nabízejí kvalitní, nákladově efektivní a flexibilní přístup ke vzdělávání, který je příjemný a usnadňuje interakci nejen mezi učitelem a studenty, ale i mezi vrstevníky navzájem (Gentry et al., 2019). Didaktické hry jsou využívány v různých vzdělávacích oblastech, a to nejen ve školních zařízeních. Své využití najdou i v průběhu odborné přípravy, například v oborech jako je medicína, obchod, letectví apod. Didaktické hry najdou své uplatnění i v oborech speciální pedagogiky (Kokkalia et al., 2017).

Používání didaktických her ve vzdělávání se stává stále populárnějším alternativním doplňkovým vzdělávacím přístupem napříč různými obory a úrovněmi vzdělávání (Hainey et al., 2022). Navzdory potenciálním přínosům didaktických her je nezbytné si uvědomit, že nemusí poskytnout okamžité nebo dokonalé řešení všech výzev, které na studenty během vzdělávacího procesu čekají (Borji & Khaldi, 2014). Zůstávají však slibnou cestou pro zvýšení zájmu studentů o danou látku a jsou tedy vhodným alternativním doplňkem ke klasickým formálním vzdělávacím přístupům.

3.1.2. Využití her ve školním prostředí

V soudobém školství je možné pozorovat trend odklonu od tradiční frontální výuky, která není pro žáky příliš záživná. Za vše mluví nová koncepce rámcových vzdělávacích programů, které kladou důraz na samostatnost žáků, na jejich tvořivost, kreativitu a samostatnost.

V současné době se k naplnění těchto bodů a zvýšení motivace žáků, klade důraz na mezipředmětové vztahy, aplikaci nových poznatků v praxi například formou projektové

výuky a v neposlední řadě začleňování didaktických her do učebního procesu.

Didaktických her pro rozličné spektrum předmětů byla vytvořena celá řada. Prvními předměty byly především český a anglický jazyk, či matematika. V průběhu posledních let se využití her ve školním prostředí stalo populárním způsobem, jak podněcovat zájem studentů o učení a zlepšovat jejich akademické výsledky téměř ve všech oborech. Herní principy a jejich mechanismus lze efektivně začlenit do vzdělávacího procesu, což umožňuje studentům učit se prostřednictvím zábavných a interaktivních aktivit. Hry mohou poskytnout okamžitou zpětnou vazbu, motivovat studenty k dosažení cílů a posílit získávané koncepty skrze opakování v poutavém kontextu. Tato metoda se ukázala být obzvláště účinná ve zvyšování angažovanosti studentů, kteří se jinak mohou s tradičními metodami učení méně a hůře zapojit (Smith & Johnson, 2020).

Hry ve vzdělávání mohou nabízet jistou formu adaptability a flexibility, což umožňuje učitelům přizpůsobit výukový proces individuálním potřebám a stylům učení každého studenta. Existují i studie mapující přínos didaktických her v oblasti inkluzivní pedagogiky. Např. Mubin a Poh (2019), popsali přínos didaktických her ve vzdělávání žáků s poruchami autistického spektra.

Ve školním prostředí se můžeme setkat s digitálními hrami pro výuku matematiky, které studentům umožňují procvičovat matematické operace. Stejně tak jsou již nějakou dobu ve školní praxi využívány jazykové hry pro podporu rozvoje slovní zásoby či gramatických dovedností. Hry (všeobecně) také mohou podporovat rozvoj důležitých sociálních a emocionálních dovedností, jako jsou týmová práce, komunikace a řešení konfliktů. Využití her ve výuce rovněž podněcuje kritické myšlení a připravuje studenty k tomu umět se vypořádat s problémy. Učitelé mohou implementovat hry zaměřené na řešení komplexních problémů, což studenty nutí analyzovat situace, vytvářet strategie a dělat informovaná rozhodnutí. Tento způsob učení připravuje studenty na reálný svět tím, že v nich podporuje schopnost logického a strategického myšlení, které jsou klíčové pro osobní i profesní úspěch. Kromě toho hraní her v týmech může posílit pocit spolupráce a kolektivního úsilí mezi žáky, což mohou být cenné dovednosti na trhu práce (Sochorová, 2011). Přestože přínosy využití her ve vzdělávání jsou nesporné, je důležité, aby byly hry pečlivě vybírány a správně integrovány do učebního procesu tak, aby podporovaly učební cíle a vzdělávací výsledky. Optimalizace využití her ve školním prostředí vyžaduje od učitelů znalost jak vlastností her, tak vzdělávacích principů, a také schopnost efektivně spojit tyto dvě oblasti. Při správném využití mají hry potenciál transformovat tradiční vzdělávací prostředí, poskytovat studentům motivaci k učení a vybavit je dovednostmi potřebnými pro úspěch v 21. století.

3.1.3. Využití didaktických her ve výuce biologie

Didaktické hry nacházejí své uplatnění i v biologii. Tyto hry jsou nejčastěji navrženy tak, aby pomáhaly studentům lépe porozumět složitým biologickým konceptům a procesům (Riopel et al., 2019). Didaktické hry s biologickou tematikou nejen zlepšují učební výsledky studentů, ale pomáhají zvýšit zájem široké veřejnosti o rozličná biologická témata. V současné době existuje celá řada didaktických her prakticky na jakékoliv téma z oblasti biologie. Existují hry zaměřené na procvičování znalostí z botaniky či fyziologie rostlin, namátkou např:

1. "Forbidden Botany": Interaktivní stolní hra podobná populární stolní hře Tabu. Hra je vyvinutá pro vysokoškolské studenty biologie s cílem poskytnout větší přehled o botanické terminologii (MacNeill, 2024).
2. „Plants kingdom“: Didaktická mobilní hra zaměřená primárně ke zlepšení kognitivních dovedností zejména pozornosti, propojená s rostlinnou tematikou. Hra je určena pro žáky 8. třídy tedy ve věku 13-15 let (Amro et al., 2021).
3. „Botanical Phylo-card Game“: Hra vyvinutá pro ukotvení základní myšlenky o biodiverzitě, evoluci a společném původu rostlin a k pomoci studentům pochopit základy taxonomie rostlin (Gibson & Cooper, 2017).
4. "Little Botany": Mobilní vzdělávací hra, kde si hráči mohou vytvořit vlastní virtuální zahrady a dozvědět se o fascinujícím světě rostlin (Jamonnak & Cheng, 2017).



Obr. 1: Ukázka ze hry "Little Botany" (Jamonnak & Cheng, 2017)

Dále také hry na témata z říše zvířat:

1. "Arrange Animal Names": Mobilní aplikace založená na uspořádávání jmen zvířat na základě obrázků zobrazených ve hře (Khafidhoh & Noviandy, 2022).
2. "On the Path of Poisonous Animals": Hra určená středoškolským studentům navržená tak, aby jim přiblížila svět jedovatých zvířat, jejich biotechnologický potenciál a jejich biologickou rozmanitost (Diniz et. al. 2021).
3. "TAXOCARD Game": Hra velmi podobná výše zmíněné "Botanical Phylo card game". Student je zde seznámen se základní taxonomií a evolučními vztahy jednotlivých skupin živočichů (Lawsin, 2023).

Případně se můžeme běžně setkat s hrami s medicínskou, evoluční, či ekologickou tematikou:

1. "Prairie Protector": Hra která seznamuje studenty s tematikou invazních druhů, a tím i tematikou tzv. krajinného managementu (Ingram, 2023)
2. "Bone Anatomy Study": Aplikace využívající virtuální realitu k výuce anatomie, zejména u vysokoškolských studentů, kdy autoři otevírají téma náhrady klasických pitev právě touto moderní technologií (Santiago et. al. 2021)
3. "Natural selection": Aplikace zaměřená na téma přírodního výběru. Studenti zde mohou upravovat podmínky prostředí a sledovat, jaké znaky živočichů jsou pro dané podmínky výhodné a jaké naopak v jimi nastolených podmínkách nepřežijí (Malley, 2020)
4. "Evoluce – o původu druhů": Volně prodejná stolní hra pro širokou veřejnost, kde si hráči tvoří svého živočicha a kombinují vlastnosti, které buď napomáhají jeho přežití nebo ho (z pohledu evoluce) znevýhodňují.

3.1.4. Využití didaktických her ve výuce genetiky

V rámci výuky biologie genetiky zaujímá mezi studenty z pohledu náročnosti, ale i významnosti, přední příčky. Všeobecně se jedná o velmi obsáhlé, náročné a pro studenty abstraktní téma (Bahar et al., 2010a, b). Samotné obrázky a schémata v učebnicích se jeví v procesu pochopení základních mechanismů jako nedostatečné. Proto je nutné, vytvářet moderní výukové materiály, které by byly interaktivní a snadno pochopitelné, aby si studenti během studia nevytvářeli velké množství miskoncepcí (Machová & Ehler, 2021). Právě takovou roli by v moderní výuce genetiky mohly zaujmout didaktické hry, které mohou

obsahovat dynamickou grafiku, a tím napomoci lepšímu pochopení jednotlivých dějů, mohou být interaktivní a v neposlední řadě mohou žáky lépe motivovat než klasická frontální výuka.

Z takto již vytvořených her zde namátkou uvedu:

1. "Punnett Farms": Hra, která byla vyvinuta k tomu, aby studentům pomohla porozumět základům Mendelovy genetiky a molekulární biologie. Nabízí barevný virtuální svět se vzdělávacím obsahem zaměřeným na interaktivní učení a zapojení (Low et al., 2024).
2. "Gene Expression Essentials": Webová aplikace vysvětlující sled událostí, nutných k syntéze bílkovin. Studenti zde mohou měnit koncentrace jednotlivých biomolekul a sledovat jejich vliv na rychlost proteosyntézy (phet.colorado.edu).
3. "Genotype": Stolní hra zaměřená na klasickou Mendelovskou genetiku. Hráč je během hry přenesen do Mendelovy doby a prostředí. Hospodaří se zdroji a kříží (šlechtí) jednotlivé fenotypy (resp. genotypy) (geniousgames.org).
4. "Cytosis: a cell biology game": Běžně prodejná stolní hra, kde je hráč přenesen přímo do nitra buňky. V rámci buněčné biologie je seznámen i s mnohými genetickými fenomény (Rosenwalnd, 2018).
5. "Control of the cell cycle": Hra která se (dle mého názoru) nejvíce podobá konečné podobě mnou vytvořené hry. Student je postaven před úkol provést buňku (z řídicího centra) celým buněčným cyklem tak, aby doplnil co nejvíce buněk v poškozené tkáni (nobelprize.com).
6. "Foldit": Vlajková loď biologických serious games a principů tzv. citizen science (Khare et al., 2015). Hra využívá soutěživosti hráčů při hledání nejpravděpodobnější terciární struktury bílkovin.
7. "DNA Re-EvolutioN": Hra určená pro výuku molekulární genetiky a evoluce, kde se hráči zabývají mutacemi DNA, RNA a syntézou proteinů tak, aby pochopili biologické procesy (Miralles et al., 2013).

Možnosti volby didaktických her a jejich zařazení do výuky zde samozřejmě jsou, nicméně výběr není nikterak široký. Obzvláště, pokud vezmeme v úvahu fakt, že pro využití ve školní praxi by bylo vhodné hry využívat přeložené do češtiny. Zde výběr, až na pár výjimek např. (Strachotová, 2022, Lišková, 2020, Byrtusová, 2013) které byly vytvořeny v rámci diplomových prací, prakticky není.

3.2. Engagement

Pojem engagement by bylo možné volně přeložit jako angažovanost, všeobecně se tento pojem ve školním prostředí využívá ve spojení s motivací, se zapojením studenta do výuky či se sociálními kompetencemi. Všeobecně je engagement možno považovat za mnohostranný konstrukt, který hraje klíčovou roli ve vzdělávací a psychologické oblasti studentů. V českém školním prostředí je pro pojem engagement zaveden pojem participace žáků (Vidláková, 2007). Participace žáků zahrnuje různé dimenze, jako je behaviorální, emoční a kognitivní (Olana & Tefera, 2022). Behaviorální participace zahrnuje aktivní účast studentů na školních aktivitách, zatímco emocionální participace souvisí s jejich pocity vůči škole, učitelům a vrstevníkům. Kognitivní participace odráží ochotu studentů investovat úsilí do pochopení složitých myšlenek (Estévez et al., 2021). Studie ukazují, že vysoká míra participace žáků (angažovanosti) předpovídá pozitivní akademické výsledky (Grogan et al., 2014). Kromě toho koncept participace žáků přesahuje rámec školního prostředí a zahrnuje sociální kompetence, regulaci emocí či dokonce odolnost, jak v běžných tak v náročnějších životních situacích (Theron et al., 2022; Fall & Roberts 2011). Mezi faktory, které ovlivňují participaci žáků, patří například třídní klima, poutavý výklad, či pro studenta atraktivní pojetí výuky (například zařazení didaktických her), dále pozitivní přístup pedagogů či podporující rodinné prostředí (Roundfield et al., 2016; Smith et al., 2019; Reinke et al., 2019). Participace žáků a jeho jednotlivé složky je možné měřit pomocí dotazníku, jako je například ten, vytvořený Wangem a kol. (2016). Z výše zmíněného lze konstatovat, že participace je zásadní složkou vzdělávacích zkušeností studentů, která ovlivňuje jejich studijní výsledky, sociální vztahy, či dokonce psychické rozpoložení. Pochopením různých dimenzí participace žáků a faktorů, které ji ovlivňují, mohou pedagogové i mnozí jiní vytvořit podpůrné prostředí, které zvýší motivaci studentů, studijní výsledky a celkový úspěch.

3.3. Metodická příprava k efektivnímu začlenění didaktické hry do výuky

Podle Maňáka & Švece (2003) by učitel měl před aplikací hry do výukového procesu:

- a) vytyčit cíle hry
- b) diagnostikovat připravenost žáků
- c) stanovit pravidla hry
- d) vymezit úlohy vedoucího hry

- e) **stanovit způsob hodnocení**
- f) **zajistit vhodné místo**
- g) **přípravit pomůcky, materiály, nebo rekvizity**
- h) **určit časový limit hry**
- i) **promyslet případné modifikace hry**

(Maňák & Švec, 2003a).

Stanovil jsem si za cíl naplnit všechna tato kritéria a jejich dosažení je rozvedeno v kapitole Výsledky.

3.4. Biologická východiska diplomové práce

3.4.1. Genetika

Genetika je samostatným přírodovědným oborem, který se zabývá dědičností a proměnlivostí živých soustav. Konkrétně se zabývá variabilitou, rozdílností, dále přenosem dědičných znaků mezi rodiči, prarodiči, potomky apod. Samostatná genetika je vědním oborem poměrně mladým. Historii genetiky jako takové lze datovat až od průkopnické práce Johanna Gregora Mendela v 19. století, který položil základy moderního chápání dědičnosti prostřednictvím svých experimentů s hrachem. Mendelova práce o principech dědičnosti znamenala začátek oboru genetiky a poskytla rámec pro studium toho, jak jsou vlastnosti předávány z generace na generaci (Moore et al. 1997).

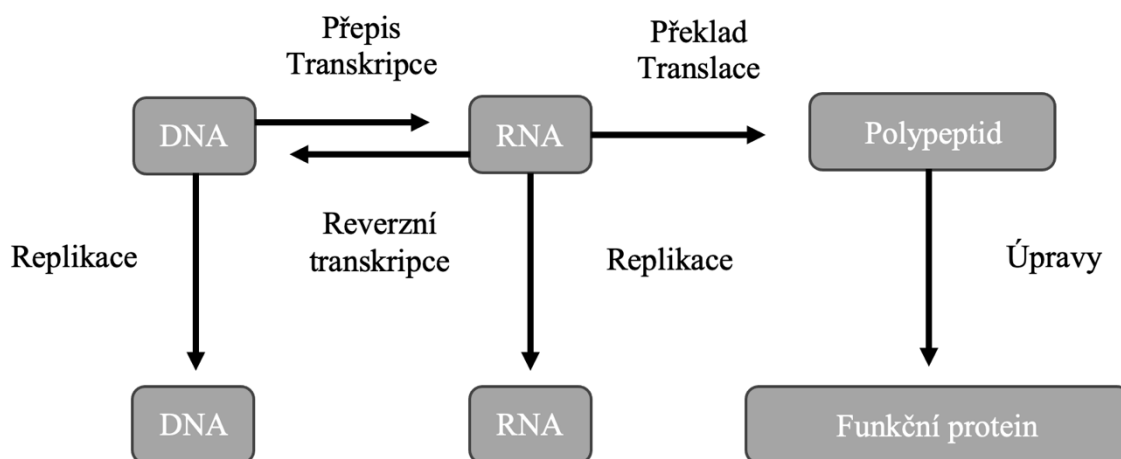
S postupujícím vývojem lidského poznání začali výzkumníci zkoumat vztah mezi geny a vlastnostmi, což vyústilo až v objev struktury DNA Jamesem Watsonem a Franciscem Crickem v 50. letech. Tento průlom položil základy pro porozumění tomu, jak je genetická informace uložena a přenášena v živých organismech. Následné výzkumy v oblasti molekulární genetiky dále objasňovaly mechanismy exprese genu, regulace a mutace, formující naše chápání genetických procesů na molekulární úrovni (Stern & Frankel, 2013).

U genetické informace nalezneme počátek každého organismu na této planetě. Geny určují nejen anatomickou stavbu ale i fyziologické funkce, biochemické složení organismu, a to jak se bude daný jedinec (či celý druh) rozmnožovat a vyvíjet (Otová, 2008). Poznatky, kterých lidstvo díky genetice dosáhlo, se staly základem pro poznání nových skutečností a to napříč i zdánlivě nesouvisejících oborů jako například evoluční biologie, antropologie, mikrobiologie, forenzní vědy, zoologie a v neposlední řadě medicína. V lékařské praxi

genetika pomohla objasnit okolnosti vzniku a průběhu mnohých lidských nemocí a v některých případech napomohla k jejich řešení (Pritchard, 2007).

Pod pojem genetika spadá mnoho menších podoborů jako je například genetika populační, cytogenetika, genové inženýrství, imunogenetika či molekulární biologie.

Pro tuto práci je nejdůležitější podobor molekulární biologie, který snoubí poznatky klasické genetiky, biochemie a buněčné biologie (Snustad, 2002). Procesy zkoumané v rámci molekulární biologie probíhají na buněčné úrovni, vysvětlují její fungování a fyziologii. Mnoho (ne-li většina) konceptů, kterými se molekulární biologie zabývá není možné sledovat napřímo, jsou tedy pro mnoho lidí velmi abstraktní a tím i těžko pochopitelné. Mezi takové děje patří například transkripce, translace, replikace. Tedy děje, které jsou nutné pro udržení a fungování naší genetické informace tzv. centrální dogma molekulární biologie (viz. obr 2) (Crick, 1970).



Obr. 2: Schéma centrálního dogma molekulární biologie (Vlastní tvorba)

3.4.2. Proteosyntéza

Proteosyntéza je jedním ze základních procesů nutných nejen ke vzniku, ale i fungování živých organismů. Popisuje celou cestu od genu po funkční protein. Pod pojem proteosyntéza spadá mnoho dílčích procesů jako je transkripce, posttranskripční úpravy, translace a posttranslační úpravy, které probíhají napříč více buněčnými organelami.

Prvním z procesů je *transkripce*, což je proces, při kterém se díky komplexu proteinů (zejména DNA dependentní RNA polymerázy resp. transkriptázy) přepíše genetická

informace (ve formě sekvence nukleotidů) z DNA do RNA (konkrétně do mRNA), která putuje ven z jádra a je dále upravena (tzv. splicing) (Crick, 1970).

Upravená mRNA poté putuje na ribozom, kde slouží jako „návod“ pro tvorbu polypeptidu pomocí t-RNA, které na sebe mají navázané jednotlivé aminokyseliny. Tento proces nazýváme *translace*. Potom, co jsou proteiny přeloženy z mRNA na ribozomech, čelí řadě chemických modifikací, které určují jejich konečnou funkci, strukturu a lokalizaci v buňce či mimo ni. Tyto úpravy mohou zahrnovat přidání nebo odstranění různých chemických skupin, jako jsou fosfáty (fosforylace), přidání cukerných řetězců (glykosylace) a mnohé další.

Posttranslační úpravy přidávají vedle primární struktury, tedy prostého řetězce aminokyselin jdoucích po sobě, další mechanismus regulace organizování bílkovin do vyšších strukturálních jednotek, jako je sekundární, terciální či kvarterní struktura proteinu (Pritchard, 2007).

3.4.3. Mutace DNA

Genetické mutace jsou změny ve struktuře DNA, které mohou nastat buď spontánně nebo vlivem vnějších faktorů tzv. mutagenů (Snustad, 2002). Takovým mutagenem mohou být mnohé chemikálie (např. hydroxylační či alkylační činidla, barviva apod.), mutageně mohou také působit některé viry nebo ionizující či UV záření (Ling, 1997). Prvním popsaným mutagenem byl bojový plyn užitý během 1. světové války – yperit (Říhová, 2010).

Mutace mohou mít různé důsledky na organismus. Mohou být neutrální a nemít žádný významný dopad na organismus, zatímco jiné mohou způsobit genetické choroby či dokonce vést ke vzniku rakoviny. Výjimkou také nejsou mutace pozitivní, s těmi se ale setkáme výrazně méně často než s neutrálními či nežádoucími.

Z pohledu rozsahu genetických mutací lze jako nejmenší změnu označit bodovou mutaci, kdy dochází ke změně jediného nukleotidu v DNA. Tato změna může mít různé důsledky v závislosti na tom, který konkrétní gen je ovlivněn. Rozsáhlejším typem mutace je inzertní nebo deleční mutace, při které dochází k vložení (inzerci) nebo vynechání (deleci) jednoho nebo více nukleotidů v genomu. Tyto druhy mutací mohou vést ke změnám v kódu RNA a v konečném důsledku ovlivnit tvorbu proteinů v buňce.

Genetické mutace mohou být jak dědičné, tak získané. Dědičné mutace se předávají z generace na generaci a mohou být zodpovědné za genetické choroby, které se vyskytují v

rodině. Naopak nezděděné mutace vznikají za života jedince, například vlivem prostředí (mutagenů). Studium genetických mutací je klíčové nejen pro porozumění vzniku genetických onemocnění, ale také pro vývoj nových terapií a léčebných postupů v genetice a lékařství obecně (Snustad, 2002).

3.4.4. Mutagenní účinky UV záření

Mutageneze UV zářením je proces, při kterém ultrafialové (UV) záření způsobuje změny v genetickém materiálu všech organismů. Míra odolnosti proti UV záření se mezi organismy výrazně liší. Pro jednobuněčné organismy může být UV záření zcela fatálním, naopak u mnohobuněčných postihuje omezeně jen buněčné struktury na povrchu, to ovšem neubírá na závažnosti těchto poškození. U člověka může UV záření stimulovat tvorbu neoplazií, zejména karcinomů a melanomů.

Škodlivost UV záření se projevuje zejména ve formě mnoha změn ve struktuře DNA, jako je vznik hydrátů purinů i pyrimidinů, či vznik thyminových dimerů. Tyto změny narušují strukturu dvoušroubovice DNA, rozpojená dvoušroubovice znemožňuje správný postup DNA polymerázy, a tím se přerušuje proces replikace. Opakované přerušování procesu replikace může v extrémních případech vést až ke zlomu celého chromozomu. Nadměrná expozice UV záření může mít různé biologické důsledky, včetně možného vzniku nových alel nebo mutací s negativními dopady na funkci genů (Ikehata, 2011).

Buňky mají sice obranné mechanismy, jako jsou enzymy opravující DNA, ale při vysoké expozici UV záření může dojít k narušení těchto opravných procesů a k hromadění mutací. Studium mutageneze UV záření je tak důležité pro pochopení potenciálních rizik UV záření na fungování živých organismů. Tato oblast výzkumu může přispět k lepší ochraně organismů před negativními účinky UV záření a také k využití těchto poznatků v oblastech, jako je ochrana před nadměrným slunečním zářením u lidí nebo v ochraně genetické integrity plodin v zemědělství (Sugiyama, 2019).

3.4.5. Melanin

Je souhrnný název pro příbuzné polymerní barevné pigmenty odvozené od tyrozinu, patří mezi ně například eumelanin, feomelanin či neuromelanin. Společnou charakteristikou je tmavá barva a polyfenolická polymerní struktura (McMurray, 2001). Melanin je zodpovědný za zbarvení kůže, očí, vlasů a dalších tkání. Melanin se také vyskytuje v nervové tkáni v oblastech *substantia nigra* a v *locus coeruleus*. V lidských buňkách je melanin uložen v

melanozomech, což jsou specializované struktury odvozené od Golgiho aparátu. Buňky, které melanin produkují se nazývají melanocyty (Trojan, 2003).

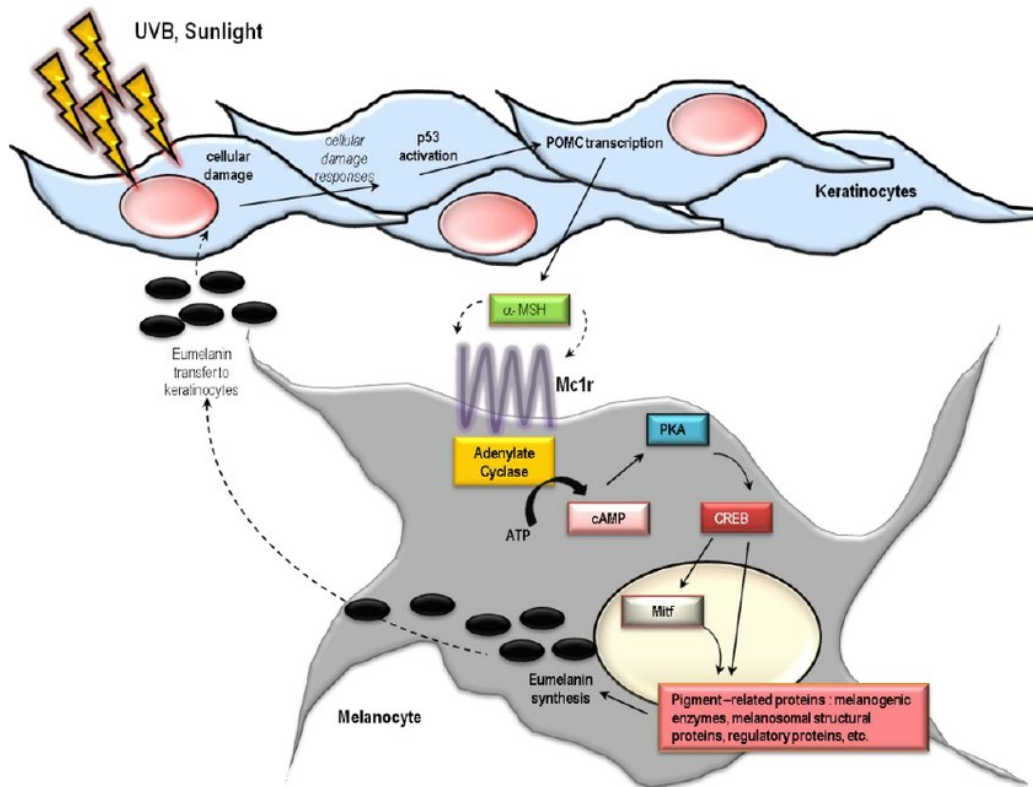
U lidí je nejčastěji se vyskytující formou melaninu tzv. eumelanin, který se dále dělí na hnědou a černou formu. K pigmentaci tkání dochází následkem akumulace melanozomů v bazální vrstvě epidermis. Pozorovatelné lokální rozdíly v pigmentaci jsou dány poměrem hnědočerného eumelaninu, žlutočerveného feomelaninu, a samozřejmě také celkovým množstvím melanozomů v melanocytech (McNamara, 2021).

3.4.6. Mechanismus tvorby melaninu při expozici jedince UV záření

Pokud je kůže nadměrně vystavena UV záření, dochází v jejích buňkách k poškození DNA, konkrétně dochází k poškození guaninu a pyrimidinových dimerů. Takto poškozená DNA není schopna replikace a transkripce (Snustad, 2002). Pokud nedojde k opravě poškozené DNA nebo apoptóze celé poškozené buňky, mohou vzniknout mutace vedoucí až k rakovinnému bujení. Naše tělo si ovšem dokázalo vytvořit mechanismus, který dokáže účinky UV záření zmírnit (McMurray, 2001).

Obranný mechanismus je založen na enzymatické kaskádě vedoucí k ukládání melaninu do kožních buněk. Tento jev nazýváme tvorba opálení. Na začátku stojí již zmíněné mutace způsobené neionizujícím UV zářením. Pokud v kožní buňce dojde k poškození DNA, dojde k tvorbě α -MSH (melanocyty stimulující hormon). Jak již z názvu vyplývá, α -MSH má za úkol stimulaci tvorby melaninu (melanogenezi). Toho je docíleno pomocí změny gradientu cAMP, který stimuluje MITF (microphthalmia-associated transcription factor), což je transkripční faktor podporující transkripci genů nutných k melanogenezi. Pokud geny pro tvorbu melaninu chybí či jsou poškozené, vzniká onemocnění albinismus. Mezi proteiny tvořené z genů nutných pro melanogenezi patří i enzym tyrozináza, který vytváří eumelanin z jeho prekurzorů (Trojan, 2003), a právě tento enzym si studenti zkusí v mé didaktické hře vytvořit.

Poté, co dojde ke vytvoření melaninu a dozrání melanozomů (organely obsahující melanin), jsou tyto „váčky“ plné melaninu transportovány do keratinocytů ve vrchní vrstvě pokožky, kde melanin absorbuje UV záření a chrání tím DNA před poškozením a celý organismus před potenciálním vznikem karcinomu (Štork, 2014).



Obr.3: schéma tvorby melaninu při procesu opalování (Orazio, 2013)

3.4.7. Fototyp

Kožní fototypy jsou lékařské klasifikace reakce kůže na sluneční záření a jsou důležité pro posouzení rizika před nadměrným slunečním zářením. Je rozeznáváno celkem 6 kožních fototypů, přičemž každý fototyp charakterizuje reakci kůže na sluneční záření na základě různých faktorů, jako je barva pleti, schopnost opálení či spálení. Fototyp 1 je nejcitlivější na sluneční záření a fototyp 6 je nejméně citlivý.

Fototyp 1 je typicky spojen s velmi světlou pletí, která se snadno spálí a obtížně se opálí. Tito lidé mají vysoké riziko popálení na slunci a jsou náchylní k různým kožním problémům, včetně rakoviny kůže. Na druhé straně fototyp 6 charakterizuje tmavou pokožku, která se jen zřídka spálí a rychleji se opálí. Lidé s tímto fototypem mají přirozenou ochranu proti slunečnímu záření díky vyšší hladině pigmentu melaninu v kůži.

Důležitost znalosti kožních fototypů spočívá v tom, že umožňují lidem posoudit své vlastní riziko před nadměrným expozicí slunci a přijmout adekvátní opatření, jako je používání opalovacích krémů, nošení ochrany hlavy, oděvu nebo vyhýbání se přímému slunečnímu záření (Rocken et. al., 2023).

3.5. Studie týkající se výuky a znalostí v oboru genetika

Mnoho studií zdůrazňuje nutnost, aby široká veřejnost měla o základních genetických konceptech povědomí a hlavním vektorem pro tuto osvětu je vnímáno právě školní vzdělávání (Ratcliffe a Grace, 2003). Díky znalostem základních genetických principů bude veřejnost schopna kriticky myslet a informovaně se rozhodovat, což (i s přihlédnutím na téměř explozivní rozvoj znalostí medicínské či evoluční genetiky) bude hrát v životě veřejnosti stále větší význam (Lanie et. al. 2004, Condit, 2001). Při mezinárodním srovnání je téma genetiky zastoupeno v různé míře. Existují země, kde je genetika zastoupena hojně, méně nebo vůbec (Zande et. al., 2009, Janštová & Jáč, 2015, Machová & Ehler, 2023).

Žáci, učitelé i vysokoškolští studenti, se v mnoha výzkumech shodují, že téma genetiky je jedno z nejnáročnějších témat (Cimer, 2012, Bahar et al. 2010a, b). V České republice obsadila genetika dokonce první místo v žebříčku žáky vnímané náročnosti, kdy dokázala přeskočit další obtížné téma, a to buněčnou biologii. Studenti se v rámci této studie zároveň shodli, že je genetika důležitým tématem pro jejich další fungování v reálném životě (Janštová et al., 2022). Základním podpůrným materiálem během učebního procesu (mimo kurikulární dokumenty) jsou učebnice (Rusek, 2019). Tyto materiály jsou ovšem nejednotné a témata genetiky nejsou dostatečně provázaná (obzvláště vezmeme-li v úvahu fakt, že je toto téma pokryté v rámci dvou předmětů, biologie a chemie), další nevýhodou je statické grafické zobrazení (Machová & Ehler, 2020). V literatuře dále nacházíme i další možné příčiny obtížnosti výuky genetiky: velké množství nových a zdánlivě podobných, odborných pojmů, dále strojové memorování či nedostatečný důraz na propojování jednotlivých konceptů do vyšších celků (Knippels et al. 2005, Thorne, 2014).

Tak jako u každého učiva jsou i v rámci výuky genetiky přítomny miskoncepce a problematická místa výuky (Duncan et al., 2007).

Žáci často chybně chápou základní genetickou terminologii (DNA, RNA, chromozom, alela, gen) a používají ji ve špatném kontextu (Cisterna et al., 2013). Žáci se také často domnívají že u nižších organismů (bakterie, řasy, houby apod.) se genetická informace vůbec nevyskytuje (Osman et. al., 2017), nebo že mají více genetické informace od toho rodiče, kterému jsou více podobní (Cisterna et. al. 2013). Častým problémem je chybná lokalizace jednotlivých dějů či samotné DNA. Dalším, ovšem již více pochopitelným, problémem je nedostatečné pochopení procesů jako je mitóza vs. meióza (Lewis a Kattmann, 2004) či transkripce, translace. Nedostatečné zvládnutí těchto základních konceptů ústí například v neschopnost vysvětlit význam DNA pro živé organismy (Vlčková, et al. 2016), či popsat

souvislost mezi pojmy genotyp a fenotyp (Mills Shaw et al. 2008). V českém prostředí téma výuky genetiky a miskoncepce důkladně zmapovala Mgr. Markéta Machová Ph.D. (Machová, 2018, 2019, 2020, 2023).

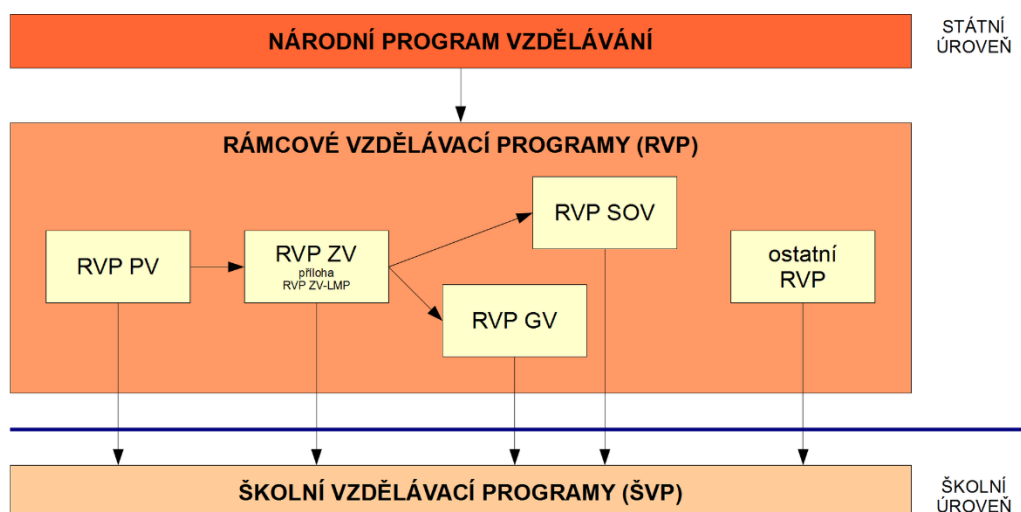
3.6. Postavení genetiky v českém školství

3.6.1. RVP, ŠVP a tematické plány

V roce 2004 MŠMT schválilo principy v politice pro vzdělávání žáků od 3 do 19 let. Na základě tohoto rozhodnutí došlo ke změně kurikulárních dokumentů, které jsou tak vytvářeny na dvou úrovních státní a školské (viz. Obr. 4).

Státní úroveň reprezentuje Rámcový vzdělávací program (RVP), RVP jsou centrálně zpracovanými pedagogickými dokumenty, které schvaluje a vydává Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy a pro každý obor ve středním (i základním) vzdělávání je vypracován jeho vlastní RVP. Na národní úrovni je tak garantován povinný rámec učiva (Výzkumný ústav pedagogický, 2005).

Školní vzdělávací programy (ŠVP) jsou pedagogickými dokumenty, které si zpracovává sama škola na základě příslušného RVP, a to pro každý obor vzdělání. Podle ŠVP se uskutečňuje výuka. Zohledňují vzdělávací podmínky dané školy, pedagogické záměry školy a zřizovatele, umožňují přizpůsobovat vzdělávání praxi. ŠVP schvaluje ředitel školy, který zodpovídá za soulad s příslušným RVP, naplnění programu kontroluje Česká školní inspekce (Průcha, 2008). ŠVP je jakousi upravenou a podrobnější formou RVP. ŠVP a RVP jsou dle své definice určitou formou konceptuálního rámce.



Obr.4: Schéma kurikulárních dokumentů v rámci ČR (Mižoch, 2009)

Školní úroveň kurikulárních dokumentů dotváří tematický plán, což je organizační dokument sestavovaný učitelem. Tematický plán obsahuje zejména název předmětu, třídu, jméno učitele, hodinovou dotaci, časový rozvrh výuky a obsah učiva na pololetí či celý školní rok, na některých školách obsahuje pravidla hodnocení, požadované učebnice či jiné učební pomůcky apod. Tematický plán si tvoří každý učitel sám podle ŠVP, na každý rok zvlášť, což umožňuje flexibilitu v rozložení témat, jejich podrobnosti a pomáhá řešit problematiku neprobrané látky z minulého ročníku, kdy je možné ji zařadit na začátek roku následujícího.

3.6.2. RVP, ŠVP a tematické plány ve vztahu k výuce genetiky

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1.1, RVP je centrálně zpracovaným pedagogickým dokumentem, který schvaluje a vydává Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy a pro každý obor ve středním (i základním) vzdělávání je vypracován jeho vlastní RVP. RVP se dále dělí do několika kategorií, kde jsem se v rámci rešerše zabýval RVP-G (pro čtyřletá gymnázia a vyšší ročníky víceletých gymnázií) a RVP-SOV (pro střední odborné školy), které jsou dostupné na portálu NUOV.

V rámci RVP-G a jeho nejnovější verze, která je platná od 1. září 2022 i jeho dalších podkategorií (RVP pro gymnázia, RVP pro gymnázia se sportovní přípravou, RVP pro dvojjazyčná gymnázia, RVP pro gymnázia v angličtině) (Praha: VÚP, 2021) bylo učivo genetiky zmiňováno ve vzdělávací oblasti „Člověk a příroda“ v rámci vzdělávacích obsahů chemie a biologie následovně:

Vzdělávací obsah: Chemie

Tematický okruh: Biochemie

Učivo: Nukleové kyseliny

Očekávaný výstup: Student objasní strukturu a funkci sloučenin nezbytných pro důležité chemické procesy probíhající v organismech. Charakterizuje základní metabolické procesy a jejich význam.

Vzdělávací obsah: Biologie

Tematický okruh: Genetika

Učivo: Molekulární a buněčné základy dědičnosti, dědičnost a proměnlivost, genetika člověka, genetika populací

Očekávaný výstup: Využívá znalosti o genetických zákonitostech pro pochopení rozmanitosti organismů. Analyzuje možnosti využití znalostí z oblasti genetiky v běžném životě.

V rámci RVP-SOV tedy RVP pro střední odborné školy je genetika napříč kategoriemi (J, H, M, L, resp. L5) zmiňována následovně:

Přírodovědné vzdělávání

Vzdělávací oblast: Biologické a ekologické vzdělávání

Učivo: 1. základy biologie – dědičnost a proměnlivost

Výsledky vzdělávání: Žák objasní význam genetiky.

Výčet konkrétních oborů spadajících do výše zmíněných kategorií (tedy J, H, M, L, L5) je dostupný na webových stránkách MŠMT konkrétně portálu NUOV (<https://nuov.cz/ramcove-vzdelavaci-programy>).

Pro konkrétnější pohled na rozsah a pojetí výuky genetiky na školách je potřebný pohled do konkretizace rámcových programů, tedy do školních vzdělávacích programů (ŠVP), což jsem v rámci přípravy na zpracování práce provedl.

Drtivá většina mnou zkoumaných ŠVP byla dostupná na webových stránkách jednotlivých škol. Celkem jsem analyzoval 7 ŠVP vytvořených gymnázii napříč Českou republikou, konkrétně: Praha, Brno, Hradec Králové, Havlíčkův brod, Karlovy Vary, České Budějovice a Ostrava, a to jak čtyřleté, tak i víceleté formy. Ze mnou zkoumaných ŠVP se (až na pár výjimek) výuka držela podobného schématu: První tři ročníky (u víceletých 5., 6. a 7.) je biologie povinná, doplněná od 3. (u víceletých 7.) ročníku volitelnými semináři, které poté přesahují až do maturitního ročníku. Průměrná hodinová dotace (u povinné Biologie) se pohybovala okolo 2,5 h/týden včetně laboratorních cvičení, modus byl 2 h/týdně. S tématem

genetiky se nejčastěji gymnaziální studenti setkávají v Chemii ve 3. (resp. 7.) ročníku, a to hlavně s tématy struktura nukleových kyselin, proteosyntéza a v biologii buď v 1. (resp. 5.) ročníku v souvislosti s tématem „Biologie buňky“ nebo ve 3/4. (resp. 7/8.) ročníku v samostatném tematickém celku „Genetika“. U třetiny gymnázií se studenti s tématem genetiky podrobněji setkají pouze ve volitelném semináři.

Mimo hodinovou dotaci a rozložení studia se mi podařilo nahlédnout do tematického plánu (ty už z pravidla veřejně přístupné nejsou) jednoho pražského gymnázia. Téma genetiky bylo v daném tematickém plánu rozvrženo následovně:

(Tabulka č.1: Rozdělení výuky genetiky v rámci tematického plánu)

P.č.	Téma	Termín	Poznámka
1.	Opakování – Rozmnožování člověka, úvod do genetiky, základní jednotky dědičnosti	Září	
2.	Základní zákonitosti genetiky, vztahy mezi geny	Říjen	
3.	Genetika člověka, dědičnost a pohlaví	Listopad	
4.	Genetika populací	Prosinec	
5.	Molekulární biologie	Leden	

Jedná se o tematický plán povinné biologie 8. ročníku víceletého gymnázia a plně odpovídá jak RVP, tak i ŠVP. Po analýze kurikulárních dokumentů mohu potvrdit, že téma genetiky v nich má pevné ukotvení, a to jak na úrovni RVP, tak i ŠVP či tematických plánech, jedná se ovšem hrubé konceptuální rámce a celková obsáhlost učiva zůstává na rozhodnutí každého pedagoga. Lze také konstatovat, že scénář hry požadavkům a cílům kurikulárních dokumentů plně odpovídá.

4. Metodická část

4.1. Volba tématu didaktické aplikace

Na začátku zpracování této práce byla myšlenka vytvoření moderního výukového materiálu, který by podpořil výuku některého ze složitějších biologických procesů či témat (zejm. buněčné biologie či genetiky). Prvotní nápady na tvorbu výukových videí, či učebního webového portálu brzy vystřídal plán mnohem ambicióznější, a to tvorba didaktické hry.

Nakonec i s ohledem na můj minulý obor studia (molekulární biologie a biochemie organismů) padla volba na genetiku. Ovšem otázku: „Co vše bude hra obsahovat a jakého tématu se bude dotýkat?“, rozhodla až rešerše analyzující obsah RVP, ŠVP a tematické plány několika gymnázií, dále orientační revize obsahu učebnic a odborných publikací zabývajících se tématem výuky genetiky (viz. kapitola 3.5. této práce).

4.2 Tvorba hry

Jelikož studenti i učitelé hodnotí téma proteosyntézy jako nejsložitější a pro studenty nejabstraktnější, což velmi komplikuje její pochopení (Bahar et al. 2010a, b, Machová a Ehler, 2023), rozhodl jsem se zaměřit právě na ni. Proteosyntéza obsahuje několik po sobě jdoucích dějů a účastní se jí mnoho molekul, studenti mají problémy nejen s lokalizací jednotlivých částí, ale i správným pochopením významu jednotlivých fází (transkripce, translace a postranlační úpravy), dalším těžko představitelným fenoménem je vliv genotyp na fenotyp – tedy to, jak proteosyntéza jednotlivých polypeptidů ovlivňuje organismus, respektive jak se genetický kód projevuje na venek. Tvorba hry (tvorba grafiky, programování) trvala okolo 65 hodin čistého času. Prvotní cíle zpracovat hru, jako plnohodnotnou webovou aplikaci, byly z časových důvodů přehodnoceny a hra spatřila světlo světa ve formě neupravitelné Powerpointové prezentace (formát .ppsx). Samotná tvorba bude do detailu popsána v následujících kapitolách.

4.2.1. Scénář hry

Při zvažování vhodného scénáře jsem se na základě předchozí rešerše rozhodl zvolit scénář takový, který co nejlépe pokryje problémové koncepty, tedy zejména:

- Lokalizace a struktura nukleových kyselin (DNA, mrna, trna)
- Lokalizace, průběh a význam transkripce, resp. Translace

- Propojení pojmů genotyp a fenotyp
- Vliv vnějšího prostředí na genovou expresi
- Význam mutací pro organismus
- Využití znalostí z molekulární biologie v reálném životě

Výsledná témata, která měla potenciál naplnit stanovené požadavky se zúžila na tři směry. Prvním scénářem byl boj proti patogenu, kde se studenti postaví proti zákeřnému onemocnění a pokusí se ochránit hlavního hrdinu. Studenti by se podíleli na tvorbě protilátek, které by daný patogen dokázaly zahubit. Scénář měl výhodu v propojení tématu genetiky s tématem imunologie, kde by byla studentům vysvětlena i funkce adaptivní (získané) imunity a rovněž téma boje proti patogenu by mohlo být studenty hodnoceno jako velmi atraktivní. Scénář jsem nakonec zavrhnul kvůli neustálému nabalování nových funkcí jak biologické povahy, tak i té technické. Dalšími důvody byla také složitost celého procesu, či existence podobných aplikací (např. počítačová hra Immunity).

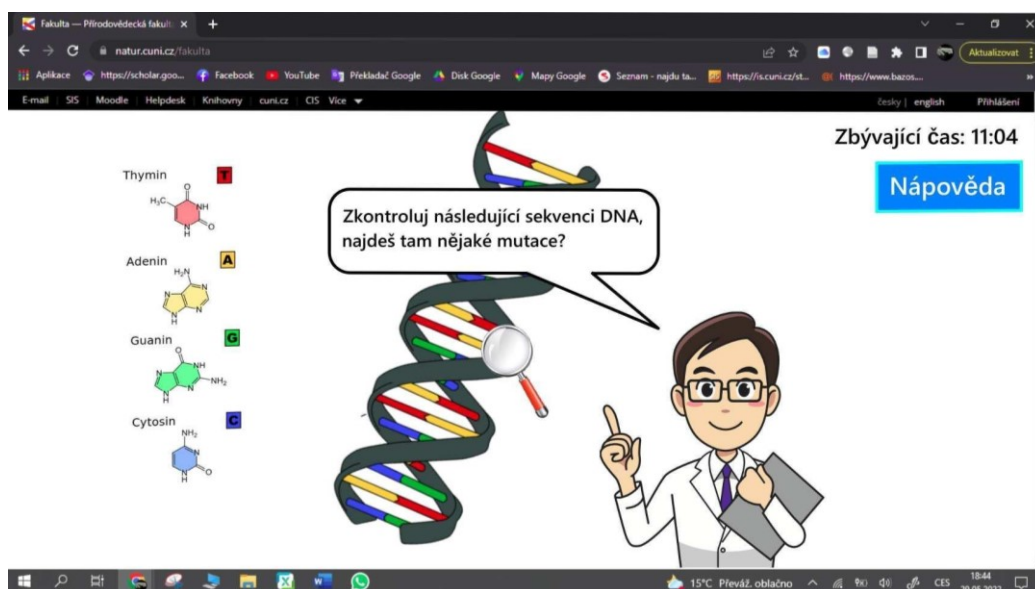
Druhý scénář propojoval téma genetiky s trávicí soustavou, kde by se student podílel na tvorbě trávicích enzymů a byly by mu v průběhu hry představeny jednotlivé fáze trávení a vliv genetického kódu na procesy spojené s trávením. Tento scénář jsem nakonec zamítnul kvůli předpokládané nižší atraktivitě pro žáky.

Posledním, a nakonec vítězným scénářem bylo téma získání opálení (tvorby melaninu). Prvním důvodem pro jeho volbu je naprosto očividné propojení genotypu s fenotypem, dále propojení tématu škodlivosti UV záření při nadměrné expozici, tudíž má hra i jistý cíl ve vzdělávací oblasti „výchova ke zdraví“, dále možnost nahlédnutí do tématu mutací DNA, buněčné signalizaci, postranslačním úpravám.

4.2.2. Technické řešení

Prvotním plánem bylo naprogramovat hru jako webovou aplikaci. Charakteristickým prvkem webových aplikací je možnost zobrazit tyto aplikace ve webovém prohlížeči, což je pro školní užití značnou výhodou. Takovou aplikaci totiž není nutné složitě instalovat (což bývá v uzavřených školních sítích skutečný oříšek), uzpůsobovat pro specifický operační systém a každý student či pedagog ji je schopen otevřít na některém ze svých zařízení. Webová (internetová) aplikace je poskytována uživatelům z webového serveru přes internet. Webové aplikace vypadají velmi podobně jako „klasické“ webové stránky a jsou vytvářeny prostřednictvím stejných technologií – HTML, CSS, JavaScript, PHP apod., ovšem na rozdíl od webových stránek jsou doplněné o pokročilejší funkcionalitu, dalo by se tedy říct, že se

blíží spíše k počítačovým programům nežli k webovým stránkám. Aplikace by byla napsána v jazyce JavaScript či Python, což by umožnilo pokročilou funkcionalitu, jako například implementaci časomíry či automatické odeslání výsledků učiteli pro snazší zadávání hry jako domácího úkolu, či zlepšení kontroly nad průběhem hodiny, do které byla hra zařazena.



Obr. 5: Screenshot prvotního návrhu aplikace otevřené ve webovém prohlížeči. Vlastní dílo.

Bohužel takový postup by byl pro jednoho člověka a v rámci diplomové práce nepřiměřeně časově náročný; proto byla vytvořena pouze tzv. beta verze za pomoci aplikace Microsoft PowerPoint, kde je možné naprogramovat funkční tlačítka odkazující na stránky (slidy) v rámci daného souboru, což umožňuje plynulý postup hry.

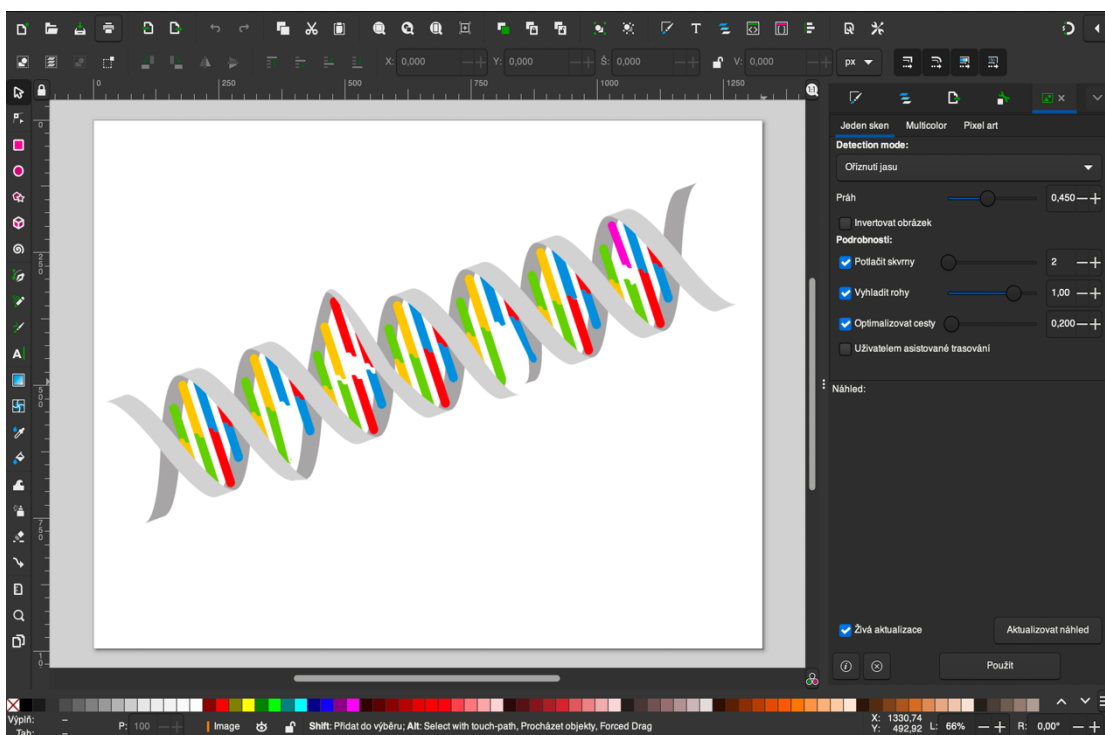
Využití aplikace Powerpoint je jednoduché a intuitivní, bez rizika tvorby drobných chyb, které by v rámci programovacího jazyka mohlo být těžké odhalit. Dále je možné naprogramovat pohyb jednotlivých objektů v rámci prezentace, tyto objekty je také velmi snadné umístit na preferované místo a je možné je mezi sebou provázat.

Výsledná hra je tak založena na “prezentaci” čítající celkem 157 slajdů ve formátu .pps. Soubor ve formátu .pps je needitovatelný soubor chovající se jako klasická prezentace v aplikaci Powerpoint, který je možné otevřít i v rámci platformy Google, OpenOffice či jiných, což umožňuje snadné spuštění na téměř jakémkoliv běžném zařízení.

Podstatným předpokladem pro úspěšné přijetí hry ve škole je vzhled. Atraktivní vzhled rozhoduje ve velké míře o úspěšnosti dané aplikace (Kapoor, 2020). Věnoval jsem proto během tvorby vysokou snahu vytvořit hru graficky co nejatraktivnější. Vzhledem

k časovým možnostem jsem se rozhodl vybavit hru 2D vektorovou grafikou.

Vektorová grafika je jedním ze dvou hlavních způsobů elektronického ukládání 2D grafiky. Jedním ze způsobů je tzv. bitmapová grafika, kde je výsledný obrázek skládán z jednotlivých bodů (takto funguje například digitální fotografie), naopak vektorová grafika využívá k tvorbě výsledného obrazu geometrických útvarů, které jsou přesně definované. Takovými útvary mohou být přímky, různé mnohoúhelníky a zejména křivky, díky nimž je možné popsat prakticky jakýkoliv tvar. Hlavní výhodou využití vektorové grafiky je svoboda úprav jednotlivých obrázků nezávisle na rozlišení, navíc není nutné obávat se ztráty kvality při případných úpravách, jak tomu bývá u bitmapové grafiky. Vektorová grafika pro potřeby tvorby hry byla tvořena v aplikaci Inkscape, a některé složitější struktury byly převzaty k přepracování z veřejně dostupných materiálů s licenci Creative Commons.



Obr. 6: Ukázka prostředí programu Inkscape při tvorbě jednoho z grafických elementů.

Veškeré převzaté grafické objekty byly licencovány pod licenci „Creative Commons Non Commercial“ (CC-NC), a bylo je tedy možné pro tvorbu výukové aplikace použít.

4.3. Odborná oponentura hry

Před samotným testováním přínosu hry ve výuce jsem předložil záměr expertnímu panelu o věcné oponentuře pilotu hry. Pro tento účel bylo osloveno celkem pět expertů, z toho 3 pracovníci z katedry učitelství biologie PřF UK, jeden z katedry medicínské genetiky 3. LF UK, dále jedna středoškolská pedagožka a lékařka. Některé funkční nedostatky mi taktéž pomohly podchytit přátelé studující obor učitelství biologie.

Experti byli (přes email viz. Příloha XY) požádáni, aby hru otestovali a následně hru oznámkovali (1 = nejlepší až 5 = nejhorší) v několika kategoriích, konkrétně:

- Odborná správnost
- Odborná přiměřenost
- Srozumitelnost textu
- Přehlednost/ergonomie hry

Toto testování přineslo odhalení několika chyb, které hra obsahovala. Jednalo se zejména o funkční nedostatky, překlepy ale i případy odborných chyb, například o chybná klasifikace kožních nádorů, konkrétně generalizování pojmu melanom a jeho zaměnění s pojmy bazaliom a spinaliom, dále výskyt nekomplementárních bází v procesu translace, nefunkční tlačítka či špatné názvy států v mapě, která byla ve hře využita z převzatých materiálů. Další věcnou připomínkou byla úvaha, že hra není vhodná pro studenty s poruchou barvocitu, jelikož aktivita přiřazování bází během transkripce byla založena na barvě jednotlivých nukleotidů, tento nedostatek byl vyřešen písmenným označením jednotlivých bází. Poslední, zásadní chybou byla přítomnost vakuoly a vysoký počet centriol na obrázku melanocyty.

4.4 Ověření přínosu hry

Po konzultaci s experty a opravě identifikovaných chyb, byla aplikace připravena k otestování v praxi.

4.4.1. Vzorek

Testování proběhlo ve výuce dvou tříd osmiletého gymnázia a jedné třídy čtyřletého gymnázia. Testování se účastnilo celkem 83 studentů. S ohledem na velikost tříd bylo ve výzkumném vzorku zastoupeno 30 žáků třetího ročníku čtyřletého gymnázia a 53 studentů

sedmých ročníků osmiletého gymnázia. Dvě třídy měly učitele A, třetí třídu vyučoval učitel B. Studenti byly v době testování plnoletí a hraním hry a vyplněním dotazníku souhlasili s účastí v tomto pedagogickém výzkumu.

4.4.2. Testování

Ve všech třídách proběhlo testování pod mým vedením v rámci výuky genetiky v hodinách biologie. Ve třetím i sedmém ročníku proběhlo testování po probrání učiva (učivo genetiky bylo v této škole zahrnuto na konci školního roku), ve dvou případech v rámci opakování před písemnou prací a v jednom případě již třída písemnou práci absolvovala.

Pro otestování přínosu hry ve výuce tématu proteosyntéza bylo nutné, aby jedna třída dostala pouze znalostní test a hru nehrála, jednalo se celkem o 30 studentů. Výsledky tohoto testovacího vzorku byly porovnány se vzorkem čítajícím 53 studentů, kteří si před vyplněním znalostního testu hru zahráli.

Pro vyloučení vlivu učitele pro pochopení probrané látky byla hra distribuována třídám s učiteli A a B.

Aplikace byla distribuována ve formě neupravitelné powerpointové prezentace (.pps). V prvním případě na tabletech, které mělo dané gymnázium k dispozici, v druhém případě probíhalo testování v počítačové učebně, vše v rámci běžných hodin biologie. Rozdílná technika byla dána časovým rozvrhem učeben, osobně bych preferoval počítačovou učebnu vždy, protože (dle mého názoru) se s myší mnohem lépe pracuje. Distribuce hry proběhla přes platformu Google Classroom, odkud si studenti prezentaci stáhli do zařízení, na kterém pracovali. Projít celý děj hry trvalo studentům cca 20 minut, což korespondovalo s prvotními odhady.

Po odehrání hry studenti vyplnili online postojový dotazník a závěrečný znalostní test. Obojí jim bylo distribuováno po ukončení hry pomocí platformy Google Forms (písemné znění dotazníku i znalostního testu viz. kapitola 4.4.3 Výzkumný nástroj). Výše zmíněný dotazník i znalostní test byly anonymní. Studenti měli v úvodu za úkol uvést libovolná dvě písmena ze svého jména a příjmení jako anonymní identifikátor pro snazší orientaci při vyhodnocování výsledků.

4.4.3. Výzkumný nástroj

Didaktický přínos hry byl měřen dvěma nástroji, jako potenciálně zajímavá vysvětlující proměnná byla zjišťována také známka z biologie v minulém pololetí. Pro

kognitivní posun žáků byl připraven znalostní test. Tento test obsahoval 11 otázek s možností volby ABCD tzv. „single choice“, což znamená že pouze jedna odpověď byla správná. Položky byly hodnoceny 1 bod za správnou odpověď a 0 bodů za odpověď špatnou, maximální počet bodů tedy byl 11. Položky pokrývaly obsah scénáře hry a sledovaly přínos v pochopení jednotlivých dějů a zapamatování hlavních pojmů.

Hlavními tématy byly:

- Melanin, jeho funkce a syntéza
- Mutace DNA
- Transkripce
- Translace

(Konkrétněji viz. příloha č.2)

Emocionální složku jsem měřil postojovým dotazníkem zaměřeným na participaci žáků (školní engagement) založeném na práci Wanga et al. (2016) měřící *engagement (participaci žáků)*, tedy okamžitou míru zapojení (angažovanosti) a přijetí aktivity. Dotazník jsem za pomoci školitele, Bc. Ludmily Sedláčkové a dr. Radky Dvořákové přeložil. Pro účel měření přínosu hry byly některé položky vynechány, protože nekorespondovaly s danou aktivitou. Příkladem vypuštěných položek jsou ty, které byly spojené s prací ve skupině, jelikož se v dané hodině (kde byla hra zapojena) žádná nekonala. Prvotní myšlenkou při společném překladu bylo tento výzkumný nástroj validovat v českém školním prostředí v rámci dvou paralelně řešených diplomových prací, ale v současné době jsou k dispozici pouze mnou nasbíraná data. Originální dotazník je založen na principu strukturálního modelu následujících faktorů:

- Kognitivní participace
- Emoční participace
- Sociální participace
- Behaviorální participace

Studenti tak v českém překladu odpovídali na celkem 24 položek týkajících se kvality hry a jejich přístupu k ní na Likertově škále 1-5: 1 (zcela souhlasím), 2 (souhlasím), 3 (neutrální odpověď), 4 (nesouhlasím) a 5 (zcela nesouhlasím).

4.5. Analýza dat

Data získaná na základě dotazníku a testu byla pro účely analýzy zpracována v aplikaci Microsoft Excel a následně převedena na soubory CSV, které jsou kompatibilní se statistickým programem RStudio a zejména balíčkem ShinyItemAnalysis, který pracuje s open-source prostředím jazyka R. Při tvorbě skriptů v jazyce R bylo užito umělé inteligence ChatGPT, zejména pro odhalování funkčních chyb. Analýzu nasbíraných dat lze rozdělit na dvě myšlenkové větve: analýzu výsledků znalostního testu, který hodnotil vliv hry na znalosti studentů a postojového dotazníku, který si vzal za cíl zhodnotit hru a přístup studentů k hraní této hry.

4.5.1. Analýza znalostního testu

Jako míra reliability bylo užito Cronbachovo α a index alfa-drop. Pro statistický test významnosti vlivu sledovaných proměnných byl vzhledem k malému vzorku použit neparametrický Wilcoxon párový test na úrovni statistické významnosti $\alpha = 0.05$. Vysvětlující proměnnou spojenou s expozicí ve hře jsem označil "hra/nehra" nabývající hodnot true/false jako skutečnost, zda student hru hrál. Dále byla provedena deskriptivní statistika.

4.5.2. Analýza postojového dotazníku

Ve 2 dvou případech byl dotazník vyplněn všude hodnotou 3, tedy neutrální výsledek, což lze přikládat k neochotě daných studentů k vyplňování dotazníku. To je možné vysvětlit blízcím se koncem vyučovací hodiny. Tyto dva dotazníky nebyly zahrnuty do výsledné analýzy. Negativně kódované položky postojového dotazníku byly před analýzou invertovány. S ohledem na malou velikost vzorku nebylo možné provést konfirmační faktorovou analýzu a jednotlivé faktory byly hodnoceny jako aritmetický průměr hodnot položek vztahovaných k danému faktoru. Závislost mezi faktorovým skórem a vysvětlujícími proměnnými byla sledována za užití Pearsonova korelačního koeficientu na centrovaných datech <-2;+2>.

5. Výsledky

Výsledkem mojí diplomové práce je scénář didaktické hry "Genetika" a jeho pilotní implementace v podobě PowerPoint prezentace. Součástí výsledků je expertní hodnocení pilotu a jeho ověření ve školní praxi.

5.1. Scénář

Scénář začíná (po prvním instruktážním slidu) trochu překvapivě na stadionu ledního hokeje, kde švédský hokejista Lars Lundgren prohrává semifinálový souboj proti České republice a odjíždí z mistrovství světa na zaslouženou dovolenou na ostrov Tenerife.



Obr. 7: Snímek 3/157 hry, Lars prohrává semifinále MS v ledním hokeji. Vlastní dílo.

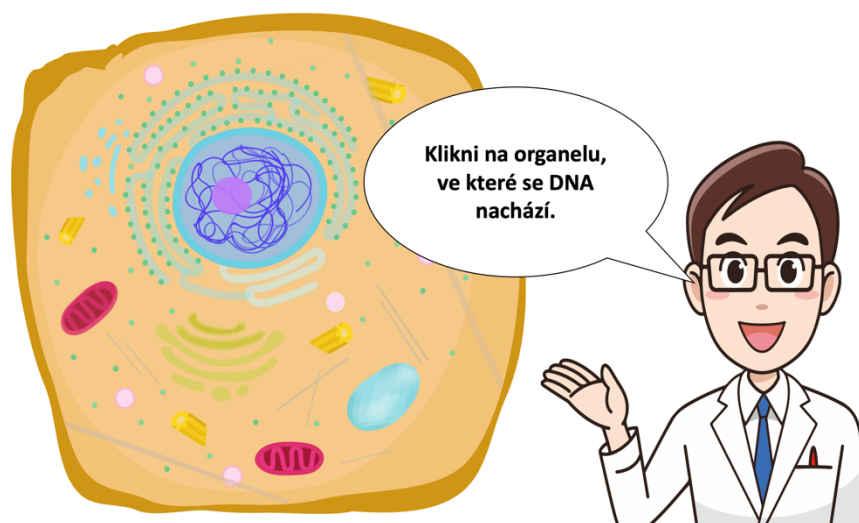
Postava Švédského hokejisty Larse Lundgrena byla zvolena záměrně, jelikož ve Skandinávii převažuje světlejší kožní fototyp (Frost, 2014), aby byla v rámci hry zdůrazněna nutnost hlavního hrdinu ochránit před slunečním zářením. Kožní fototyp udává intenzitu pigmentace, a tím i náchylnost ke spálení se při expozici slunečnímu záření. Ostrov Tenerife byl rovněž zvolen záměrně, jelikož se jedná o jednu z nejoblíbenějších destinací na pobyt u moře a tím se k tématu opalování přímo nabízí.

Po příletu do cílové destinace se Lars vydává na pláž, kde usne a dojde k předpokládanému problému – spálí se. V tu chvíli do děje výrazněji vstupuje postava doktora Mazance, který studenta provádí celým zbytkem hry. V úvodu studenta seznámí s riziky nadměrného vystavování se slunečním paprskům, a tím i s důležitostí Larse “zachránit”, tedy připravit jeho pokožku na lepší odolnost proti průniku UV záření tím, že mu studenti pomohou vyrobit co nejvíce enzymu tyrozinázy, který stimuluje tvorbu melaninu, a tím přímo zvyšuje míru pigmentace kůže (opálení).



Obr. 8: Snímek 5/157, Lars se vydává na pláž. Vlastní dílo.

Suborganismální úroveň hry začíná v keratinocyty, kde se na obrazovce objevuje schéma buňky, které obsahuje většinu důležitých organel, které se v živočišné eukaryotické buňce nachází. Prvním větším úkolem, který na studenta během hry čeká je rozhodnutí, ve které z organel se nachází DNA; žák po rozhodnutí klikne na správnou organelu (jádro) a pokračuje dál (v opačném případě je na chybu upozorněn a vrácen zpět).



Obr. 9: Snímek 22/157, lokalizace DNA. Vlastní dílo.

Po kliknutí na jádro se student (společně s postavou doktora Mazance) dostává hlouběji do jádra až na strukturu DNA, kde je postaven před nelehký úkol. Jeho úkolem je ve znázorněné struktuře DNA odhalit její mutace, které mohly být indukované právě UV zářením při opalování se na pláži. Student postupně odhaluje nesrovnalosti v DNA a je

seznámen s jednotlivými druhy mutací DNA.

Po odhalení všech mutací je vydán signál pro tvorbu melaninu a student se přesouvá z keratinocytu do melanocytu, ve kterém jeho syntéza probíhá. Hlavním krokem je tvorba tyrozinázy a zde právě začíná hlavní část hry – Proteosyntéza.

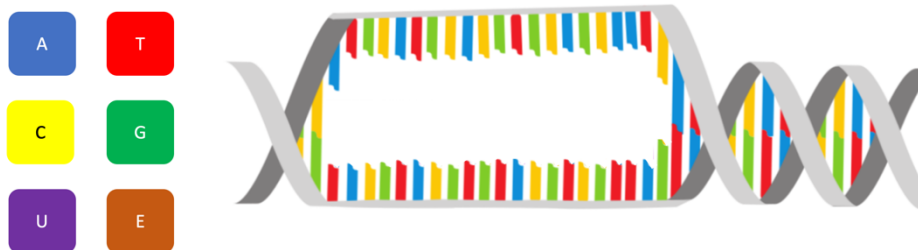
Student začíná transkripcí RNA z DNA, je seznámen s jednotlivými enzymy, které se na tomto procesu podílejí (zejména DNA dependentní RNA polymeráza resp. transkriptáza) a poté postupně volí vhodné nukleotidy k zadané sekvenci DNA, musí dát pozor na správné párování bází a také na fakt, že v RNA se nukleotid thymin nahrazuje za uracil. RNA (resp. mRNA) je poté přenesena z jádra ven do cytoplasmy a putuje na jeden z ribozomů, kde začíná proces translace.

Uf, zachránil jsi transkripci!

Helikáza rozpletla dvě vlákna DNA od sebe a RNA polymeráza může začít pracovat!

Která bude první báze nově vznikajícího vlákna RNA?

(Začni na dolním vlákně vlevo)



Obr. 10: Snímek 62/157, párování bází. Vlastní dílo.

Zde student opět na základě párování bází volí kompatibilní trojice nukleotidů (vazba kodon-antikodon). Po správné volbě trojice nukleotidů (a tedy i správné volbě t-RNA) na základě tabulky (viz. obr. 11) zjišťuje která z 21 aminokyselin je na dříve zvolenou tRNA napojena, a tím skládá řetězec aminokyselin za sebe a tvoří primární strukturu proteinu.

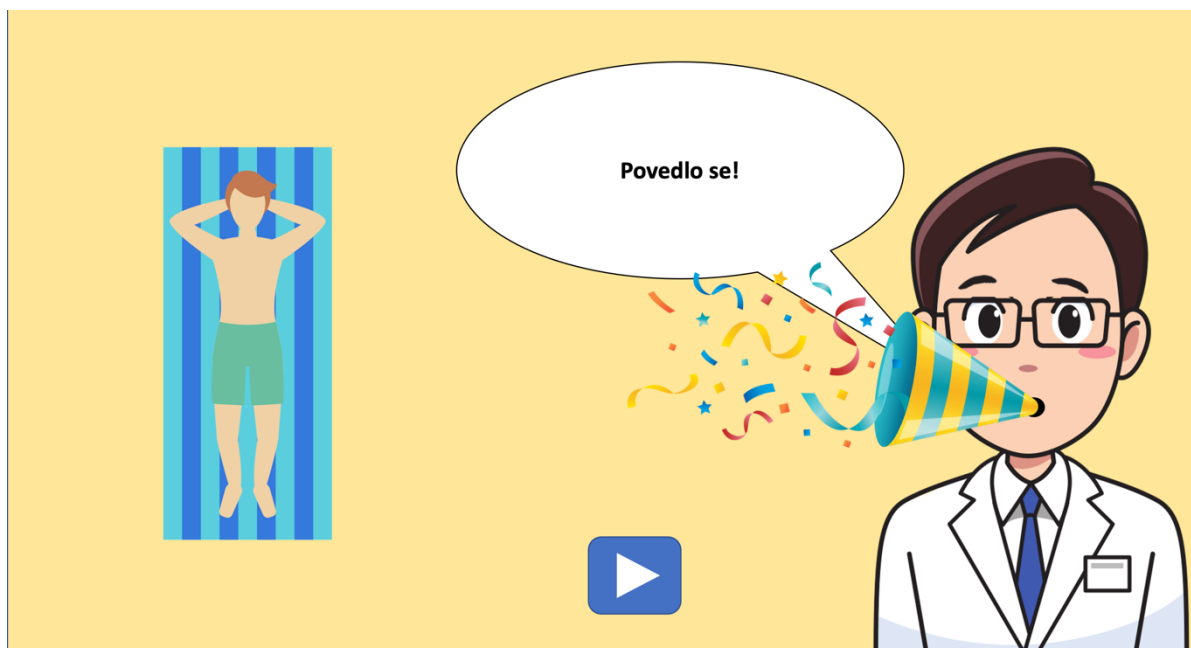
Kodónu AUG odpovídá tRNA nesoucí aminokyselinu...

Obr. 11: Snímek 121/157, přiřazení aminokyseliny ke kodónu. Vlastní dílo.

Obr. 12: Snímek 135/157, párování kodónu s antikodónem. Vlastní dílo.

Poté, co student poskládá správně primární strukturu tyrozinázy, je seznámen s tím, že po translaci prochází enzym dalšími úpravami (např. methylace, glykosylace, skládání do terciálních či kvartérních struktur apod.) Následuje finále hry, tyrozináza v melanocytech stimuluje tvorbu melaninu, který se začíná usazovat v keratinocytech, kde absorbuje škodlivé UV záření a brání tvorbě dalších mutací DNA.

Zde hra končí a spokojený Lars si užívá zbytek dovolené.



Obr. 13: Snímek 159/157, podařilo se nám zachránit Larse. Vlastní dílo.

5.2. Metodická příprava k efektivnímu začlenění hry do výuky

Tato kapitola vychází z kapitoly 3.3 této práce. Na základě osnovy vytyčené v této kapitole 3.3 lze mnou vytvořenou hru charakterizovat následovně:

a) vytyčit cíle hry

Rozvoj kognitivního porozumění základním principům molekulární biologie u žáků vyššího gymnázia.

b) diagnostikovat připravenost žáků

Před tvorbou hry jsem prostudoval kurikulární dokumenty a obsah všech tří nejčastěji používaných učebnic (Kočárek, Šmarda a Šíma). Dále byl obsah hry konzultován s panelem odborníků viz. kapitola 4.3 této práce. Tím bylo dostatečně ověřeno, že obsah plně odpovídá znalostem cílové skupiny.

c) stanovit pravidla hry

Pravidla jsou jasně ohraničena formou a scénářem hry. Jediným nárokem na učitele je dbát, aby studenti pracovali samostatně.

d) vymezit úlohu vedoucího hry

Vedoucí hry, resp. učitel do procesu příliš nezasahuje. Podílí se na rozdání pomůcek, řešení technických problémů a udržování klidu během učební jednotky, vedoucím hry je pevně naprogramovaný scénář hry.

e) stanovit způsob hodnocení

V případě této DP byla učební jednotka zakončena znalostním testem, nicméně scénář je navržen tak, aby student bez pochopení jednotlivých konceptů nebyl v časovém limitu schopen hrou projít. Fakt, zda student hru za časový úsek zvládne dokončit, beru z ohledu na hodnocení a případnou reflexi ze strany studenta za dostatečnou.

f) zajistit vhodné místo

Jelikož se jedná o didaktickou hru digitální povahy, je vhodný m místem počítačová učebna, případně klasická třída, kdy je možné (na některých školách) studentům rozdat erární mobilní zařízení (např. tablety), v krajním případě je možné, aby studenti použili svá zařízení. V mém případě, jsem se setkal s erárními mobilními zařízeními a plně vybavenou počítačovou učebnou.

g) připravit pomůcky, materiály, nebo rekvizity

Hra vyžaduje pouze mobilní zařízení či PC s přístupem k internetu.

h) určit časový limit hry

Na základě pilotního testování byl stanoven na 20 minut.

ch) promyslet případné modifikace hry

Rozvedeno v kapitole 6. Diskuze.

5.3. Hodnocení panelem expertů

Ze všech hodnotících kategorií byla odborníky nejhůře známkována kategorie „Odborná přiměřenost“ (průměrná známka 1,8) kdy bylo doporučeno ubrat na podrobnosti jednotlivých molekulárních procesů, které hra obsahuje, viz tabulka č.2. Naopak nejlépe byla hodnocena „odborná správnost“ a „srozumitelnost textů“ které se ve hře objevují (obě kritéria průměrná známka 1,2). Celkový dojem byl během tohoto prvního testování oznámkován s průměrem 1,4 a celkový průměr všech známek se rovnal hodnotě 1,44.

Hodnocení probíhalo na školní škále 1=výborně, 5=nedostatečně.

Tabulka 2: Hodnocení hry experty

	Odborná správnost	Odborná přiměřenost	Srozumitelnost textu	Přehlednost/ergonomie hry	Celkový dojem
Odborník 1	1	3	1	1	1
Odborník 2	1	1	1	2	1
Odborník 3	2	1	2	2	2
Odborník 4	1	2	1	1	1
Odborník 5	1	2	1	2	2
Celková známka	1,2	1,8	1,2	1,6	1,4

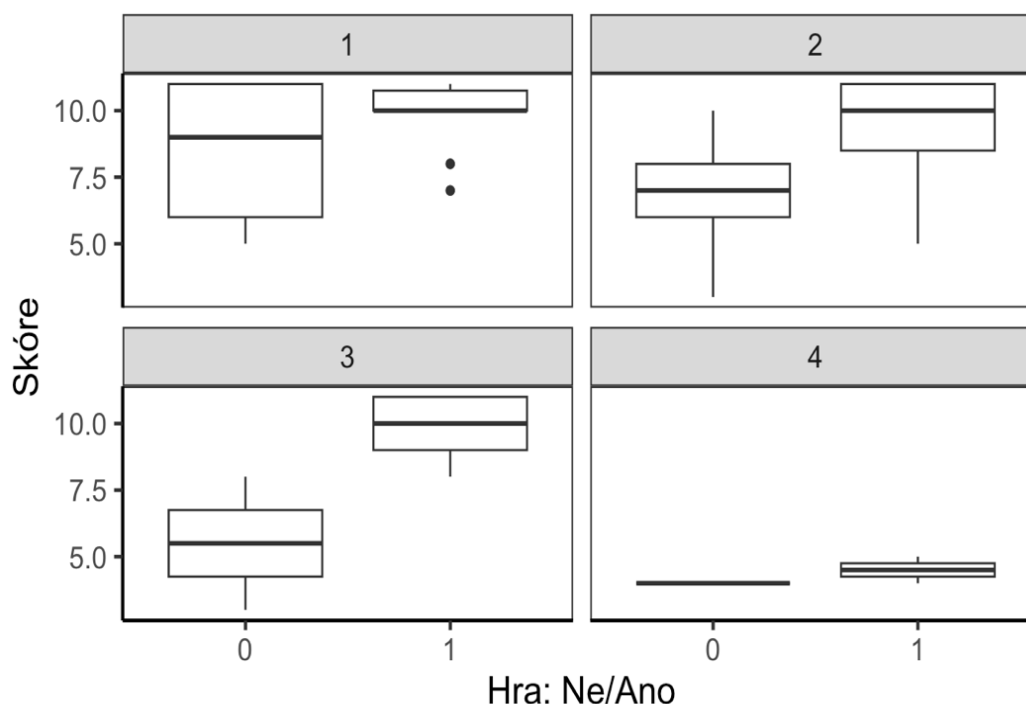
5.4. Znalostní test

Cronbachovo alfa znalostního testu bylo poměrně dobré, $\alpha = 0,78$. Index α -dropped indikoval nekonzistenci otázky č. 8. Na otázku jsem se podíval a bylo nutné uznat, že byla zvolena poněkud nešťastně, a proto jsem ji vyřadil. Po jejím vyřazení vzrostla reliabilita měření na $\alpha = 0,89$. Všechny další výsledky jsou uváděny z hodnot po vyloučení této jedné otázky. Výsledky znalostního testu jsou výrazně odlišné u tříd, které hru hrály a třídy kontrolní. Třídy, které hru hrály dosáhly průměrně 8,71 bodů z celkem možných 10 bodů. Třída C, která hru neměla zařazenou do výuky dosáhla průměrného výsledku 6,4 bodů, blíže viz. Tabulka č.3.

Tabulka 3: Celková úspěšnost tříd

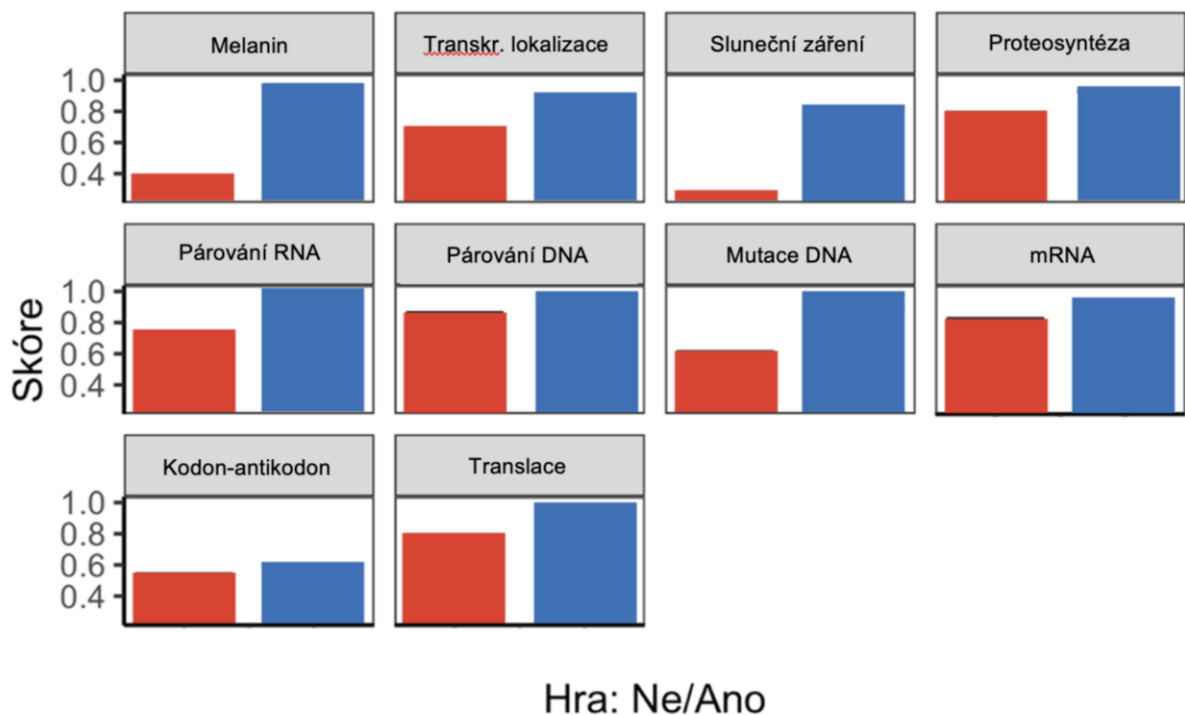
Třída:	Hra:	Průměrný počet bodů:	Úspěšnost:
A	Ano	8,68 z 10	86,8 %
B	Ano	8,74 z 10	87,4 %
C	Ne	6,4 z 10	64 %

Výsledky znalostního testu v závislosti na hra/nehra a známky z biologie v předchozím pololetí jsou zobrazeny v grafu č.1.



Graf 1: Celková úspěšnost studentů se stejnou známkou na základě faktoru „Hra/Nehra“

Z grafu je patrné, že výsledky znalostního testu se výrazněji lišily u žáků středního výkonnostního spektra (známka 2 a 3), a to ve prospěch studentů kteří hru hráli, a to statisticky signifikantně dle Wilcox párového testu ($p < 0,001$). Pro vzhled do konkrétních znalostí, které hra rozvíjí jsem porovnal úspěšnost v řešení jednotlivých otázek obou testovaných skupin (hra/nehra), blíže viz. Graf. č.2. Statistickou významnost nese i rozdíl mezi třídami, které hru měly a třídou kontrolní (Wilcox párový test, $p < 0,001$).



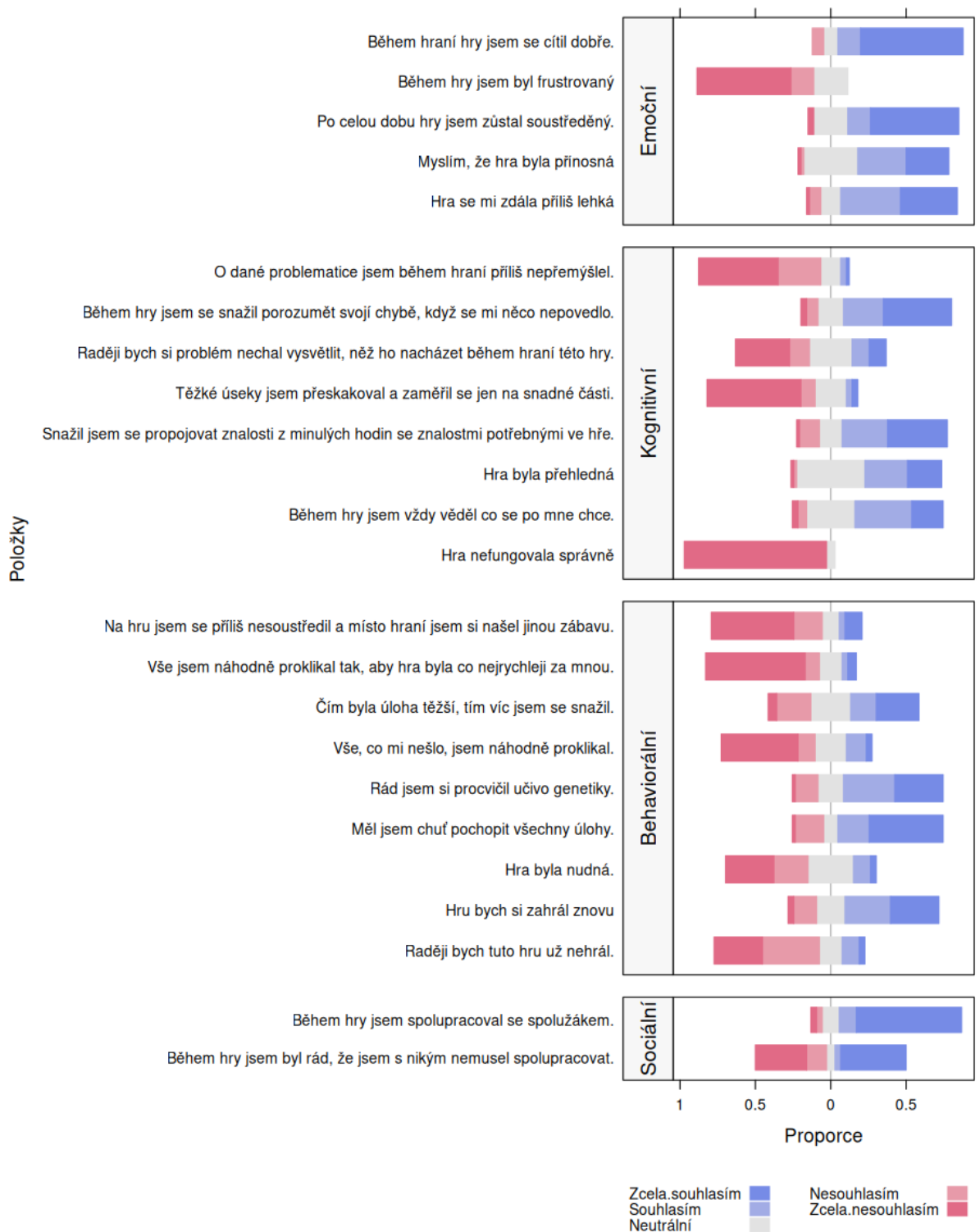
Graf 2: vliv hry na otázkách, kde na ose y je znázorněna průměrná úspěšnost v jednotlivých úlohách

Z grafu je patrné, že nejvyšší přínos měla hra na pochopení funkce a metabolismu melaninu. Dále hra pomohla studentům správněji lokalizovat procesy v rámci buňky (transkripce v jádře, translace ribozomy) a pomohla jim se zorientovat v problematice mutací DNA a jejich oprav. V problematice párování bází naopak dosahovali studenti bez absolvování hry podobných výsledků jako studenti kteří si hru zahráli, obdobně jako v otázce orientované na jednotlivé složky transkripce resp. translace. Vliv faktoru osoby učitele nebyla potvrzena (Wilcoxonův párový test $p = 0,0198$).

5.5. Analýza postojového dotazníku

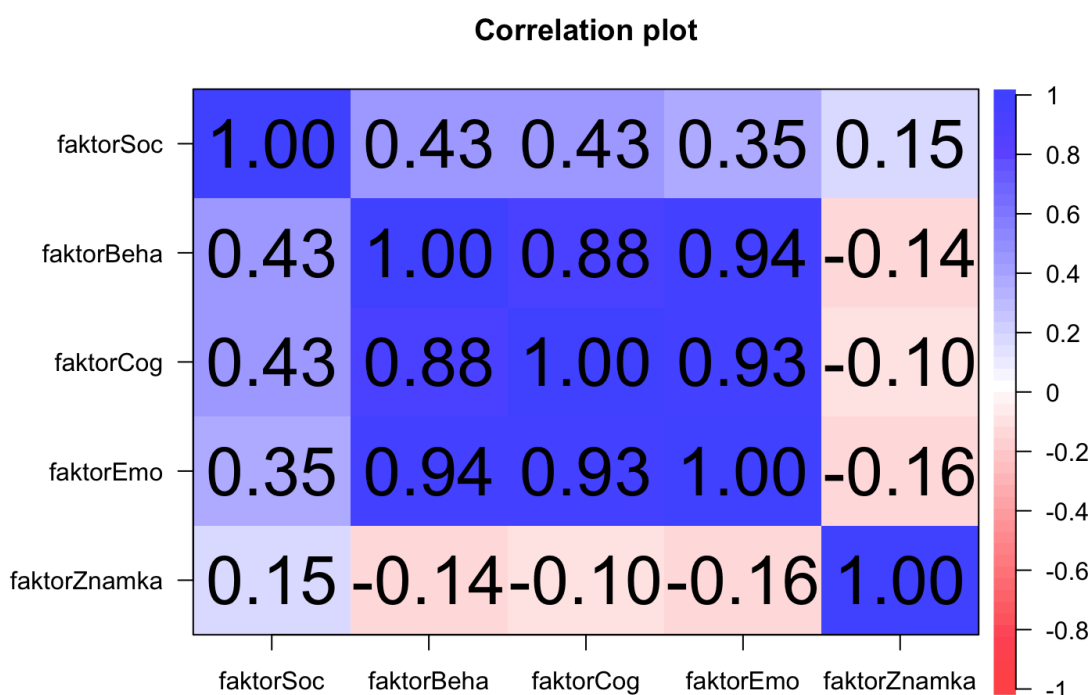
Cronbachovo alfa bylo pro znalostní test zjištěno $\alpha = 0,69$ jako přijatelná míra reliability, index alfadrop zároveň neindikoval nekonzistentní položky. Z odpovědí, (na škále 1 *zcela souhlasím* až 5 *zcela nesouhlasím*) se vymykala otázka která zněla: “Hra nefungovala správně”, kde z celkového počtu 53 studentů 51 odpovědělo zcela nesouhlasím (tedy 5) a 2 studenti odpověděli neutrálně (tedy 3). Otázka, zda by si studenti zahráli hru znovu, dosáhla průměrné hodnoty odpovědí 2.28 z toho 64 % studentů odpovědělo 1-2, tudíž by si hru zahrálo znovu, 10 studentů odpovědělo neutrálně. Dále 77 % studentů hodnotilo hru jako

lehou, s tímto výrokem pouze jeden student zcela nesouhlasil a 6 studentů odpovědělo neutrálně. Další rozložení odpovědí znázorňuje následující graf č.3.



Graf 3: Výsledky „Engagement dotazníku“

V souladu s faktorovou stavbou výzkumného nástroje jsem vytvořil sloučené proměnné a sledoval jejich korelace. (viz. graf č. 4) Nejsilněji korelovanými faktorovými skupinami dotazníku mezi sebou byly emoční, behaviorální a kognitivní. Sociální faktor také vykazoval pozitivní korelace s již zmíněnými faktory, nicméně v mnohem menší míře. Faktorem, který téměř ve všech případech vykazoval slabě zápornou korelaci byl faktor známka.



Graf č. 4: Znárodnující korelace mezi jednotlivými faktory

6. Diskuze

Tvorbě hry předcházela rešerše kurikulárních dokumentů a odborných článků tak, aby výsledný scénář dokázal reflektovat nároky, které jsou na studenty v rámci výuky tématu genetiky kladeny. V tomto kontextu je zajímavým tématem k diskusi fakt, že pilotní testování hry expertním panelem přineslo závěr, že je hra v některých konceptech až příliš podrobná a tím i náročná, nicméně studenti samotní naopak hodnotili v 77 % hru jako lehkou.

Ještě zajímavějším se tento výsledek, začne jevit v kontextu publikací Bahar et al. (2010a, b), Çimer, (2012) či Tichá (2019) ve kterých různé demografické skupiny hodnotí genetiku jako velmi náročnou.

Samotná hra je koncipována k zařazení na konci výuky daného tématu a slouží ke kvalitnímu opakování základních konceptů, dále rozvíjí povědomí o rizicích nadměrného vystavování UV záření a mechanismu obrany kterým náš organismus disponuje. Scénář hry byl navržen pro potřeby webové aplikace. Mimo to že by hra bylo dostupná na jakémkoliv zařízení s přístupem k internetu bez nutnosti instalace, by využití webové aplikace umožnilo implementaci pokročilejších herních prvků, ať již po stránce grafické či funkční. Nicméně cíl dosáhnout v rámci zpracování diplomové práce funkční webové aplikace se ukázal jako nespelnitelný.

Návrh hry byl díky analytické prefázi relativně bezproblémový a hra ani po získání zpětné vazby od žáků nepotřebovala zásadní úpravy. Po technické stránce by v budoucnu využitelnosti hry přispěla možnost stanovit časový limit. Časový limit by dokázal ověřit studentovu připravenost v daném tématu a dát mu jistou formu zpětné vazby. Další úpravou, která by umožnila zadat absolvování hry za domácí úkol, by byla možnost odeslat “výsledek”, tedy informaci, že student dokázal celým dějem hry v časovém limitu projít, učiteli na jeho email.

Vedle tvorby hry, či jiného výukového materiálu, je potřeba hru ověřit tak, aby její využití ve výuce bylo funkční (Jankovcová et al., 1988; Vališová & Kovaříková, 2021). Vzhledem k náročnosti tvorby samotné hry nebylo v mých silách otestovat přínos hry na dostatečně reprezentativním vzorku a omezil jsem se na dostupný výběr tříd na škole kde jsem vyučoval. Teoreticky ideálním řešením by bylo, vedle testovaného vzorku, také uspořádání pre-test/post-test. Takové uspořádání je ale v případě specializovaného a abstraktního tématu výuky komplikované. Studenti se před výukou s tímto tématem setkali povrchně (“Jurský park”) a je zřejmé že v pretestu (jako míře porozumění konceptů rozvíjených hrou) by pouze tipovali. S ohledem na toto omezení jsem jako vysvětlující proměnnou zahrnul školní klasifikaci, která by měla umožnit odhadnout sumární vhlad do biologických problémů, a tedy i rozlišit žáky podle předchozích znalostí.

Pilotní testování přineslo velmi uspokojivé výsledky. Vliv hry byl potvrzen na statisticky významné úrovni v rámci Wilcoxonova párového testu. Nejvyšší přínos měla hra na pochopení funkce a metabolismu melaninu, což je pravděpodobně dané specifíkem scénáře hry, který se z velké části věnuje právě melaninu a jeho syntéze. Mimo to studenti, kteří hru absolvovali, dosahovali více či méně lepších výsledků ve všech otázkách, což koresponduje s

výsledky publikací zaměřených na didaktické hry např. Keller et al. (2022), Costa (2022) a další. Nejmenší rozdíl mezi studenty kteří hru hráli a kontrolní skupinou byl v otázce která vyžadovala znalost základních složek podílejících se na procesu transkripce. Dle mého názoru je to zejména díky tomu, že se jedná o celkem komplikované pojmy, které se špatně pamatují bez ohledu na zařazení hry do výukového procesu.

Největší přínos na výsledek znalostního testu měla hra na výkonnostní skupiny studentů se známkou (v pololetí) 2 a 3, nejmenší naopak u studentů, kteří byli v pololetí hodnoceni známkou 4. Nabízí se vysvětlovat tyto výsledky oblíbeností předmětu biologie v daných výkonnostních skupinách, kde studenti, kteří patří do skupiny se známkou 1, shledávají téma atraktivním i bez absolvování hry a mají všechny koncepty pevně a správně ukotvené dávno před zařazením hry do výukového procesu. Naopak studenti se známkou 4 mohou mít k biologickým tématům takový odpor, že ani atraktivněji zvolená výuka nemusí přinést kýžený výsledek. Mehmood (2020) ve své publikaci korelaci mezi oblíbeností a studijními úspěchy našel, nicméně míra korelace fluktovala nejen napříč jednotlivými výkonnostními skupinami, ale i ročníkem, ve kterém se studenti nacházeli. Zároveň autor této publikace uvádí, že lze v různých výkonnostních skupinách studentů očekávat různé pokroky.

Mimo znalostní test studenti vyplňovali dotazník hodnotící školní participaci. Na základě jeho výsledků lze konstatovat, že všechny dílčí složky (sociální, emoční, kognitivní a behaviorální) spolu byly korelovány, kdy student s nízkou celkovou participací dosahoval nižších dílčích výsledků napříč složkami, a naopak lepší student dosahoval lepších výsledků ve všech zmíněných podkategoriích. Korelaci mezi jednotlivými faktory pozoroval i sám autor dotazníku Wang et al. (2016).

Téměř dvě třetiny studentů (64 %) by si hru zahrálo znovu, což mne jako autora těší, jelikož je potřeba brát stále v úvahu, že se jedná o hru didaktickou. Nicméně nemohu se zbavit obav, že nadměrné opakování hry by vedlo pouze k prostému proklikávání se jejím průběhem, aniž by se student nad svými odpověďmi hlouběji zamyslel a tím si je upevnil.

7. Závěr

Cílem práce bylo:

- 1) Navrhnout scénář/příběh/libreto pro hru zaměřenou na rozvoj kognitivního porozumění základním genetickým principům u žáků vyššího gymnázia
- 1) Implementovat pilotní verzi navržené hry
- 2) Výzkumně ověřit didaktický dopad užití pilotní verze

Všechny cíle práce byly naplněny.

Praktickým výsledkem je didaktická hra Proteosyntéza. Podrobnou rešerší kurikulárních dokumentů a dalších studijních materiálů, jako jsou například učebnice, bylo zaručeno že hra je po odborné stránce správná a přiměřená znalostem které by měla cílová skupina během studia získat. Hra je zaměřena na základní koncepty molekulární biologie, konkrétně na průběh a význam proteosyntézy. Hráči v rámci buňky rozhodují o lokalizaci jednotlivých procesů, jejich funkci, smyslu, výsledcích. Seznamují se ale i s dalšími dílčími tématy jako např. mutace, obrana před UV zářením, či buněčná signalizace.

Výzkumná část práce byla věnována ověření didaktické hodnoty vytvořené hry na vzorku tří gymnaziálních tříd (vždy se jednalo o poslední, předmaturitní ročník). Přínos hry v pochopení jednotlivých konceptů byl v rámci vyhodnocení znalostního testu statisticky prokázán. Studenti nejen že dosahovali lepších výsledků v rámci znalostního testu (oproti kontrolní skupině která hru nehrála) ale také kladně hodnotili hru jako aktivitu v rámci postojového dotazníku, jehož překlad podle Wang a et al. (2016) v rámci této práce vznikl.

Genetika resp. její dílčí složka molekulární biologie je značně složitou vědní disciplínou. Studenti si při setkání s tímto tématem utvářejí četné miskoncepce a hodnotí toto téma jako značně složité a abstraktní. Téma genetiky rezonuje v naší společnosti čím dál častěji a je nutné, aby české školství opouštěli jedinci, kteří se v tomto tématu dokáží alespoň částečně zorientovat a kriticky o něm přemýšlet a rozhodovat. I právě pro výše zmíněné vidím nejen ve mnou vytvořené hře ale i dalších interaktivních materiálech potenciál, že budou přínosné. A to zejména díky názornému grafickému zobrazení, atraktivnosti a interakci se studentem v reálném čase, což umožní lepší pochopení, pro studenty mnohdy až abstraktních konceptů, se kterými se v průběhu studia setkají. Na závěr nevylučuji další modifikace mnou vytvořené hry, ke zlepšení její funkčnosti a využitelnosti v praxi.

8. Přehled literatury a použitých zdrojů

- Antonakos, J. L. (2016). *Computer Technology and Computer Programming: Research and Strategies*. CRC Press.
- Bahar, M., Johnstone, A., & Hansell, M. (2010a). *Revisiting learning difficulties in biology*. *Journal of Biological Education*, Spring 1999, 84–86.
<https://doi.org/10.1080/00219266.1999.9655648>
- Bahar, M., Johnstone, A., & Hansell, M. (2010b). *Revisiting learning difficulties in biology*. *Journal of Biological Education*, Spring 1999, 84–86.
<https://doi.org/10.1080/00219266.1999.9655648>
- Balali-Mood & Abdollahi. (2015). *Basic and Clinical Toxicology of Mustard Compounds* | SpringerLink. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-23874-6>
- Bónus, L., Antal, E., & Korom, E. (2024). *Digital Game-Based Inquiry Learning to Improve Eighth Graders' Inquiry Skills in Biology*. *Journal of Science Education and Technology*.
<https://doi.org/10.1007/s10956-024-10096-x>
- Borji & Khaldi. (2014). *Comparative Study to Develop a Tool for the Quality Assessment of Serious Games Intended to be Used in Education* | *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*. <https://online-journals.org/index.php/i-jet/article/view/4150>
- Byrtusová, H. (2013). *Návrh výuky genetiky v přírodopisu a výchově ke zdraví* [Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta]. https://is.muni.cz/th/284031/pedf_m/
- Cimer. (2012). Cimer, A. (2012). *What makes biology learning difficult and effective Students' views* *Educational Research and Reviews*, 7, 61-71. - References—Scientific Research Publishing. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=932043>
- Cisterna, D., Williams, M., & Merritt, J. (2013). *Students' Understanding of Cells & Heredity: Patterns of Understanding in the Context of a Curriculum Implementation in Fifth & Seventh*

Grades. The American Biology Teacher, 75(3), 178–184.

<https://doi.org/10.1525/abt.2013.75.3.6>

Condit, C. M. (2001). Rhetorical Formations of Genetics in Science and Society. *Rhetoric Review*, 20(1/2), 12–17.

Costa, C. (2022). *ECGBL 2022 16th European Conference on Game-Based Learning*. Academic Conferences and publishing limited.

Crick, F. (1970). Central Dogma of Molecular Biology. *Nature*, 227(5258), 561–563.

<https://doi.org/10.1038/227561a0>

Cytosis: A Cell Biology Game | Science Classroom Education Board Game. (b.r.). Genius Games.

Získáno 20. červenec 2024, z <https://www.geniusgames.org/products/cytosis-a-cell-biology-game>

Cytosis Review—Board Game Quest. (b.r.). <https://www.boardgamequest.com/cytosis-review/>

Diniz, J. M., Carvalho, A. O., Meirelles, R. M. S., & Castro, H. C. (2021). *On the Path of Poisonous Animals: A High School Game for Approaching Venomous Animals, Biotechnology Potential and Biodiversity*. <https://doi.org/10.4236/ce.2021.125086>

D’Orazio, J., Jarrett, S., Amaro-Ortiz, A., & Scott, T. (2013). UV Radiation and the Skin.

International Journal of Molecular Sciences, 14(6), Article 6.

<https://doi.org/10.3390/ijms140612222>

Duncan, R. G., & Reiser, B. J. (2007). Reasoning across ontologically distinct levels: Students’ understandings of molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(7), 938–

959. <https://doi.org/10.1002/tea.20186>

El Borji, Y., & Khaldi, M. (2014). Comparative Study to Develop a Tool for the Quality

Assessment of Serious Games Intended to be Used in Education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 9(9), 50. <https://doi.org/10.3991/ijet.v9i9.4150>

- Essential features of serious games design in higher education: Linking learning attributes to game mechanics—Lameras—2017—British Journal of Educational Technology—Wiley Online Library.* (b.r.). Získáno 25. červenec 2024, z <https://bera-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/bjet.12467>
- Estévez, I., Rodríguez-Llorente, C., Piñeiro, I., González-Suárez, R., & Valle, A. (2021). School Engagement, Academic Achievement, and Self-Regulated Learning. *Sustainability*, 13(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/su13063011>
- Fall, A.-M., & Roberts, G. (2012). High school dropouts: Interactions between social context, self-perceptions, school engagement, and student dropout. *Journal of Adolescence*, 35(4), 787–798. <https://doi.org/10.1016/j.adolescence.2011.11.004>
- Frost, P. (2014). The Puzzle of European Hair, Eye, and Skin Color. *Advances in Anthropology*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.4236/aa.2014.42011>
- Gene Expression Essentials.* (b.r.). PhET. Získáno 20. červenec 2024, z <https://phet.colorado.edu/en/simulations/gene-expression-essentials>
- Genotype: A Mendelian Genetics Game.* (b.r.). BoardGameGeek. Získáno 20. červenec 2024, z <https://boardgamegeek.com/boardgame/252752/genotype-a-mendelian-genetics-game>
- Gentry et al. (2019). *Journal of Medical Internet Research—Serious Gaming and Gamification Education in Health Professions: Systematic Review.* <https://www.jmir.org/2019/3/E12994>
- Gibson, J. P., & Cooper, J. T. (2017). Botanical Phylo-Cards: A Tree-Thinking Game to Teach Plant Evolution. *The American Biology Teacher*, 79(3). <https://doi.org/10.1525/abt.2017.79.3.241>
- Grace, M., & Ratcliffe, M. (2003). Making Decisions about Biological Conservation Issues in Peer Group Discussion. In D. Psillos, P. Kariotoglou, V. Tselfes, E. Hatzikraniotis, G. Fassoulopoulos, & M. Kallery (Ed.), *Science Education Research in the Knowledge-Based Society* (s. 241–247). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0165-5_26

- Granic. (2014). *The benefits of playing video games*.
<https://psycnet.apa.org/doiLanding?doi=10.1037%2Fa0034857>
- Grogan, K. E., Henrich, C. C., & Malikina, M. V. (2014). Student Engagement in After-School Programs, Academic Skills, and Social Competence among Elementary School Students. *Child Development Research*, 2014(1), 498506. <https://doi.org/10.1155/2014/498506>
- Hainey, T., Connolly, T., Boyle, E., Ford, A., & Razak, A. (2016). A systematic literature review of games-based learning empirical evidence in primary education. *Computers & Education*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.09.001>
- Hana, B., & Zuzana, K. (2014). *1. ÚVOD A ZÁKLADNÍ POJMY*.
- Hannig et al. (2012). *eMedOffice: A web-based collaborative serious game for teaching optimal design of a medical practice* | *BMC Medical Education*.
<https://link.springer.com/article/10.1186/1472-6920-12-104>
- Horyna. (2002). *Filosofický slovník—B. Horyna*. <https://www.martinus.cz/79145-filosoficky-slovník/kniha>
- Chen, Y., Pan, L., Ren, M., Li, J., Guan, X., & Tao, J. (2022). Comparison of genetically modified insect-resistant maize and non-transgenic maize revealed changes in soil metabolomes but not in rhizosphere bacterial community. *GM Crops & Food*, 13(1), 1–14.
<https://doi.org/10.1080/21645698.2022.2025725>
- Ikehata. (2015). *The Mechanisms of UV Mutagenesis* | *OUP Journals & Magazine* | *IEEE Xplore*.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8155067>
- Immunity ve službě Steam*. (b.r.). Získáno 21. červenec 2024, z
<https://store.steampowered.com/app/811470/Immunity/>
- Ingram, E., & Keshwani, J. (2023). Prairie Protector: Student development of systems thinking habits in the context of agroecosystems. *Frontiers in Education*, 8.
<https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1186270>

- Ito. (2008). *Figure 2.3: Structure of eumelanin and pheomelanin. The positions with...*
ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-eumelanin-and-pheomelanin-The-positions-with-COOH-in-eumelanin_fig2_331903150
- Jamonnak. (2017). *Little Botany: A Mobile Game Utilizing Data Integration to Enhance Plant Science Education—Jamonnak—2017—International Journal of Computer Games Technology—Wiley Online Library.*
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2017/3635061>
- Janštová, V., Hančlová, D., & Kuba, R. (2022). Analýza školních vzdělávacích programů přírodopisu na druhém stupni pražských základních škol. *Pedagogika*, 72(1), Article 1.
<https://doi.org/10.14712/23362189.2021.1929>
- Janštová, V., & Jáč, M. (2015). Výuka molekulární biologie na gymnáziích: Analýza současného stavu a možnosti její podpory. *Scientia in educatione*, 6(1), Article 1.
<https://doi.org/10.14712/18047106.145>
- Johnson. (2022). *Playful Pedagogy in the Pandemic | Pivoting to Game-Based Learning | E.*
<https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781003281696/playful-pedagogy-pandemic-emily-johnson-anastasia-salter>
- Johnson, R., Ingram, D., Gordon, B. S., Davis, P., & Greer-Smith, R. (2020). Community-Initiated Research Engagement: Equitable Partnership Delivering Research-Ready Faith-Based Ambassadors. *Progress in Community Health Partnerships: Research, Education, and Action*, 14(2), 197–206.
- Johnsone & Mahmoud. (2013). *Isolating topics of high perceived difficulty school biology: Journal of Biological Education: Vol 14, No 2.*
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00219266.1980.10668983>

- Kapoor. (2020). *How to Boost your App Store Rating? An Empirical Assessment of Ratings for Mobile Banking Apps*. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-18762020000100108&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- Kasíková. (1997). KASÍKOVÁ, H. *Kooperativní učení, kooperativní škola*. Praha: Portál, 1997. 152 s. ISBN 80-7178-167-3. <https://is.jamu.cz/publication/3123/cs/KASIKOVA-H-Kooperativni-uceni-kooperativni-skola-Praha-Portal-1997-152-s-ISBN-80-7178-167-3>
- Keller. (2022). *Game theory without theory: Interactive choice in pigeons, humans and machines—ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023969022000042>
- Khafidhoh, N., & Noviandy, I. (2022). Interactive Learning Media Arrange Animal Names Based on Android Game. *NEWTON: Networking and Information Technology*, 2, 21–28. <https://doi.org/10.32764/newton.v2i1.1998>
- Khare, R., Good, B. M., Leaman, R., Su, A. I., & Lu, Z. (2016). Crowdsourcing in biomedicine: Challenges and opportunities. *Briefings in Bioinformatics*, 17(1), 23–32. <https://doi.org/10.1093/bib/bbv021>
- Machová, M., & Ehler, E. (2020). *Jak učit základy genetiky: Z výzkumu do praxe*.
- Knecht, P. (b.r.). *Uèebnice z pohledu pedagogického výzkumu*.
- Knippels, M.-C., Waarlo, A. J., & Boersma, K. T. (2010). Design criteria for learning and teaching genetics. *Journal of Biological Education*, Summer 2005, 108–112. <https://doi.org/10.1080/00219266.2005.9655976>
- Kokkalia, G., Drigas, A., Economou, A., Roussos, P., & Choli, S. (2017). The Use of Serious Games in Preschool Education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 12, 15–27. <https://doi.org/10.3991/ijet.v12.i11.6991>
- Lanie, A. D., Jayaratne, T. E., Sheldon, J. P., Kardia, S. L. R., Anderson, E. S., Feldbaum, M., & Petty, E. M. (2004). *Exploring the Public Understanding of Basic Genetic Concepts*. *Journal*

of Genetic Counseling, 13(4), 305–320.

<https://doi.org/10.1023/B:JOGC.0000035524.66944.6d>

Lawsin, N. L. P. (2023). TAXOCARD Game in Promoting Concept Retention in Mastering Animal Classification. *American Journal of Innovation in Science and Engineering*, 2(1), Article 1. <https://doi.org/10.54536/ajise.v2i1.1343>

Lee. (2021). *A Study on Metaverse Hype for Sustainable Growth -International journal of advanced smart convergence | Korea Science*.

<https://koreascience.kr/article/JAKO202128054633800.page>

Lewis, J., & Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: Re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, 26(2), 195–206.

<https://doi.org/10.1080/0950069032000072782>

Li, Z. (2024). An Analysis of the Effect of Educational Games on Cultivating Students' Interest in Subjects. *Lecture Notes in Education Psychology and Public Media*, 42, 27–31.

<https://doi.org/10.54254/2753-7048/42/20240825>

Limniou, M., Mansfield, R., & Petichakis, C. (2019). Students' Views for a Research-Intensive School Curriculum in Psychology: Research-Teaching Nexus. *Creative Education*, 10(04), 796–813. <https://doi.org/10.4236/ce.2019.104059>

Ling, M. M., & Robinson, B. H. (1997). Approaches to DNA Mutagenesis: An Overview.

Analytical Biochemistry, 254(2), 157–178. <https://doi.org/10.1006/abio.1997.2428>

Lišková, K. (2020). *Výuka Mendelovské dědičnosti pomocí didaktické hry*.

<https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/119845>

Low. (2024). *Punnett Farms: Developing An Immersive Educational Game-Based Platform for Learning Genetics—Henry G.H. Low, Marina Ellefson, 2024*.

<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/10468781231220728>

- MacNeill, H., Masters, K., Nemethy, K., & Correia, R. (2024). Online learning in Health Professions Education. Part 1: Teaching and learning in online environments: AMEE Guide No. 161. *Medical Teacher*, 46(1), 4–17. <https://doi.org/10.1080/0142159X.2023.2197135>
- Machová. (2019). *Revealing students' misconceptions about basics of molecular biology and genetics* | Charles Explorer.
<https://explorer.cuni.cz/publication/563116?query=genetic&lang=cs>
- Machová & Ehler. (b.r.). (PDF) *Genetics in the perspective of Czech lower-secondary schools: Misconceptions and solutions*. Získáno 25. červenec 2024, z https://www.researchgate.net/publication/341553381_Genetics_in_the_perspective_of_Czech_lower-secondary_schools_misconceptions_and_solutions
- Machová & Ehler. (2018). *Genetika a molekulární biologie: Proč to žáci (ne)chápou?* | Charles Explorer. <https://explorer.cuni.cz/publication/549964?query=genetic&lang=cs>
- Machová, M. (2017). *Přehled výuky genetiky na ZŠ a gymnáziích* [Diplomová práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Přírodovědecká fakulta].
<https://theses.cz/id/k1wsi0/machova-dipl-genetika.pdf?info=1;issnlret=dvoj%C4%8Dat%3B;zpet=%2Fvyhledavani%2F%3Fsearch%3Ddvoj%C4%8Data%26start%3D46>
- Machová, M. (2020). *Genetics in the perspective of Czech lower-secondary schools: Misconceptions and solutions* | Charles Explorer.
<https://explorer.cuni.cz/publication/582862?query=genetic&lang=cs>
- Machová, M. (2022). *Úroveň porozumění základům genetiky a molekulární biologie u žáků gymnázií a druhého stupně základních škol*.
<https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/171992>

- Machová, M., & Ehler, E. (2021). Secondary school students' misconceptions in genetics: Origins and solutions. *Journal of Biological Education*, 57, 1–14.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2021.1933136>
- Malak. (2021). *Personalized Serious Games for Improving Attention Skills among Palestinian Adolescents*. <https://dspace.alquds.edu/handle/20.500.12213/6447>
- Maňák, J. (1997). *Alternativní metody a postupy*. Masarykova univerzita v Brně.
<https://is.muni.cz/publication/144253/cs/Alternativni-metody-a-postupy/Manak>
- Mary, R., & Marcus, G. (2003). *Science Education For Citizenship: Teaching Socio-Scientific Issues*. McGraw-Hill Education (UK).
- McMurry. (2001). *The Organic Chemistry of Biological Pathways: McMurry, John, Tadhg, Begley: 9780974707716:*
- McNamara. (2021). *Decoding the Evolution of Melanin in Vertebrates: Trends in Ecology & Evolution*. [https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/fulltext/S0169-5347\(20\)30375-X?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS016953472030375X%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/fulltext/S0169-5347(20)30375-X?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS016953472030375X%3Fshowall%3Dtrue)
- Megapanou, N. (2022a). Preschool Teachers' Views on the Outcomes of Preschool Inclusive Education for Students with Special Educational Needs and Typically Developing Students. *OALib*, 09(03), 1–17. <https://doi.org/10.4236/oalib.1108472>
- Megapanou, N. (2022b). Preschool Teachers' Views on the Outcomes of Preschool Inclusive Education for Students with Special Educational Needs and Typically Developing Students. *OALib*, 09(03), 1–17. <https://doi.org/10.4236/oalib.1108472>
- Mehmood, N. (2020). Relationship of Students' Attitude towards and Achievement in Biology across Gender and Grade. *Pakistan Social Sciences Review*, 4(II), 422–435.
[https://doi.org/10.35484/pssr.2020\(4-II\)34](https://doi.org/10.35484/pssr.2020(4-II)34)

- Mills Shaw, K. R., Van Horne, K., Zhang, H., & Boughman, J. (2008). Essay Contest Reveals Misconceptions of High School Students in Genetics Content. *Genetics*, *178*(3), 1157–1168. <https://doi.org/10.1534/genetics.107.084194>
- Miralles, L., Moran, P., Dopico, E., & Garcia-Vazquez, E. (2013). DNA Re-Evolution: A game for learning molecular genetics and evolution. *Biochemistry and Molecular Biology Education: A Bimonthly Publication of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology*, *41*(6), 396–401. <https://doi.org/10.1002/bmb.20734>
- Mižoch. (2009, duben 10). *Soubor:Kurikulární dokumenty.png* – Wikipedie. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kurikul%C3%A1rn%C3%AD_dokumenty.png
- Moore, A. J., III Brodie, E. D., & Wolf, J. B. (1997). INTERACTING PHENOTYPES AND THE EVOLUTIONARY PROCESS: I. DIRECT AND INDIRECT GENETIC EFFECTS OF SOCIAL INTERACTIONS. *Evolution*, *51*(5), 1352–1362. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1997.tb01458.x>
- Mubin, S. A., & Wee Ann Poh, M. (2019a). A Review on Gamification Design Framework: How They Incorporated for Autism Children. *2019 4th International Conference and Workshops on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICRAIE47735.2019.9037765>
- Mubin, S. A., & Wee Ann Poh, M. (2019b). A Review on Gamification Design Framework: How They Incorporated for Autism Children. *2019 4th International Conference and Workshops on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICRAIE47735.2019.9037765>
- Mussard & Reiss. (2022). *Why is genetics so hard to learn? Insights from examiner reports for 16-18 year-olds in England—UCL Discovery*. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10146651/>
- Natural Selection. (b.r.). PhET. Získáno 15. červen 2024, z <https://phet.colorado.edu/en/simulations/natural-selection>

- Nawaz, S., Satterfield, T., & Phurisamban, R. (2023). Does “Precision” Matter? A Q Study of Public Interpretations of Gene Editing in Agriculture. *Science, Technology, & Human Values*, 48(6), 1421–1461. <https://doi.org/10.1177/01622439221112460>
- NetLogo Web: DNA Replication Fork*. (b.r.). Získáno 19. červen 2024, z <https://www.netlogoweb.org/launch#http://www.netlogoweb.org/assets/modelslib/Curricular%20Models/BEAGLE%20Evolution/DNA%20Replication%20Fork.nlogo>
- Offerdahl. (2017). *Lighten the Load: Scaffolding Visual Literacy in Biochemistry and Molecular Biology* | *CBE—Life Sciences Education*. <https://www.lifescied.org/doi/full/10.1187/cbe.16-06-0193>
- Olana, E., & Tefera, B. (2022). Family, teachers and peer support as predictors of school engagement among secondary school Ethiopian adolescent students. *Cogent Psychology*, 9(1), 2123586. <https://doi.org/10.1080/23311908.2022.2123586>
- O’Malley. (2020). *Is Evolution Fundamental When It Comes to Biological Ontology? No* | 15. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781315713151-15/evolution-fundamental-comes-biological-ontology-maureen-malley>
- Opravilová. (2016). *Předškolní pedagogika—Opravilová Eva—Knihy Google*. <https://books.google.cz/books?id=vAvyCwAAQBAJ&printsec=frontcover&key=AIzaSyDIPfI89JdFhWBVsMVsavVo6aNh057xITc#v=onepage&q&f=false>
- Osman, E., Boujaoude, S., & Hamdan, H. (2016). An Investigation of Lebanese G7-12 Students’ Misconceptions and Difficulties in Genetics and Their Genetics Literacy. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15. <https://doi.org/10.1007/s10763-016-9743-9>
- Osman et al. (2017). *Fig. 1 The different forms of learning*. Source: Osman et al. (2017, p.... ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/The-different-forms-of-learning-Source-Osman-et-al-2017-p-8-adapted-from-UIL-2012_fig1_342287595

Otová. (2014). *Lékařská biologie a genetika (III. díl)—Karolinum*.

<https://karolinum.cz/knihy/panczak-lekarska-biologie-a-genetika-iii-dil-11609>

Paneva-Marinova & Pavlov. (2018). Mini-symposium on Future Trends in Serious Games for Cultural Heritage. *Digital Presentation and Preservation of Cultural and Scientific Heritage, VIII*, 241–244.

Papadakis, S., & Kalogiannakis, M. (2023). Editorial: Gamification in education. *Frontiers in Education*, 8. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1291024>

Prioste, A., Fonseca, H., Sousa, P., Gaspar, P., Francisco, R., & Do Céu Machado, M. (2015a). Put Yourself in My Shoes: Perspectives of Adolescents about What Makes an Obesity Intervention Effective. *Health*, 07(14), 1833–1840.

<https://doi.org/10.4236/health.2015.714201>

Prioste, A., Fonseca, H., Sousa, P., Gaspar, P., Francisco, R., & Do Céu Machado, M. (2015b). Put Yourself in My Shoes: Perspectives of Adolescents about What Makes an Obesity Intervention Effective. *Health*, 07(14), 1833–1840.

<https://doi.org/10.4236/health.2015.714201>

Pritchard, D. J. (1858). *Medical Genetics at a Glance by Dorian J. Pritchard*. Wiley-Blackwell.

Pritchard, T., Coffey, M., Mrode, R., & Wall, E. (2013). Genetic parameters for production, health, fertility and longevity traits in dairy cows. *Animal*, 7(1), 34–46.

<https://doi.org/10.1017/S1751731112001401>

Průcha, J., Walterová, E., & Mareš, J. (2008). *Pedagogický slovník*. Portál.

<https://is.muni.cz/publication/911706/cs/Pedagogicky-slovník/Prucha-Walterova-Mares>

Reinke, W. M., Smith, T. E., & Herman, K. C. (2019). Family-school engagement across child and adolescent development. *School Psychology*, 34(4), 346–349.

<https://doi.org/10.1037/spq0000322>

- Richard. (2023). *Public perception of dermatologists in Europe: Results from a population-based survey—Richard—2023—Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology—Wiley Online Library*.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jdv.18988>
- Riopel, M., Nenciovici, L., Potvin, P., Chastenay, P., Charland, P., Sarrasin, J. B., & Masson, S. (2019). Impact of serious games on science learning achievement compared with more conventional instruction: An overview and a meta-analysis. *Studies in Science Education*, 55(2), 169–214. <https://doi.org/10.1080/03057267.2019.1722420>
- Romine, W. L., Todd, A. N., & Walter, E. M. (2018). A closer look at the items within three measures of evolution acceptance: Analysis of the MATE, I-SEA, and GAENE as a single corpus of items. *Evolution: Education and Outreach*, 11(1), 17.
<https://doi.org/10.1186/s12052-018-0093-7>
- Romo, E. K. (b.r.). *Game design for a serious game to help learn programming*.
- Rosenheck, J. P., Keller, B. C., Fehringer, G., Demko, Z. P., Bohrade, S. M., & Ross, D. J. (2022). Why Cell-Free DNA Can Be a “Game Changer” for Lung Allograft Monitoring for Rejection and Infection. *Current Pulmonology Reports*, 11(3), 75–85. <https://doi.org/10.1007/s13665-022-00292-8>
- Rosenwald, A. (2018, duben 5). *Cytosis Review*. Board Game Quest.
<https://www.boardgamequest.com/cytosis-review/>
- Roundfield, K. D., Sánchez, B., & McMahon, S. D. (2018). An Ecological Analysis of School Engagement Among Urban, Low-Income Latino Adolescents. *Youth & Society*, 50(7), 905–925. <https://doi.org/10.1177/0044118X16639986>
- Ruiz-Navas, S., Ackaradejraungsri, P., & Dijk, S. (2024). Are there literature reviews about gamification to foster Inclusive Teaching? A scoping review of gamification literature reviews. *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1306298>

Říhová, H. (2010). *Poškození DNA vyvolané sirným yperitem*.

<https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/24153>

Santiago. (b.r.). *Developing Innovative Models for Learning in Social Isolation Environments:*

Exemplifying it for the Bone Anatomy Study | Proceedings of the Life Improvement in Quality by Ubiquitous Experiences Workshop (LIQUE). Získáno 19. červenec 2024, z

<https://sol.sbc.org.br/index.php/lique/article/view/15717>

Selvi, M., & Çoşan, A. Ö. (2018). The Effect of Using Educational Games in Teaching Kingdoms of Living Things. *Universal Journal of Educational Research*, 6(9), 2019–2028.

<https://doi.org/10.13189/ujer.2018.060921>

Shaw. (2008). *Essay Contest Reveals Misconceptions of High School Students in Genetics Content | Genetics | Oxford Academic*.

<https://academic.oup.com/genetics/article/178/3/1157/6061481?login=false>

Sieglová, D. (2019). *KONEC ŠKOLNÍ NUDY: Didaktické metody pro 21. století*

<https://www.grada.cz/konec-skolni-nudy-10902/>.

Simiyu, S. (2012). *EFFECT OF CHALCONE DERIVATIVES ON MELANIN BIOSYNTHESIS IN B16-F10 MELANOMA CELLS SHILLAH NASAMBU SIMIYU 151444 A Final Year Project Dissertation Submitted In partial fulfilment of the requirements for the course BCM 4999*.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33299.12322>

Smejkal, L. (b.r.). *Evoluce: O původu druhů | Pexi | Svět deskových her*. Získáno 19. červenec

2024, z [//www.svet-deskovych-her.cz/produkty/3078/evoluce-o-puvodu-druhu](http://www.svet-deskovych-her.cz/produkty/3078/evoluce-o-puvodu-druhu)

Smith, T. E., Reinke, W. M., Herman, K. C., & Sebastian, J. (2021). Exploring the link between principal leadership and family engagement across elementary and middle school. *Journal of School Psychology*, 84, 49–62. <https://doi.org/10.1016/j.jsp.2020.12.006>

Snustad. (2002). *Principles of Genetics by Michael J. Simmons and D. Peter Snustad (2002, Hardcover, Revised edition) for sale online*. eBay.

- Sochorová. (2011). *Odborný článek: Didaktická hra a její význam ve vyučování*.
<https://clanky.rvp.cz/clanek/s/Z/13271/DIDAKTICKA-HRA-A-JEJ...>
- Strachotová, T. (2022). *Tvorba autorské didaktické hry „Cesta do nitra buňky“*.
<https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/176975>
- Štork, J. (b.r.). *Dermatovenerologie*. Získáno 20. červenec 2024, z
<https://www.megaknihy.cz/medicina/166837-dermatovenerologie.html>
- The Control of the Cell Cycle*. (b.r.). Získáno 20. červenec 2024, z
<https://educationalgames.nobelprize.org/educational/medicine/2001/>
- Theron. (2022). *Pathways of resilience: Predicting school engagement trajectories for South African adolescents living in a stressed environment—ScienceDirect*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0361476X22000212>
- Thorne. (2013). *Teaching Genetics in Secondary Classrooms: A Linguistic Analysis of Teachers' Talk About Proteins | Research in Science Education*.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11165-013-9375-9>
- Tichá. (2019). *Postoj žáků středních škol k biologii | Digitální repozitář UK*.
<https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/105362>
- Todd, A., Romine, W., Sadeghi, R., Cook Whitt, K., & Banerjee, T. (2022). How do high school students' genetics progression networks change due to genetics instruction and how do they stabilize years after instruction? *Journal of Research in Science Teaching*, 59(5), 779–807.
<https://doi.org/10.1002/tea.21744>
- Todd et al. (2018). *The Learning Loss Effect in Genetics: What Ideas Do Students Retain or Lose after Instruction? | CBE—Life Sciences Education*.
<https://www.lifescied.org/doi/10.1187/cbe.16-10-0310>

- Tomohiko & Sugiyama. (2019). *Biochemical reconstitution of UV-induced mutational processes* | *Nucleic Acids Research* | Oxford Academic.
<https://academic.oup.com/nar/article/47/13/6769/5485529?login=false>
- Trojan, S. (2003). *Lékařská fyziologie*. Grada Publishing a.s.
- Ventura-Martinez, R., Aguirre-Hernandez, R., Santiago-Mejia, J., Gomez, C., & Rodriguez, R. (2014a). Learning Pharmacology in Mexico: A Survey of the Use and Views of Pharmacology Textbooks by Undergraduate Medical Students. *Creative Education*, 05(01), 46–52. <https://doi.org/10.4236/ce.2014.51009>
- Ventura-Martinez, R., Aguirre-Hernandez, R., Santiago-Mejia, J., Gomez, C., & Rodriguez, R. (2014b). Learning Pharmacology in Mexico: A Survey of the Use and Views of Pharmacology Textbooks by Undergraduate Medical Students. *Creative Education*, 05(01), 46–52. <https://doi.org/10.4236/ce.2014.51009>
- Vidláková. (2007). *Odborný článek: Co znamená, když se řekne participace žáků*.
<https://clanky.rvp.cz/clanek/c/Z/1673/co-znamená-kdyz-se-řekne-participace-zaku.html>
- Vlckova, J., Kubiátko, M., & Usak, M. (2016). Czech High School Students' Misconceptions about Basic Genetic Concepts: Preliminary Results. *Journal of Baltic Science Education*, 15(6), 738–745.
- Vojíš, K., & Rusek, M. (2019). Science education textbook research trends: A systematic literature review. *International Journal of Science Education*, 41(11), 1496–1516.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1613584>
- Výzkumný ústav pedagogický v Praze (Ed.). (2005). *Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání: S přílohou upravující vzdělávání žáků s lehkým mentálním postižením*. ŠnVÚP, Výzkumný Ústav Pedagogický v Praze.

- Wang, M.-T., Fredricks, J. A., Ye, F., Hofkens, T. L., & Linn, J. S. (2016). The Math and Science Engagement Scales: Scale development, validation, and psychometric properties. *Learning and Instruction*, 43, 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.01.008>
- Watsjold. (2022). *Much ado about gaming: An educator's guide to serious games and gamification in medical education—PMC*.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9399447/>
- Zande et al. (2010). *Moral reasoning in genetics education: Educational research: Journal of Biological Education: Vol 44, No 1*.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00219266.2009.9656189>
- Zeng. (2019a). *The Influence of Social Ties on Performance in Team-Based Online Games | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8737784>
- Zeng. (2019b). *To learn scientifically, effectively, and enjoyably: A review of educational games*.
<https://doi.org/10.1002/hbe2.188>

9. Přílohy

Příloha č.1: Zpráva pro odborníky

Dobrý den,

jsem studentem magisterského programu: Učitelství biologie. Momentálně pracuji na své diplomové práci a prosím vás o zahrání této hry, moc by mi pomohl váš názor.

Jako zpětnou vazbu pro finální úpravy hry, než půjde na testování do škol, bych vás rád požádal o:

- 1) veškeré připomínky které byste měli k odborné správnosti hry či jiným aspektům
- 2) oznámkování vašeho dojmu z této hry (1 nejlepší – 5 nejhorší) a to v těchto kategoriích:

(nehodící se vymažte)

- odborná správnost 1-2-3-4-5
- odborná přiměřenost (určena pro vyšší gymnázium) 1-2-3-4-5
- srozumitelnost textů 1-2-3-4-5
- přehlednost/ergonomie hry (user experience) 1-2-3-4-5
- celkový dojem 1-2-3-4-5

Mnohorát děkuji s uctivým pozdravem Bc. Jakub Miškovský

Příloha č.2: Znalostní test

Melanin:

- a) podporuje vznik vitamínu A
- b) je schopný opravit mutace DNA
- c) je zodpovědný za změnu pigmentu naší kůže**
- d) k jeho výrobě dochází uvnitř keratinocytu

K transkripci dochází:

- a) V jádře, jelikož DNA (mimo M fázi buněčného cyklu) neopouští jádro.**
- b) Všude v cytoplazmě
- c) Na ribozomech
- d) V Golgiho aparátu

Sluneční záření:

- a) Má pro člověka benefity ve formě podpory tvorby vitamínu D či hormonu „dobré nálady serotoninu“**
- b) Má pro člověka jen škodlivé účinky (např. spálení kůže, které zvyšuje riziko vzniku rakoviny kůže)
- c) Stimuluje vznik mutací RNA
- d) Stimuluje vznik či naopak zánik chromozomů

Proteosyntéza

- a) Probíhá vždy a výhradně v jádře
- b) Začíná transkripcí a končí translací
- c) Protein je po konci translace dále modifikován**
- d) K transkripci dochází v jádře a translaci v Golgiho aparátu

Transkripce

- a) Pro její hladký průběh jsou zcela zásadní enzymy: Transkriptáza, Helikáza a replikáza
- b) Pro její hladký průběh jsou zcela zásadní enzymy: Replikáza, Helikáza, transkripční faktor a ligáza
- c) Prvním enzymem, který je pro tvorbu mRNA potřeba je helikáza
- d) Prvním enzymem, který je pro tvorbu mRNA potřeba je transkripční faktor**

Při transkripci páruje

- a) Adenin s thyminem
- b) Cytosin s thyminem
- c) Adenin s uracilem**
- d) Cytosin s uracilem

V DNA páruje

- a) **Cytosin s guaninem**
- b) Adenin s cytosinem
- c) Adenin s uracilem
- d) Cytosin s thyminem

Mutace DNA

- a) Buňky nejsou schopny tyto změny DNA rozpoznat
- b) Buňky nejsou schopny tyto chyby napravit
- c) Vždy vedou ke vzniku nádoru
- d) **Spouští např. signální kaskádu stimulující tvorbu melaninu**

Přeměna pre-mRNA na mRNA spočívá

- a) Ve vystřížení exonů
- b) **Ve vystřížení intronů**
- c) V dalším přepisu
- d) V přeměně thyminu na uracil

Kodon-antikodon

- a) Antikodony se nachází v sekvenci mRNA
- b) Kodon se nachází tRNA
- c) STOP kodon kóduje aminokyselinu Arginin
- d) **START kodon kóduje aminokyselinu Methionin**

Translace

- a) Startuje vždy kodonem AUA
- b) Probíhá v jádře
- c) **Probíhá na ribozomech**
- d) Předposledním kodonem je STOP-kodon

Příloha č.3: Přehled otázek „Engagement“ dotazníku

Emotional engagement

Během hraní hry jsem se cítil dobře.
Během hry jsem byl frustrovaný
Po celou dobu hry jsem zůstal soustředěný.
Rád jsem si procvičil učivo genetiky.
Měl jsem chuť pochopit všechny úlohy.
Hra byla nudná.
Hru bych si zahrál znovu
Raději bych tuto hru už nehrál.
Myslím, že hra byla přínosná
Hra se mi zdála příliš lehká

Behavioral engagement

Po celou dobu hry jsem zůstal soustředěný.
Na hru jsem se příliš nesoustředil a místo hraní jsem si našel jinou zábavu.
Vše jsem náhodně proklíkal tak, aby hra byla co nejrychleji za mnou.
Čím byla úloha těžší, tím víc jsem se snažil.
Vše, co mi nešlo, jsem náhodně proklíkal.

Cognitive engagement

O dané problematice jsem během hraní příliš nepřemýšlel.
Během hry jsem se snažil porozumět svojí chybě, když se mi něco nepovedlo.
Raději bych si problém nechal vysvětlit, než ho nacházet během hraní této hry.
Těžké úseky jsem přeskakoval a zaměřil se jen na snadné části.
Snažil jsem se propojovat znalosti z minulých hodin se znalostmi potřebnými ve hře.
Během hry jsem vždy věděl co se po mne chce.
Hra byla přehledná
Hra nefungovala správně

Social engagement

Během hry jsem spolupracoval se spolužákem.
Během hry jsem byl rád, že jsem s nikým nemusel spolupracovat.

Příloha č.4: Jednotlivé snímky hry

Proteosyntéza

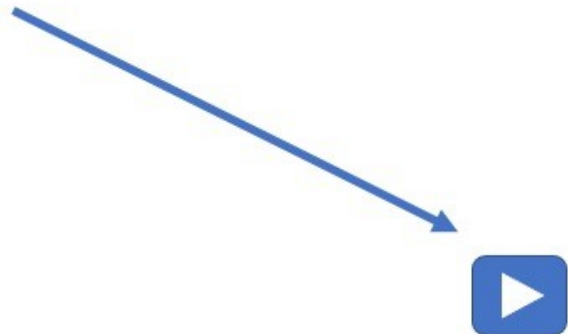
Ahoj jsem doktor Mazanec a budu tě provázet na cestě za pochopením procesu proteosyntézy.

Pojďme na to !

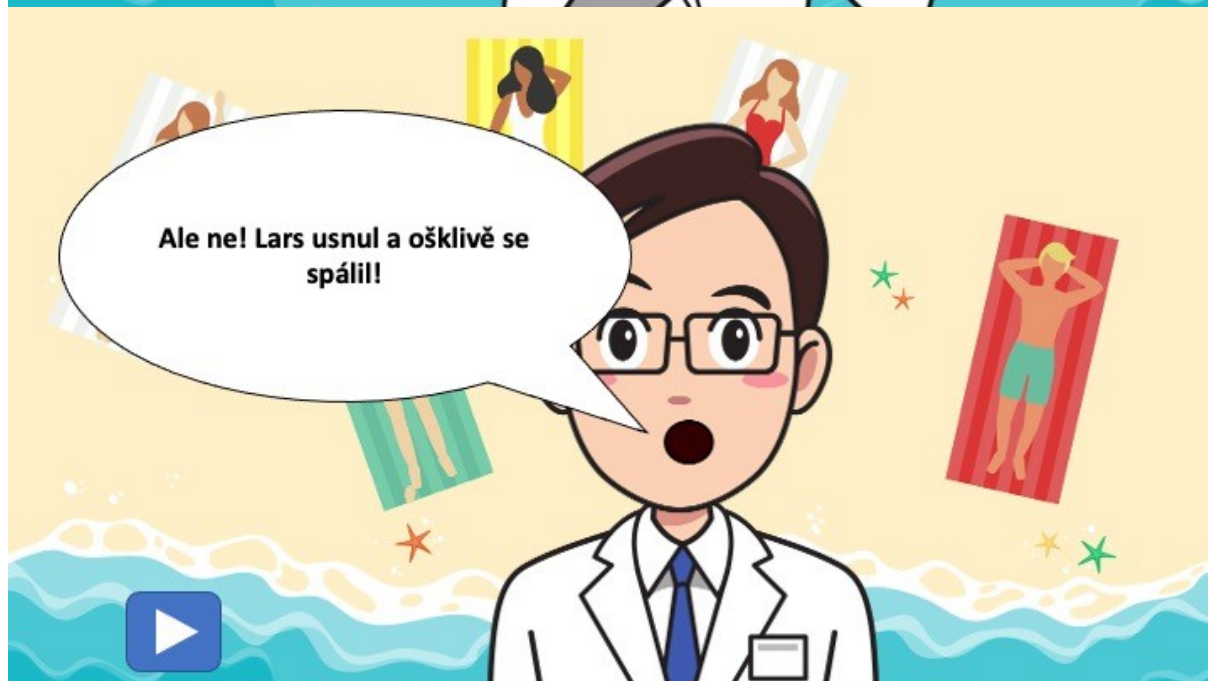


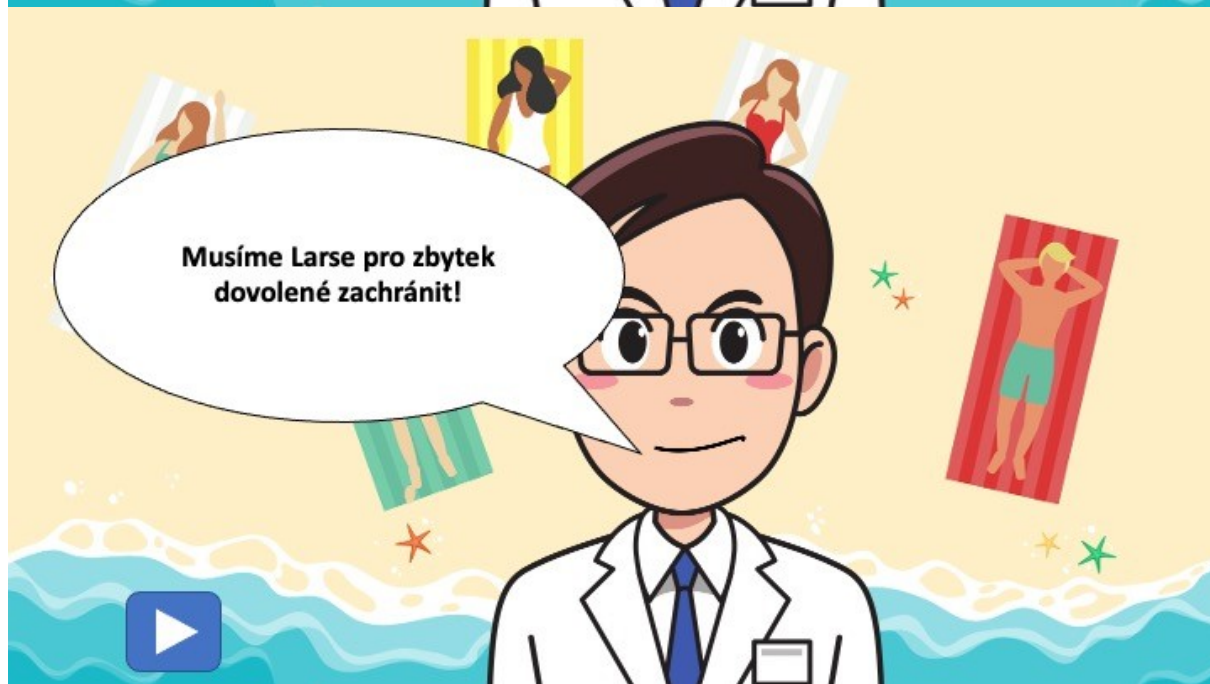
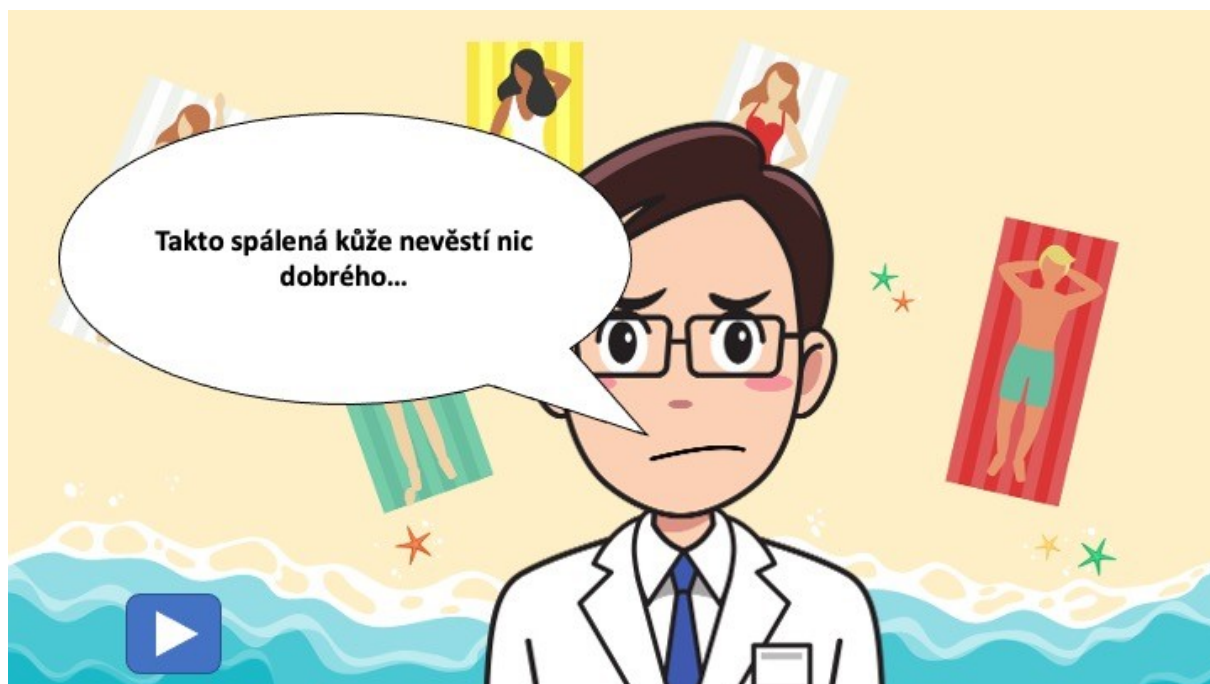
Jak hra funguje?

Pro navigaci během hry prosím používejte výhradně vizuální tlačítka obdobná zde ukázanému. Šipky na klávesnici či jiné funkce MS Powerpoint vám pokazí průběh hry.









Co vlastně Larsovi hrozí?



Sluneční záření má celou řadu benefitů, například podporuje tvorbu vitamínu D, či hormonu dobré nálady serotoninu. Může mít na tělo ale i negativní účinek, a to při nadměrném působení ultrafialové části jeho spektra (UV) na pokožku. Již jedno spálení kůže zvyšuje riziko vzniku nebezpečného melanomu u žen 1,5krát a u mužů 2,8krát! Tři a více spálení pak dokonce u žen 2,3krát a u mužů 7,6krát.



Jak Larsovi pomoci?



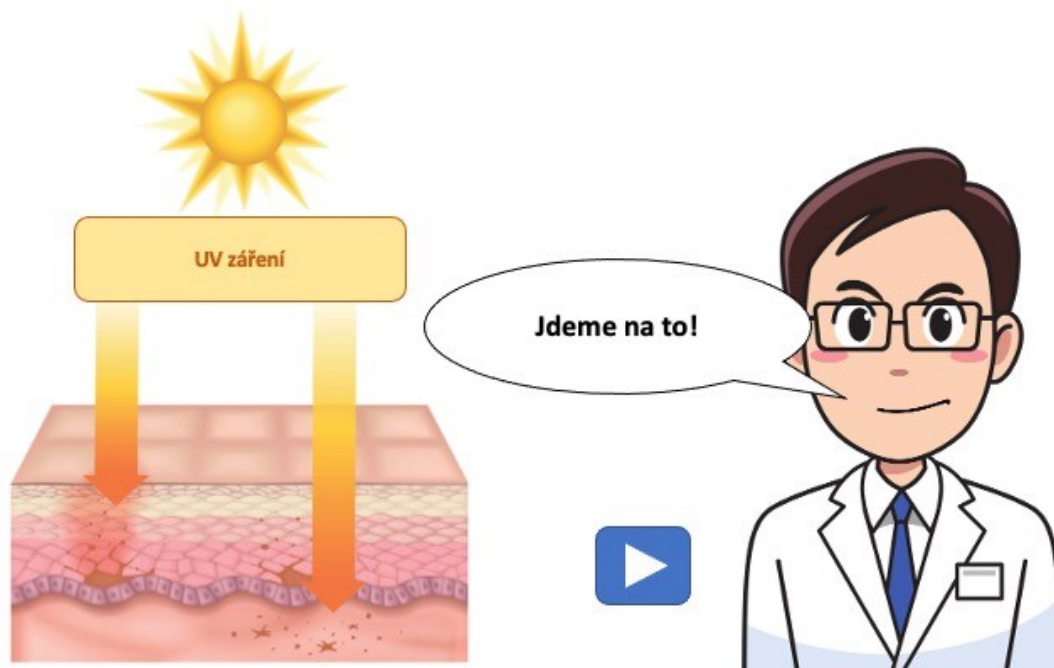
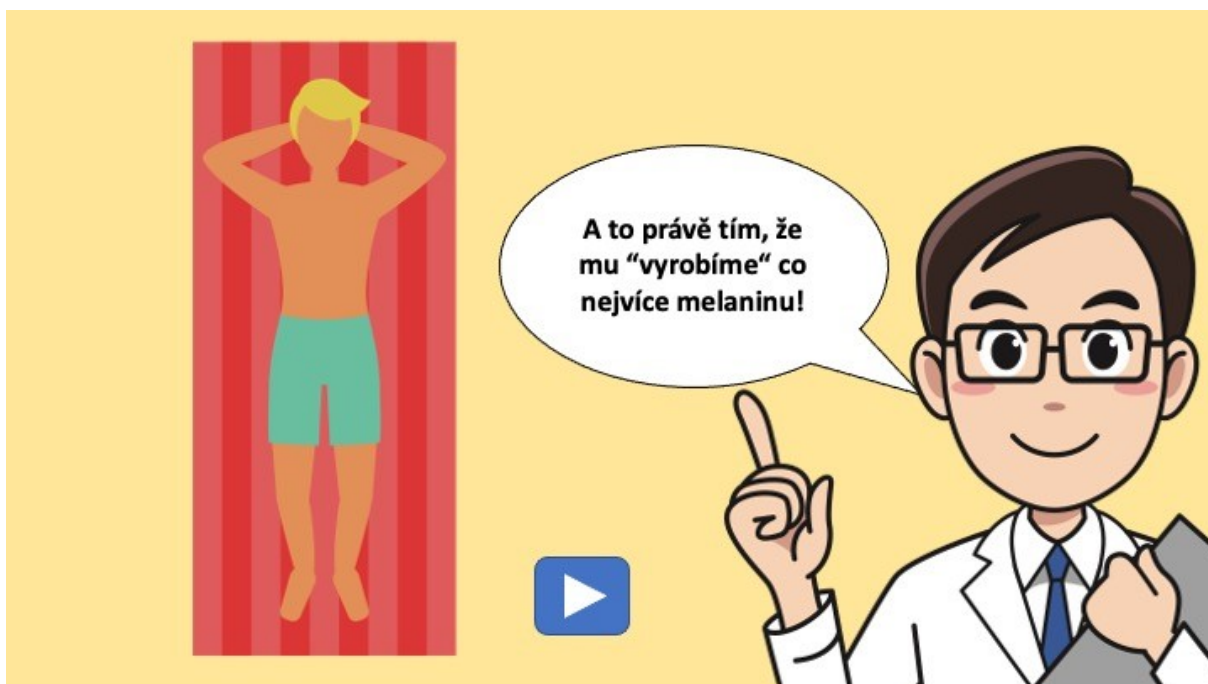
Naše tělo se přirozeně negativním účinkům UV záření brání tím, že začne do povrchových vrstev kůže ukládat protein zvaný melanin. Melanin dokáže určitou část záření vstřebat, a tím chránit DNA v jádře kožních buněk (keratinocytech) před vznikem nebezpečných mutací. Ukládáním melaninu kůže tmavne - opálíme se.





Je opravdu ošklivě
spálený! Aby si užil
alespoň zbytek
dovolené, musí se
trochu opálit...







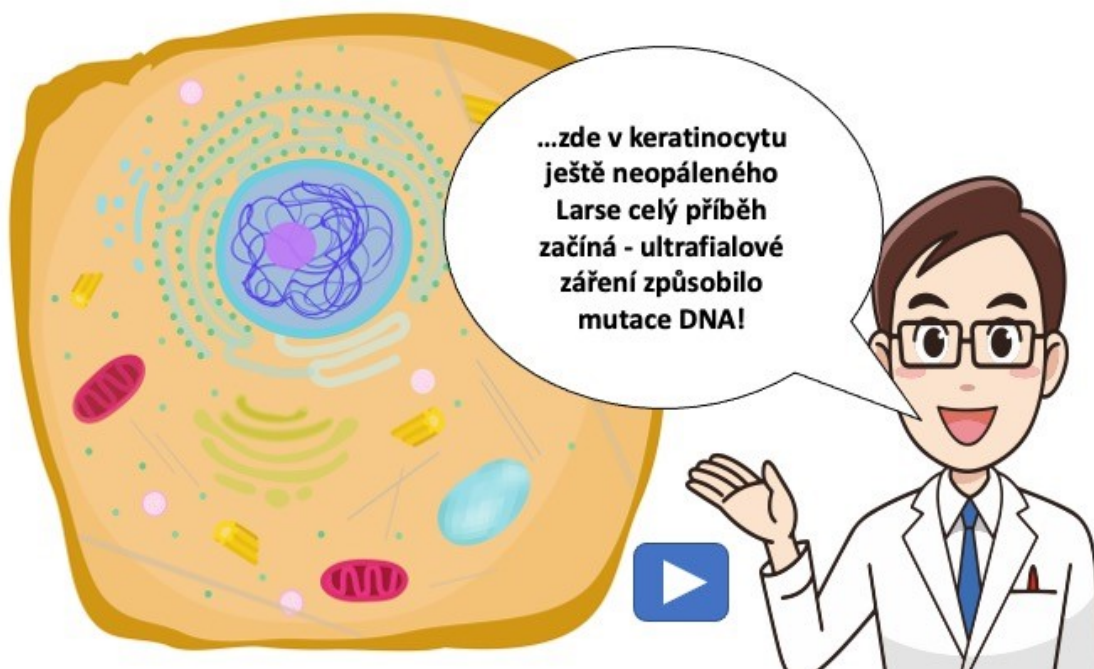
Celý proces začíná v kožních buňkách (keratinocytech)

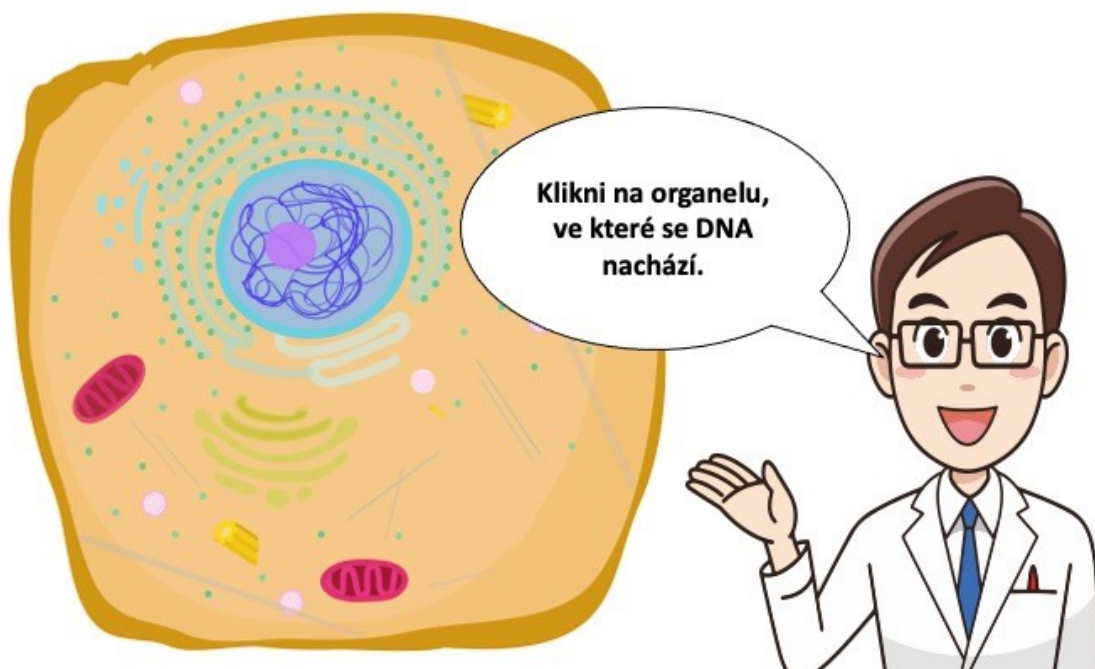


Tipni si, které buňky jsou keratinocyty, a klikni na ně.











**Nene, toto je
endoplasmatické
retikulum...**



**Nene, toto je
mitochondrie...**





**Nene, toto je
golgiho aparát...**

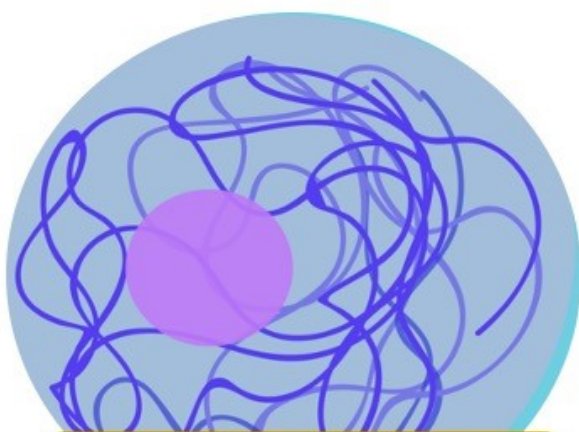


**Nene, toto je
golgiho aparát...**





Nene, toto je centriola...

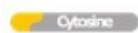





Vzhůru do jádra!

Teď je na tobě
ony mutace v
DNA najít





-  Cytosine
NC1=NC(=O)NC=C1
-  Guanine
NC1=NC2=C(N=CN2)C(=O)N1
-  Adenine
NC1=NC=NC2=C1N=CN2
-  Thymine
CC1=CNC(=O)NC1=O





Ano! Pozměněná báze je nekompatibilní s ostatními. A nedokáže se s nimi vázat. Výsledkem je mezera mezi vlákny DNA.

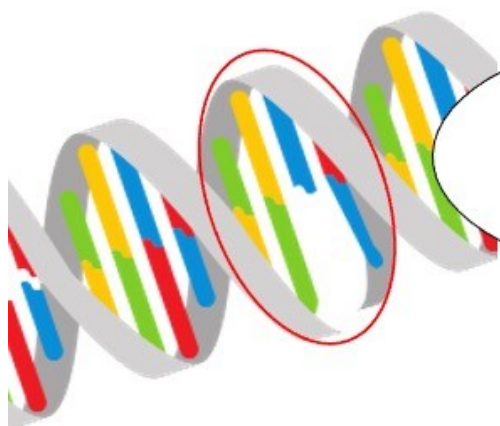
Najít další mutaci



Ano! Zde došlo k tzv. transverzi, což je záměna purinové báze za pyrimidinovou a naopak...

Najít další mutaci

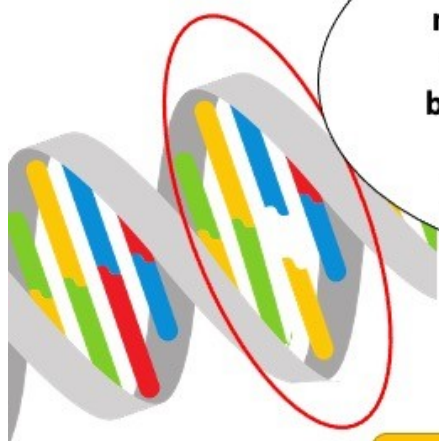




Ano! Vlivem UV záření
může dojít k tzv. *deleci*,
čili úplné ztrátě
nukleotidu.



Najít další mutaci

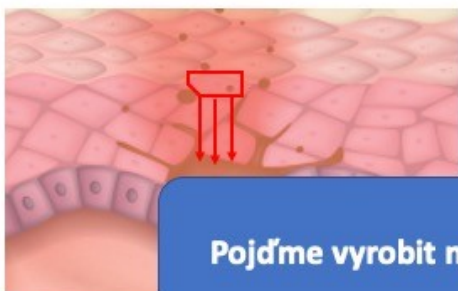


Ano! Vlivem UV záření
může dojít k tzv. *tranzici*,
což je záměna purinové
báze za purinovou ($A \rightarrow G$)
nebo pyrimidinové za
pyrimidinovou ($C \rightarrow T$)...

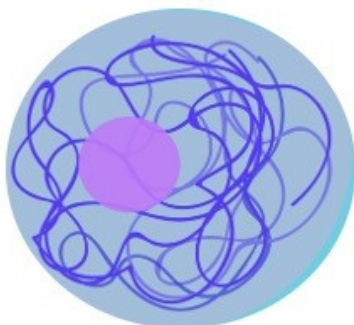


Najít další mutaci

Buňka má naštěstí mechanismy k opravě mutací. Právě tyto opravné mechanismy v keratinocytech spouští signální kaskádu pro tvorbu melaninu v melanocytech.
Pozor - pokud je ovšem poškození DNA moc velké, může se z takto poškozené buňky stát buňka nádorová!

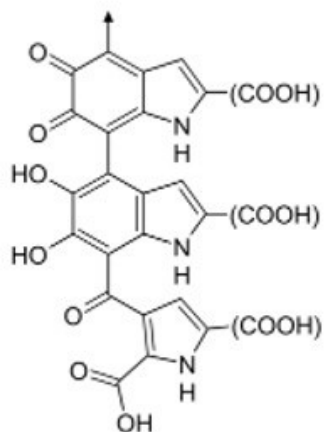


Pojďme vyrobit melanin!

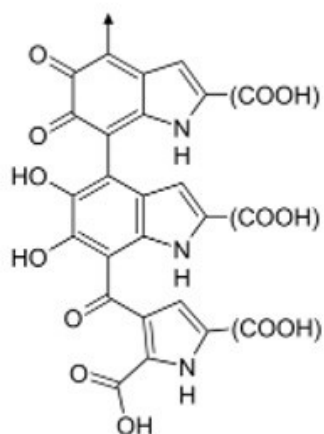


Do jádra melanocyta doputoval signál o mutacích vlivem UV záření a potřebě tvořit melanin...



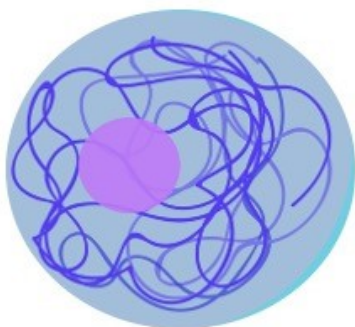


Melanin se vytváří z aminokyseliny tyrozinu, a to zásluhou tyrozinázy, což je enzym stimující tvorbu melaninu...

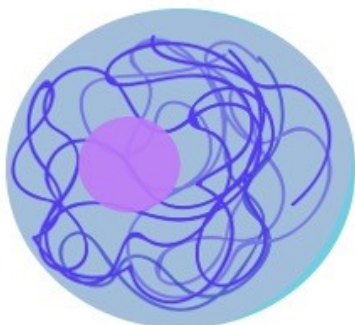


Jakmile bude tento enzym v buňce přítomen ve vyšším množství, bude výroba melaninu stačit i pro bezpečnější opalování na pláži...





Pojďme tedy tento enzym vyrobit!!!



Tato syntéza začíná v jádře a je zajišťována - jak jinak než enzymy.

Napadne tě, které enzymy jsou potřeba pro transkripci DNA?

Transkripční faktor

Transkriptáza

Helikáza

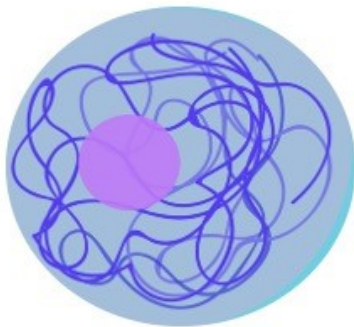
Replikáza

Ligáza

Okazakiho fragmenty



(Pozor, špatná odpověď ti zruší dříve vybrané!)



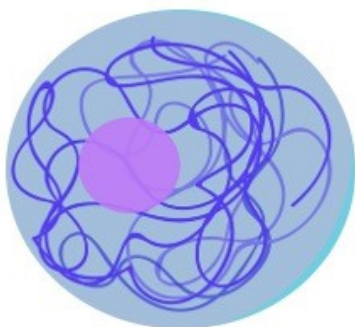
Do jádra nám tedy doputoval signál pro výrobu enzymu který tvoří melanin, samotná syntéza začíná v jádře ale něco ji musí za spustit.

Napadne tě, co vše (krom DNA) je potřeba pro začátek transkripce?

- Transkriptáza
- Helikáza
- Replikáza
- Ligáza
- Okazakiho fragmenty

(Pozor, špatná odpověď ti zruší dříve vybrané!)





Do jádra nám tedy doputoval signál pro výrobu enzymu který tvoří melanin, samotná syntéza začíná v jádře ale něco ji musí za spustit.

Napadne tě, co vše (krom DNA) je potřeba pro začátek transkripce?

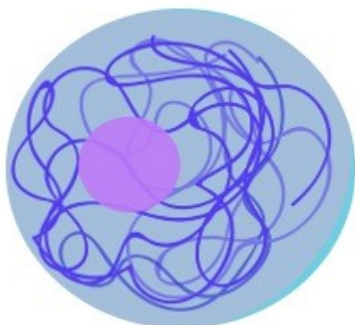
Helikáza

Replikáza

Ligáza

Okazakiho fragmenty

(Pozor, špatná odpověď ti zruší dříve vybrané!)



Do jádra nám tedy doputoval signál pro výrobu enzymu který tvoří melanin, samotná syntéza začíná v jádře ale něco ji musí za spustit.

Napadne tě, co vše (krom DNA) je potřeba pro začátek transkripce?

Transkriptáza

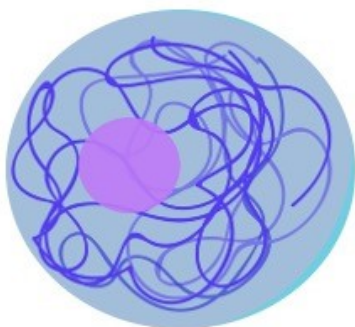
Replikáza

Ligáza

Okazakiho fragmenty

(Pozor, špatná odpověď ti zruší dříve vybrané!)





Transkripční faktor

Replikáza

Ligáza

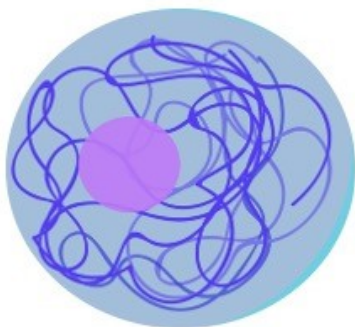
Helikáza

Okazakiho fragmenty

(Pozor, špatná odpověď ti zruší dříve vybrané!)

Do jádra nám tedy doputoval signál pro výrobu enzymu který tvoří melanin, samotná syntéza začíná v jádře ale něco ji musí za spustit.

Napadne tě, co vše (krom DNA) je potřeba pro začátek transkripce?



Replikáza

Ligáza

Helikáza

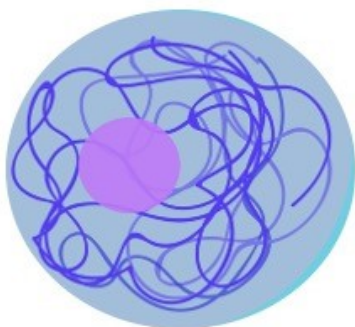
Okazakiho fragmenty

(Pozor, špatná odpověď ti zruší dříve vybrané!)

Do jádra nám tedy doputoval signál pro výrobu enzymu který tvoří melanin, samotná syntéza začíná v jádře ale něco ji musí za spustit.

Napadne tě, co vše (krom DNA) je potřeba pro začátek transkripce?





Transkripční faktor

Replikáza

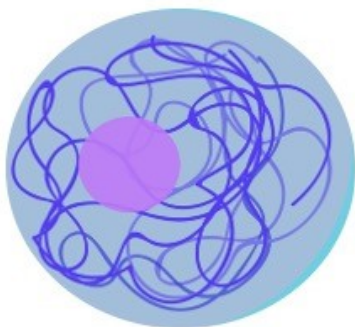
Ligáza

Okazakiho fragmenty

(Pozor, špatná odpověď ti zruší dříve vybrané!)

Do jádra nám tedy doputoval signál pro výrobu enzymu který tvoří melanin, samotná syntéza začíná v jádře ale něco ji musí za spustit.

Napadne tě, co vše (krom DNA) je potřeba pro začátek transkripce?



Transkripční faktor

Transkriptáza

Replikáza

Ligáza

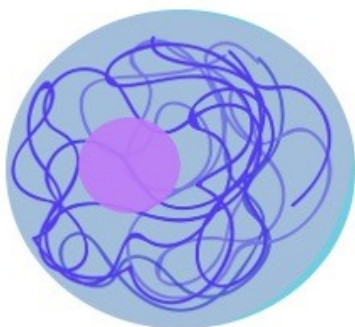
Okazakiho fragmenty

(Pozor, špatná odpověď ti zruší dříve vybrané!)

Do jádra nám tedy doputoval signál pro výrobu enzymu který tvoří melanin, samotná syntéza začíná v jádře ale něco ji musí za spustit.

Napadne tě, co vše (krom DNA) je potřeba pro začátek transkripce?





Transkripční faktor

Transkriptáza

Replikáza

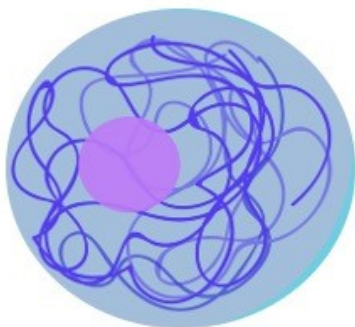
Ligáza

Okazakiho fragmenty

(Pozor, špatná odpověď ti zruší dříve vybrané!)

Do jádra nám tedy doputoval signál pro výrobu enzymu který tvoří melanin, samotná syntéza začíná v jádře ale něco ji musí za spustit.

Napadne tě, co vše (krom DNA) je potřeba pro začátek transkripce?



Transkripční faktor

Replikáza

Ligáza

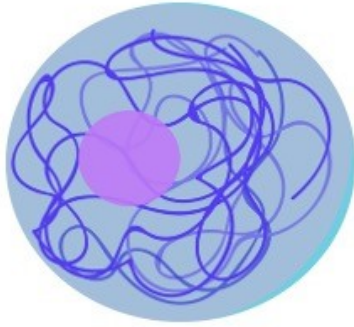
Okazakiho fragmenty

(Pozor, špatná odpověď ti zruší dříve vybrané!)

Do jádra nám tedy doputoval signál pro výrobu enzymu který tvoří melanin, samotná syntéza začíná v jádře ale něco ji musí za spustit.

Napadne tě, co vše (krom DNA) je potřeba pro začátek transkripce?





Do jádra nám tedy doputoval signál pro výrobu enzymu který tvoří melanin, samotná syntéza začíná v jádře ale něco ji musí za spustit.

Napadne tě, co vše (krom DNA) je potřeba pro začátek transkripce?

Transkriptáza

Replikáza

Ligáza

Okazakiho fragmenty

(Pozor, špatná odpověď ti zruší dříve vybrané!)



Výborně!



Prima, hlavní enzymy které zajišťují transkripci DNA (tedy překlad do RNA která může vycestovat z jádra ven) máme, ale který z nich je potřeba jako první?

Transkripční faktor

Transkriptáza

Helikáza



Nene, to až pak...

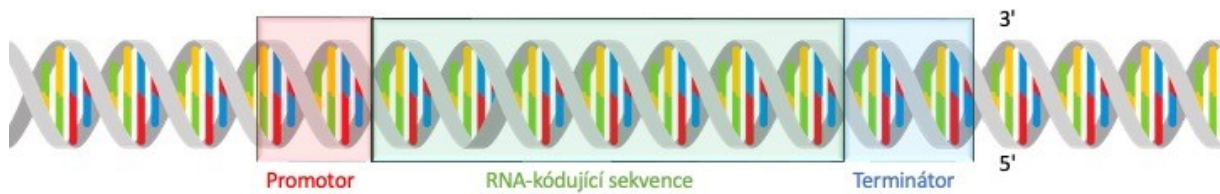
Zpět

Přesně tak!

Transkripční faktor dokáže nejen zpřístupnit přesně daný gen (tedy tu část DNA která kóduje protein, který je právě potřeba vyrobit), ale také může tvořit *pre-iniciační komplex*, na který nasedá RNA polymeráza (enzym který už vytváří vlákno RNA).

Ve kterém místě na DNA se *pre-iniciační komplex* napojí?

(Vyber a klikni na obrázku)



Nene, tady transkripce končí...

Zpět

Nene, tato oblast DNA je přepisována do RNA...

Zpět

Dobrá práce!

Všechny důležité enzymy jsou správně navázány na DNA a můžeme spustit samotnou transkripci.

Pomůžeš RNA polymeráze přiřadit správné nukleotidy do nově vznikající RNA?

Super, pojďme na to!

Počkat!

Na něco jsme zapomněli...

DNA je dvoušroubovice a tu je potřeba před přepisem do RNA částečně rozplést. Který enzym má toto na práci?

Replikáza

Transkriptáza

Helikáza

Špatně

Zpět

Uf, zachránil jsi transkripci!

Helikáza rozpletla dvě vlákna DNA od sebe a RNA polymeráza může začít pracovat!

Která bude první báze nově vznikajícího vlákna RNA?

(Začni na dolním vlákně vlevo)



Nene, tahle báze se s *thyminem* při transkripci nepáruje...

Zpět

Brr, tahle báze ani neexistuje...

Zpět

Výborně jen tak dál!



Nene, tahle báze se s *adeninem* při transkripci nepáruje...

Zpět

Thymin přeci v RNA vůbec není...

Zpět

Výborně jen tak dál!



Nene, tahle báze se s *cytosinem* při transkripci nepáruje



Výborně jen tak dál!



Nene, tahle báze se s *guaninem* při transkripci nepáruje...



Výborně jen tak dál!



Nene, tahle báze se s *thyminem* při transkripci nepáruje...



Výborně jen tak dál!



Nene tahle báze se s *adeninem* při transkripci nepáruje...



Výborně jen tak dál!



Nene, tahle báze se s *cytosinem* při transkripci nepáruje...



Výborně jen tak dál!



A

U

C

G

Nene, to není správná volba!

Zpět

Výborně jen tak dál!



Nene, to není správná volba!



Výborně jen tak dál!



Nene, to není správná volba!



Výborně jen tak dál!



A

U

C

G

Nene, to není správná volba!

Zpět

Výborně jen tak dál!



A

U

C

G

Nene, to není správná volba!

Zpět

Výborně jen tak dál!



A

U

C

G

Nene, to není správná volba!

Zpět

Výborně jen tak dál!



Nene, to není správná volba!



Výborně jen tak dál!



Nene, to není správná volba!



Výborně jen tak dál!



Nene, to není správná volba!



Výborně jen tak dál!



A

U

C

G

Nene, to není správná volba!

Zpět

Výborně jen tak dál!



A

U

C

G

Nene, to není správná volba!

Zpět

Výborně jen tak dál!



A

U

C

G

Nene, to není správná volba!

Zpět

Výborně jen tak dál!



A

U

C

G

Nene, to není správná volba!

Zpět

Výborně jen tak dál!



A

U

C

G

Nene, to není správná volba!

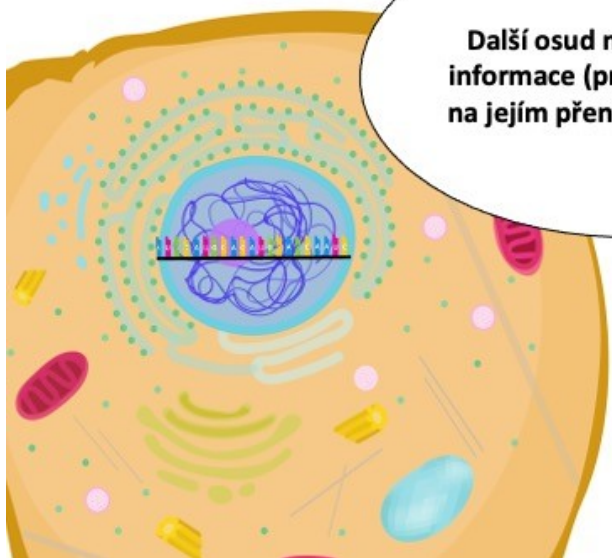
Zpět

Skvělá práce!
Máme přepsáno vše co potřebujeme.



Výborně! Přepsali jsme
informaci o struktuře
enzymu pro výrobu
melaninu z DNA do
pre-mRNA...





Další osud námi přepsané informace (pre-mRNA) závisí na jejím přenosu z jádra ven.



Nojo! To bychom měli, ale ještě je nutné udělat jeden krok...
(Aby se nám z pre-mRNA stala mRNA)

Vystřihnout *introny*

Vystřihnout *exony*

Musí následovat další přepis

Nic



Nene, to není správná odpověď...

Zpět

Výborně!! Získali jsme hotovou mRNA.
Kam tato molekula pokračuje dál?

Golgiho aparát

Hladké endoplasmatické
retikulum

Ribozom

Zpět do jádra



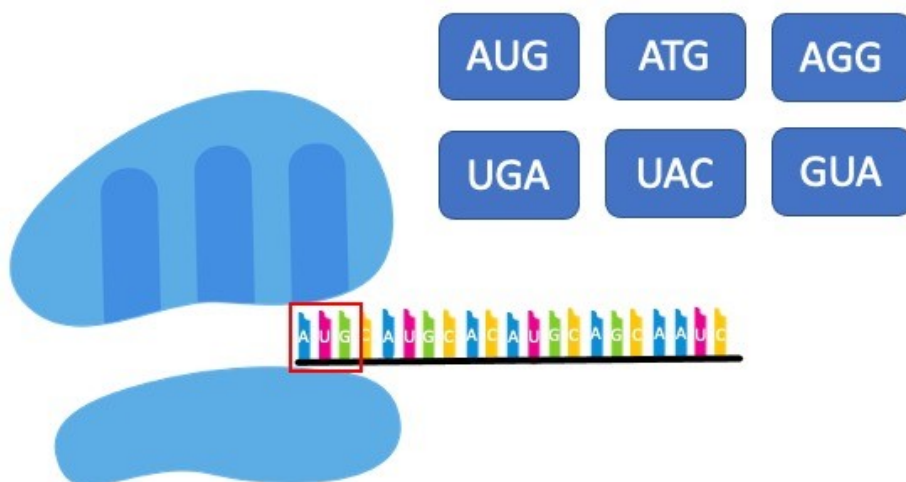
Nene, to není správná odpověď...

Zpět

Výborně !! Dokážeš za pomoci mRNA, tRNA, aminokyselin a ribozomu vyrobit tyrozinázu? (enzym potřebný na výrobu melaninu)



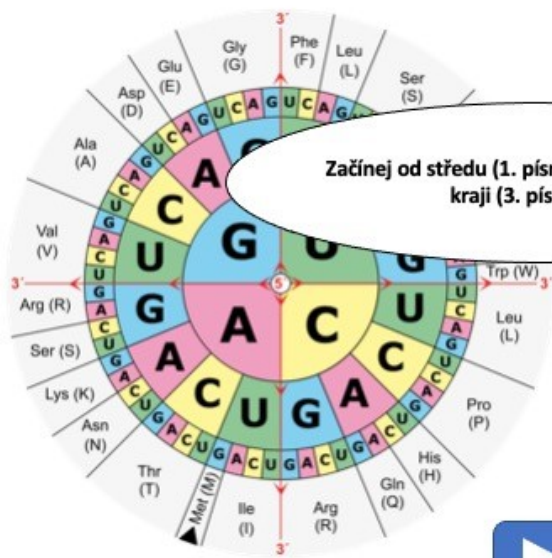




Nene to není správná odpověď

Zpět

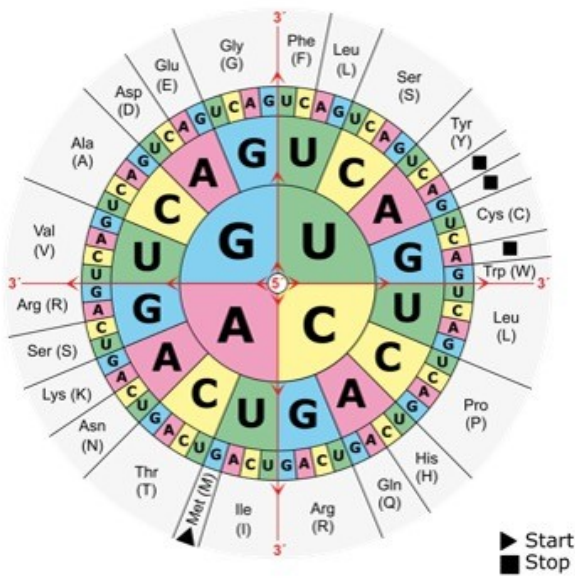




Začnej od středu (1. písmenko kodónu) až ke kraji (3. písmenko)



Kodónu AUG odpovídá tRNA nesoucí aminokyselinu...



Methionin

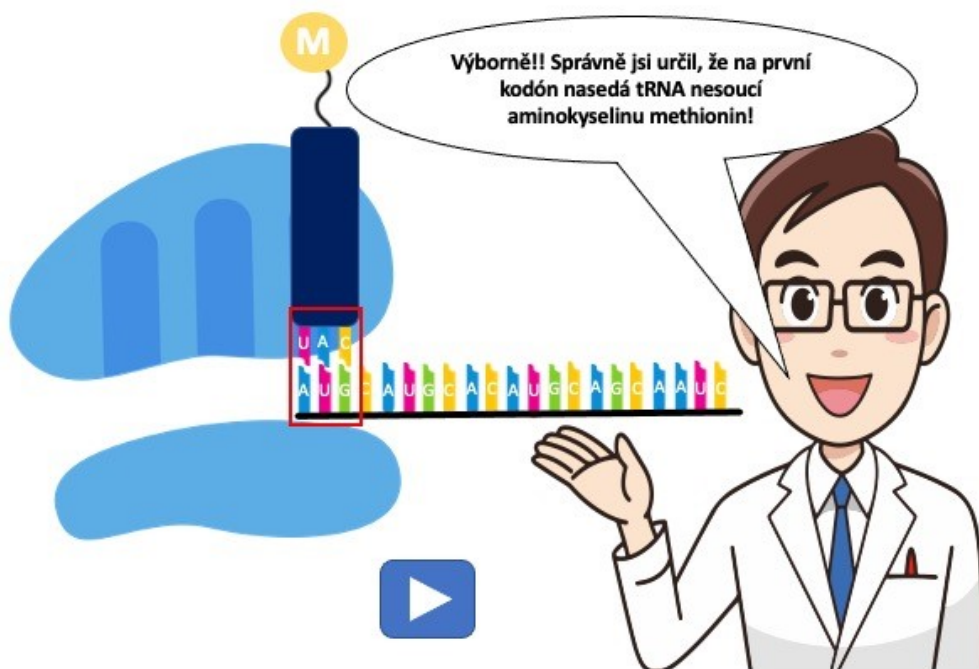
Isoleucin

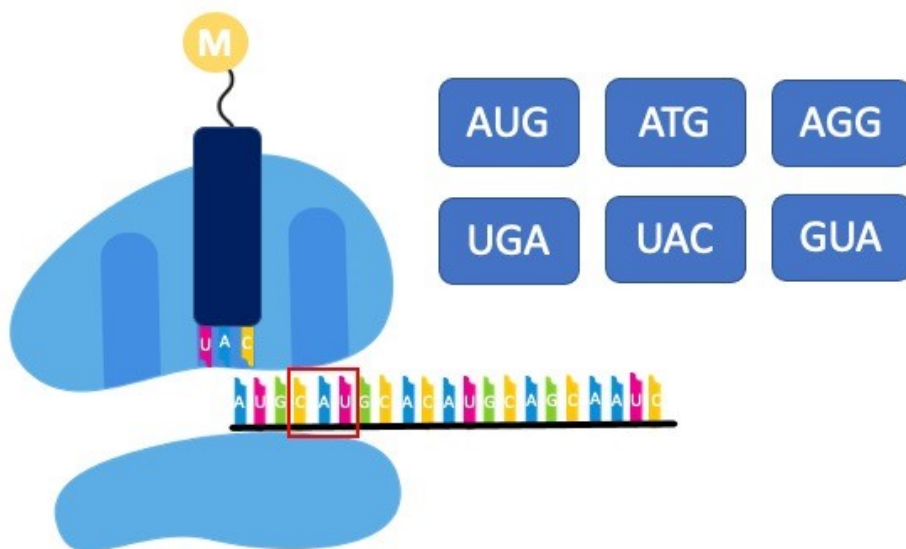
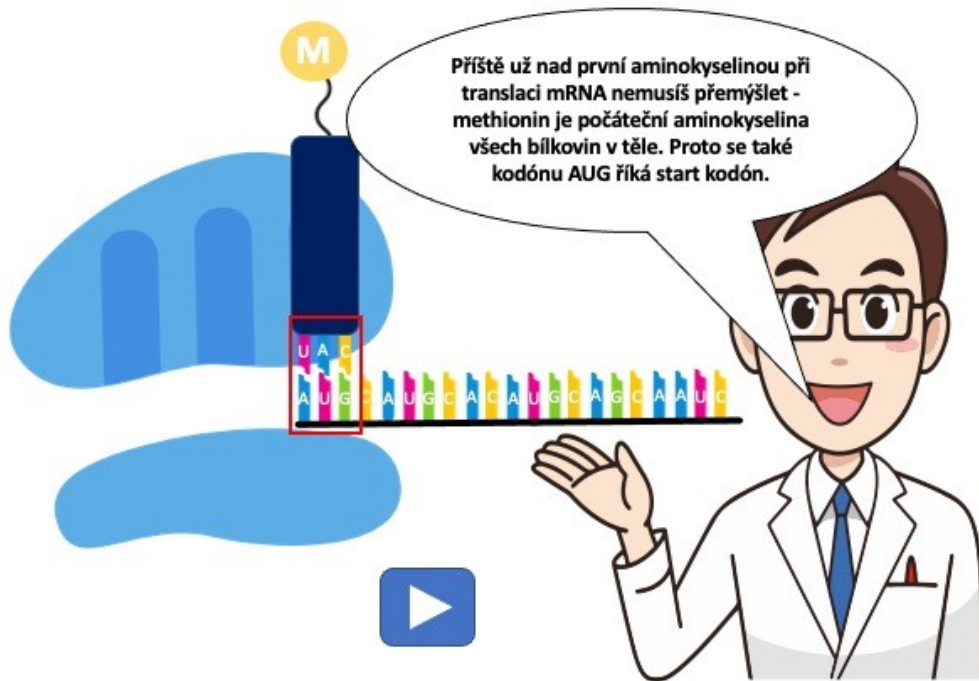
Leucin

Glycin

Nene, to není správná odpověď

Zpět

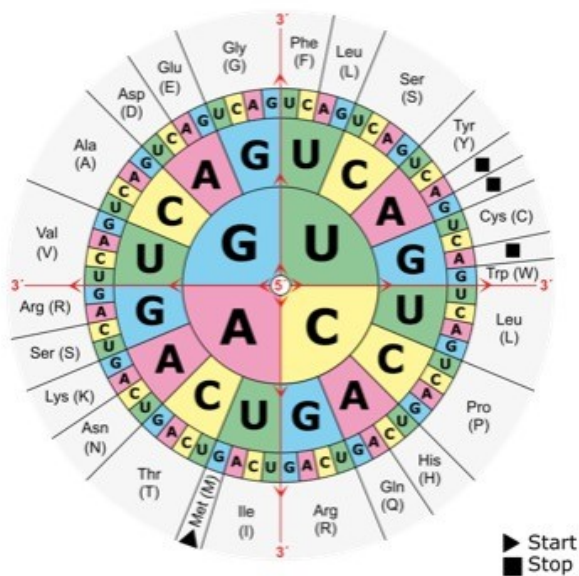




Nene, to není správná odpověď

Zpět

Kodónu CAU odpovídá tRNA nesoucí aminokyselinu...



Histidin

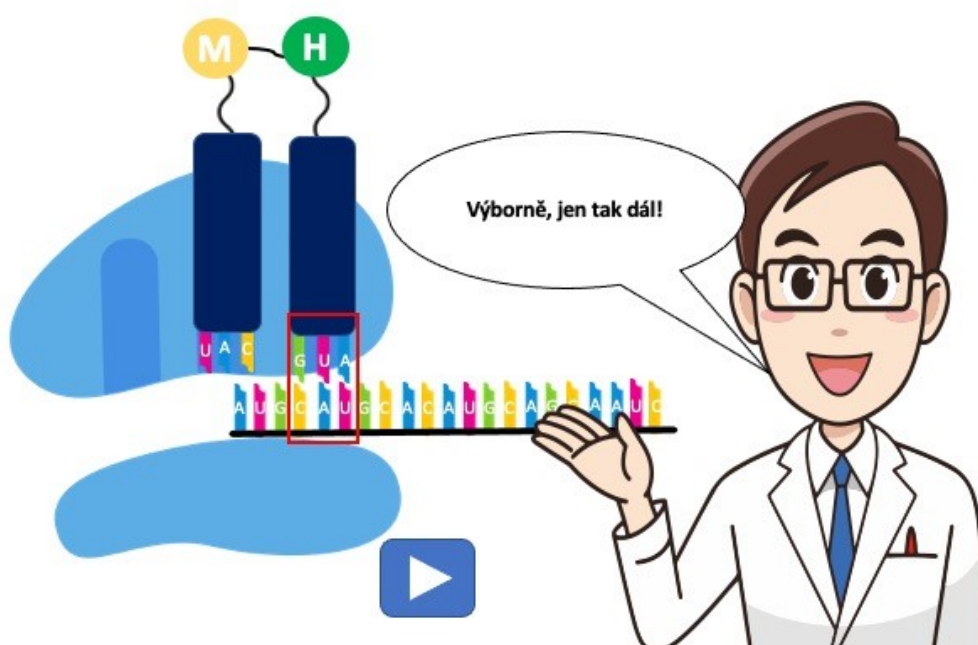
Leucin

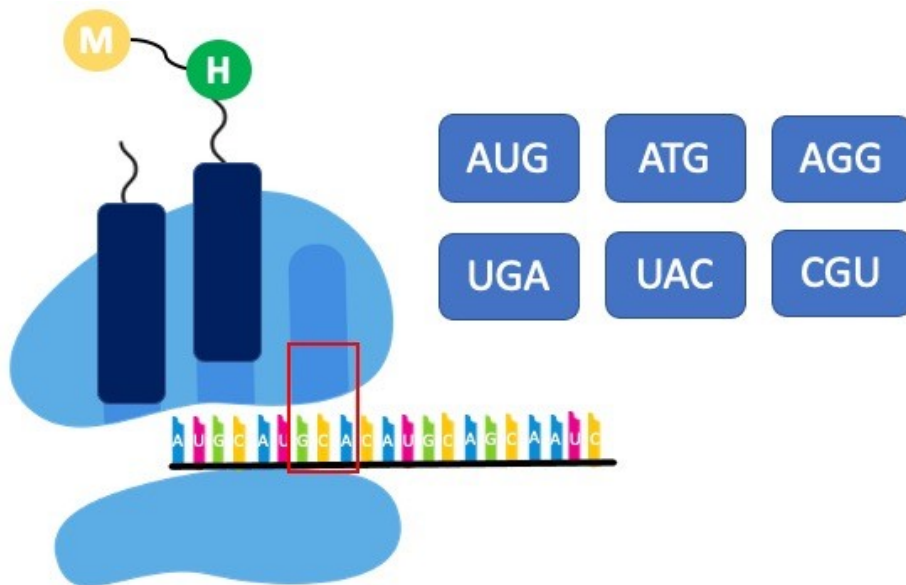
Arginin

Glycin

Nene, to není správná odpověď

Zpět

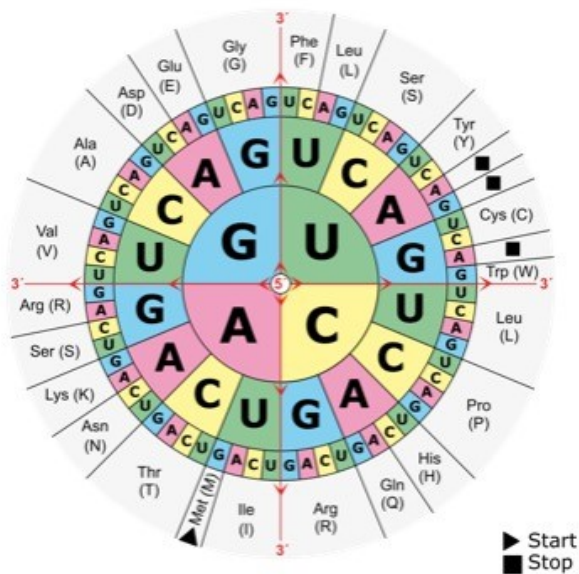




Nene, to není správná odpověď

Zpět

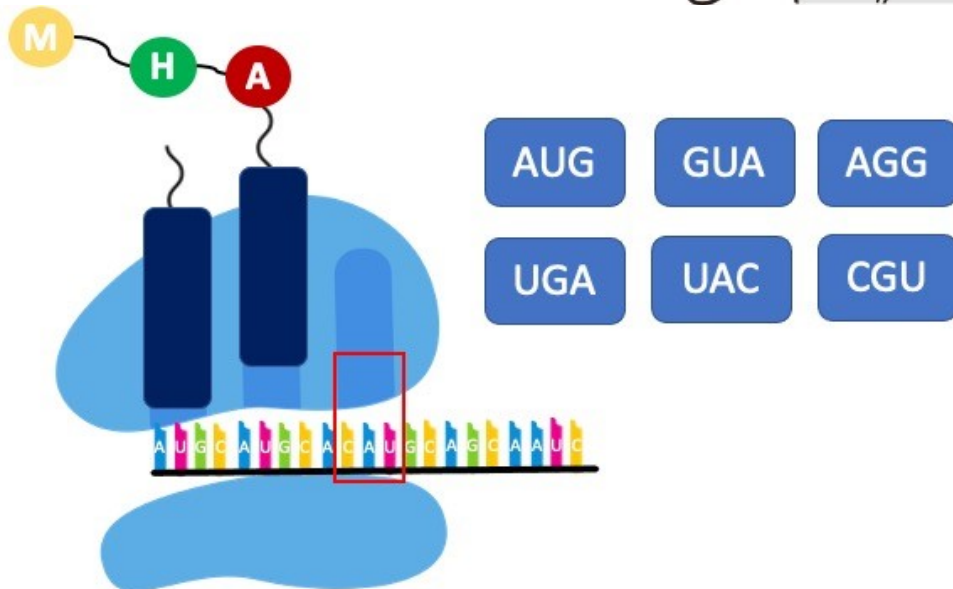
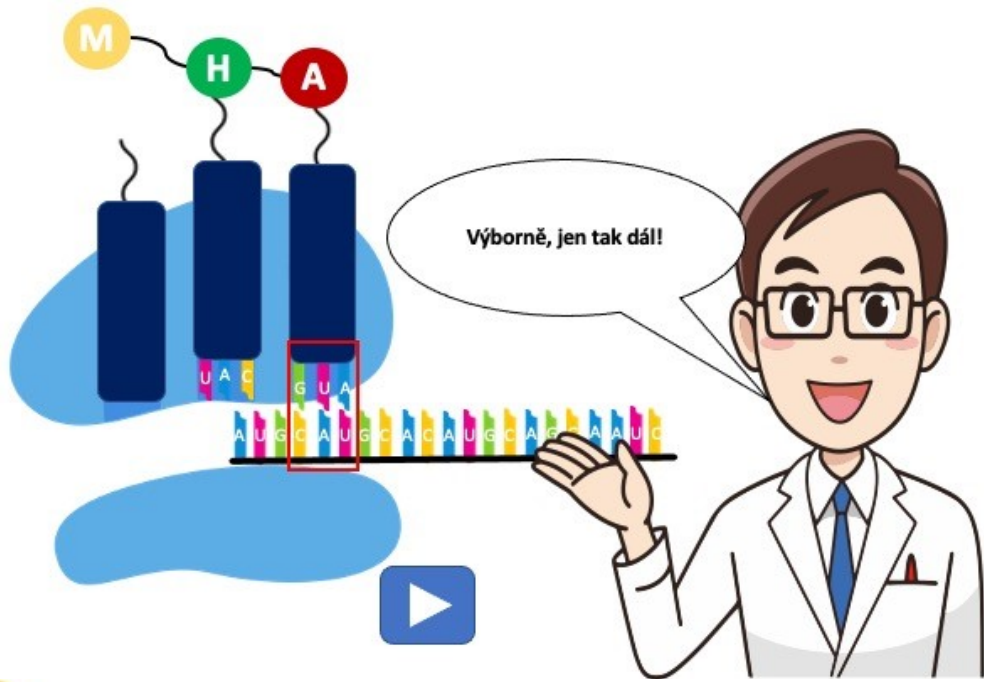
Kodónu GCA odpovídá tRNA nesoucí aminokyselinu...



- Histidin
- Leucin
- Alanin
- Glycin

Nene, to není správná odpověď

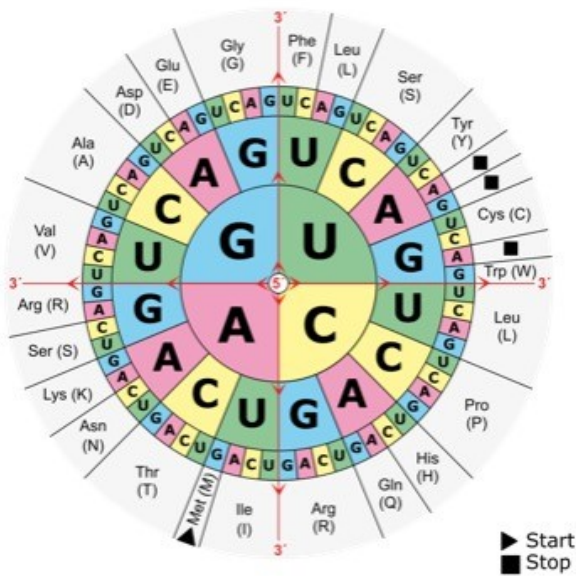
Zpět



Nene, to není správná odpověď

Zpět

Kodónu CAU odpovídá tRNA nesoucí aminokyselinu...



Valin

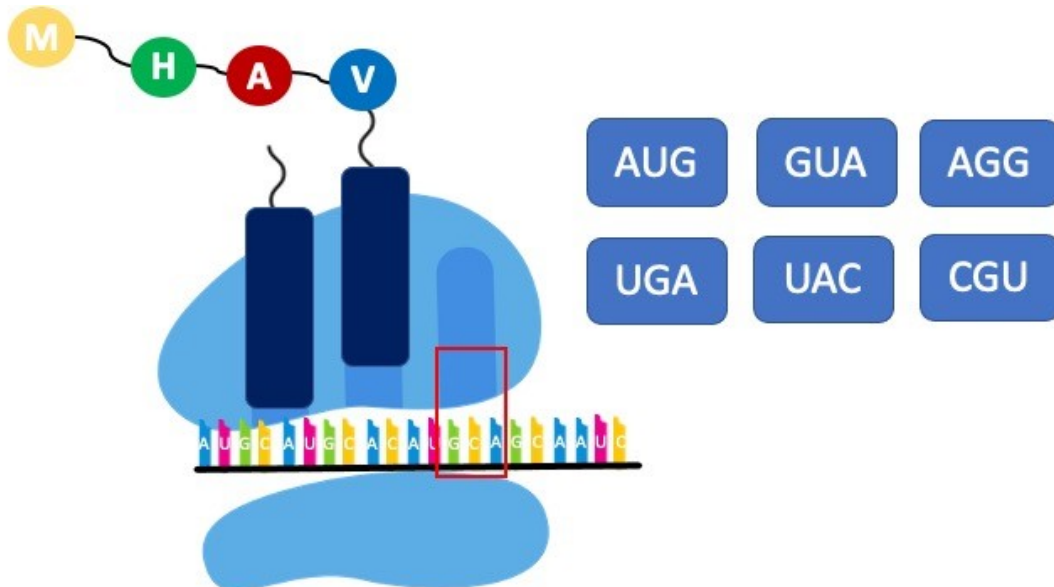
Leucin

Histidin

Glycin

Nene, to není správná odpověď

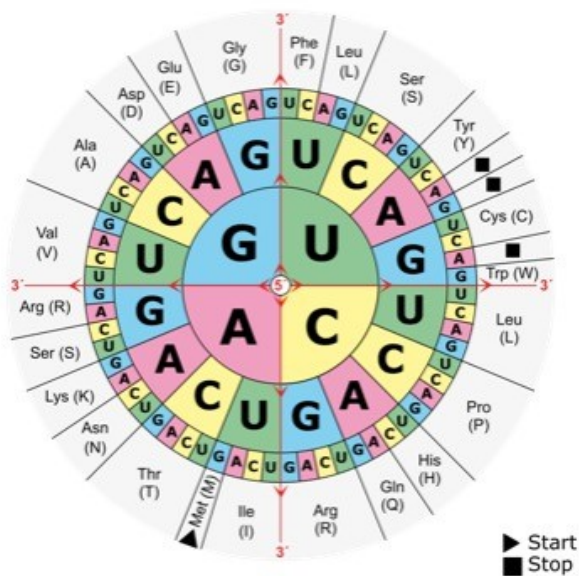
Zpět



Nene, to není správná odpověď

Zpět

Kodónu GCA odpovídá tRNA nesoucí aminokyselinu...



Histidin

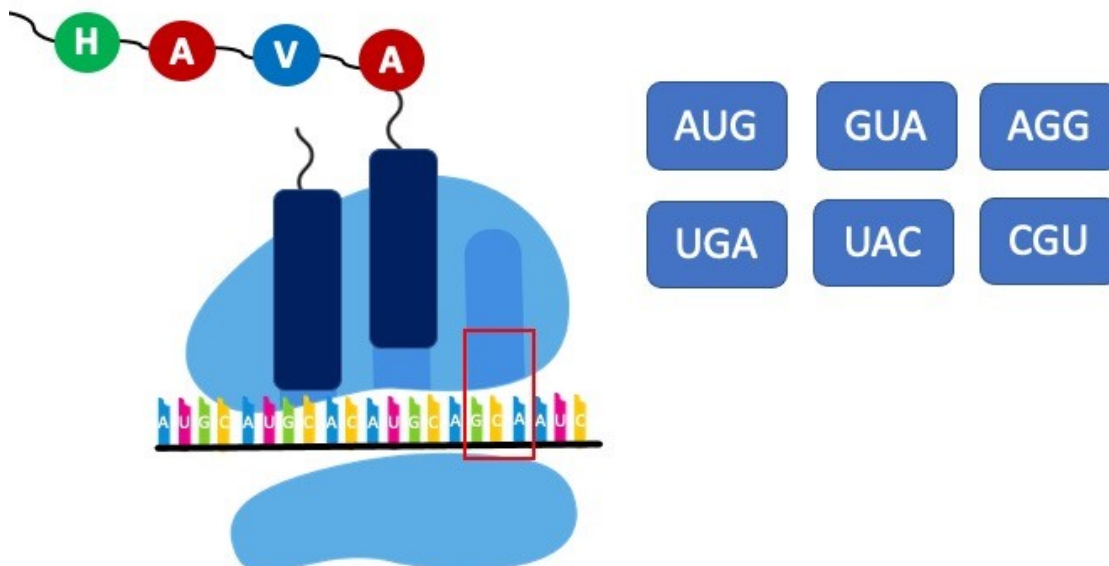
Leucin

Alanin

Glycin

Nene, to není správná odpověď

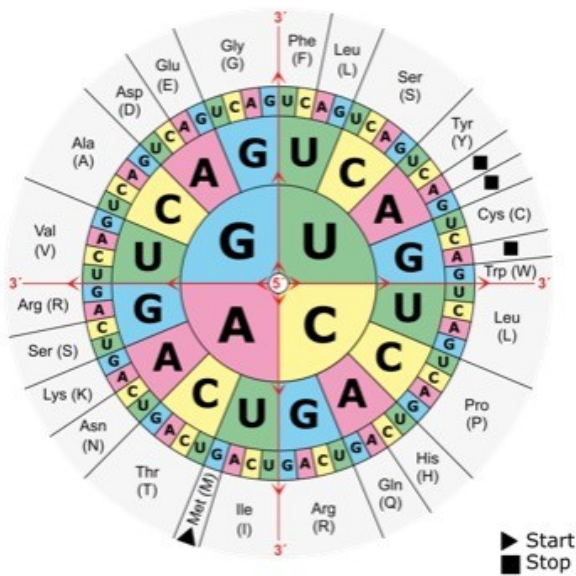
Zpět



Nene, to není správná odpověď

Zpět

Kodónu GCA odpovídá tRNA nesoucí aminokyselinu...



Histidin

Leucin

Alanin

Glycin

Nene, to není správná odpověď

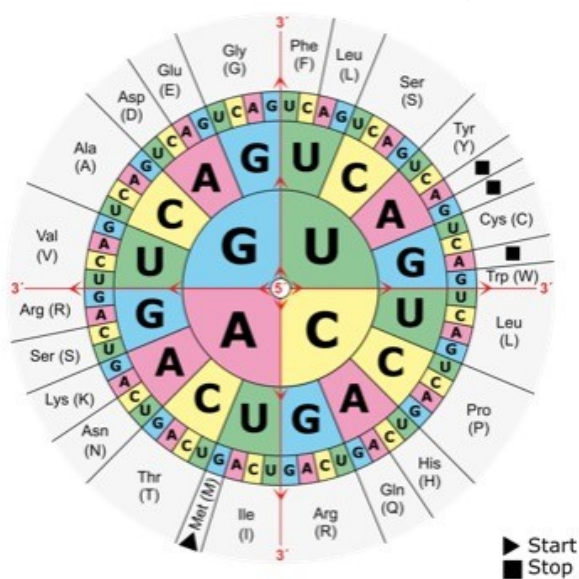
Zpět

The diagram illustrates the process of translation. A ribosome is shown with a tRNA carrying a growing polypeptide chain consisting of the amino acids Alanine (A), Valine (V), Alanine (A), and Alanine (A). The mRNA sequence is AUGCAUGCAUCAUGCAUGCAUAG. A red box highlights the start codon AUG. To the right of the ribosome are six buttons representing different codons: AUC, GUA, AGG, UGA, UAC, and CGU.

Nene, to není správná odpověď

Zpět

Kodónu **UAG** odpovídá tRNA nesoucí aminokyselinu...



Histidin

Leucin

Arginin

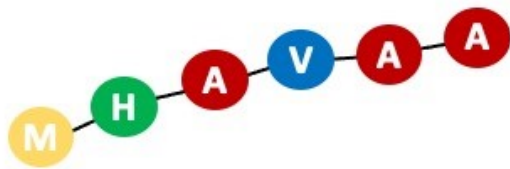
Žádná, je to stop kodón

Nene, to není správná odpověď

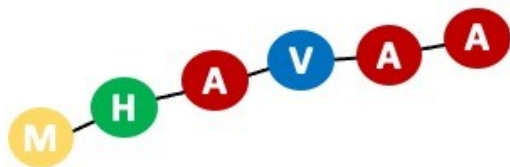
Zpět



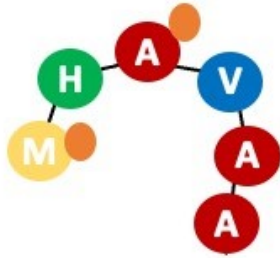
Takto přepsaný protein
ještě projde mnoha
úpravami.



Jako je složení řetězce
aminokyselin do 3D struktur,
či připojení dalších sloučenin
či prvků.



**Teprve takto upravený
protein resp. enzym dokáže
plnit svou funkci**



**Honem! Pojďme se podívat, zda syntéza
tyrozinázy v melanocytech pomohla Larsemu
zvýšit hladinu melaninu v keratinocytech!**



