

SAMOTNÝ SIMULÁTOR NESTAČÍ

Zuzana Dukátová, Jiří Kofránek

Abstrakt

Webový atlas fyziologie a patofyziologie obsahuje několik výukových modelů. Pedagogická praxe však ukázala, že bez jasného scénáře simulační hry je pracně vyvinutý výukový simulátor hůře využitelný. Proto jsme k některým dříve vyvinutým simulátorům vytvořili pomocí nástroje Adobe Captivate webové dostupné učební texty, využívající simulátor v simulační hře.

Klíčová slova

E-learning, Internet, Simulátory, Výuka

Úvod

Lékařské тренаžéry umožňují, obdobně jako letecké тренаžéry zcela nový způsob výuky, kdy si student, bez nebezpečí pro pacienta může ve virtuální realitě procvičovat diagnostické a terapeutické úkony. A na rozdíl od reálného světa, ve virtuální realitě jsou chyby vratné. Ale nejenom to, student může podrobně sledovat průběhy hodnot nejrůznějších veličin, které u reálného pacienta nejsou běžně dostupné klinickému vyšetřování.

Simulátory také mohou sloužit jako interaktivní výuková pomůcka k vysvětlení fyziologických mechanismů fungování lidského organismu. Student také může opakovaně rozpojovat i zapojovat jednotlivé regulační smyčky, sledovat odezvy jednotlivých fyziologických subsystémů na nejrůznější vstupy odděleně od jejich okolí (což v reálném světě často není možné ani v těch nesložitějších experimentech).

Komplexní simulátory fyziologických funkcí

Pro výuku patofyziologie a studium patogenezy nejrůznějších patologických stavů i jako podklad pro klinické тренаžéry využívající robotizovanou figurínu pacienta mají velký význam komplexní simulátory, zahrnující **modely nejen jednotlivých fyziologických subsystémů, ale i jejich propojení do komplexnějšího celku.**

Počátek historie složitých výukových biomedicínských simulátorů sahá do začátku osmdesátých let, kdy Thomas Coleman a Randal vytvořili model „Human“ určený především k výukovým účelům [4]. Model umožnil simulovat řadu patologických stavů (kardiální a renální selhání, hemorhagický šok aj.) i vliv některých terapeutických zásahů (infúzní terapie, vliv některých léků, transfúzi krve, umělou plicní ventilaci, dialýzu atd.). Autoři za mírný poplatek na požádání rozesílali zdrojový text programu v jazyce Fortran. Model byl v osmdesátých letech jedním z nejrozsáhlejších simulačních výukových biomedicínských programů.

V poslední době Meyers a Doherty implementaci v Javě původní Colemanův model zpřístupnili na webu [14]. Model je na webu (<http://placid.skidmore.edu/>

[human/index.php](#)) snadno ovladatelný, nicméně z původní implementace ve Fortranu si odnáší názvy proměnných (omezených na šest alfanumerických znaků), jejichž význam musí uživatel nejprve rozklíčovat.

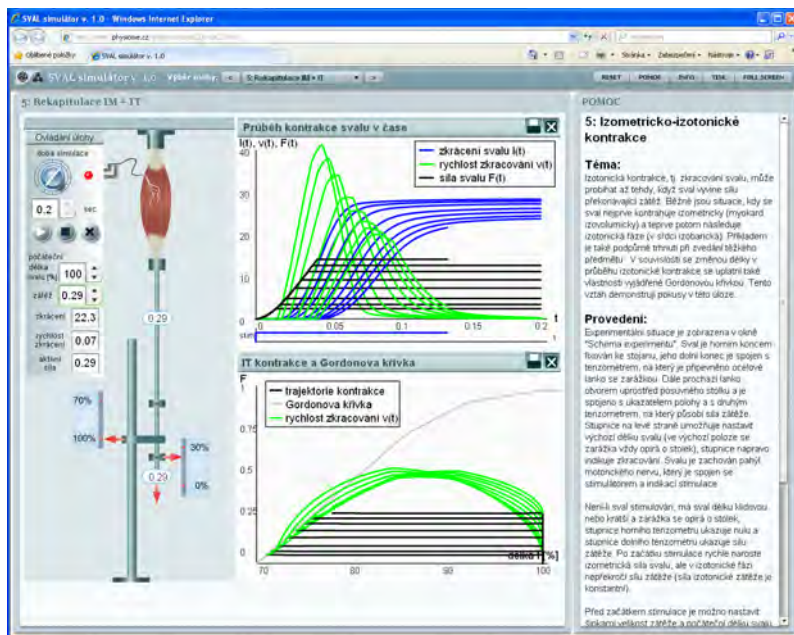
Současným, velmi podstatným, rozpracováním původního modelu Human je rozsáhlý výukový simulátor **Quantitative Circulatory Physiology (QCP)** [1] a jeho následovník **Quantitative Human Physiology (QCP)** [4, 8]. Pro podporu jejich využívání jako výukové pomůcky v lékařské výuce autoři tyto simulátory volně zpřístupnili na webu University od Mississippi (<http://physiology.umc.edu/themodelingworkshop/>). Simulátory je možné stáhnout a instalovat na počítači v prostředí Windows. Na rozdíl od modelu Human, význam jednotlivých proměnných již není kryptický, nicméně proměnných je velmi mnoho a efektivní práce s modelem vyžaduje znalost složité nabídkové struktury simulátoru i představu o tom, jaké proměnné je třeba při simulacích jednotlivých patologických stavů vhodné sledovat a hodnotu jakých parametrů je nutno změnit pro simulaci nejrůznějších patologických poruch (simulátor umožňuje měnit hodnoty cca 750 parametrů, modifikujících fyziologické funkce). Hodnoty těchto parametrů je možno ukládat do externího souboru nebo z externího souboru načítat, což umožňuje připravit řadu scénářů pro různé scénáře modelovaných patologických stavů. Autoři pro výukové potřeby řadu těchto scénářů (ve formě vstupních souborů) připravili a spolu s příslušným komentářem umožnili jejich stahování z příslušné webové stránky.

Určitou bariérou pro výukové využití simulátoru QCP (i jeho následníka QHP) je složitost ovládání simulátoru. Nicméně ve výukové praxi (tam, kde simulátor využívali) se osvědčil. Tak např. španělští autoři Rodrigues-Barbero a Lopes-Novoa [16] referují, že více než 70% studentů v anonymizovaném dotazníku uvedlo, že výuka pomocí simulátoru QCP jim umožnila lepší chápání komplexity fyziologických procesů a vzájemného koordinovaného působení několika fyziologických subsystémů v homeostatické odpovědi na nejrůznější podněty. Studenti si pochvalovali, že výukou na simulátoru získali lepší pochopení o funkcích lidského organismu bez ohledu na to, že simulátor byl pouze v angličtině a nebyl lokalizován do španělštiny.

Naše zkušenosti i zkušenosti jiných pracovišť s nasazením komplexních modelů do výuky ale ukazují, že velké a složité modely mají z didaktického hlediska značnou nevýhodu ve složitém ovládání [7, 12, 13].

Rozvětvené uživatelskému rozhraní složitých simulátorů, umožňující najednou sledovat hodnoty stovek proměnných se nakonec paradoxně ukazuje jako omezující prvek pro jejich nasazení v běžné výuce na lékařských fakultách.

Velké množství vstupních proměnných i široká paleta možností sledování výstupních proměnných, vyžadují od uživatele důkladnější porozumění vlastní struktury simulačního modelu, i znalost toho, jaké procesy je zapotřebí při simulacích určitých patologických stavů sledovat. V opačném případě se složitý sofistikovaný model uživateli jeví jen jako „složitá a málo srozumitelná technická hračka“ (obdobně, jako když ho posadíte před složitý simulátor dopravního letadla bez předchozího teoretického kurzu).



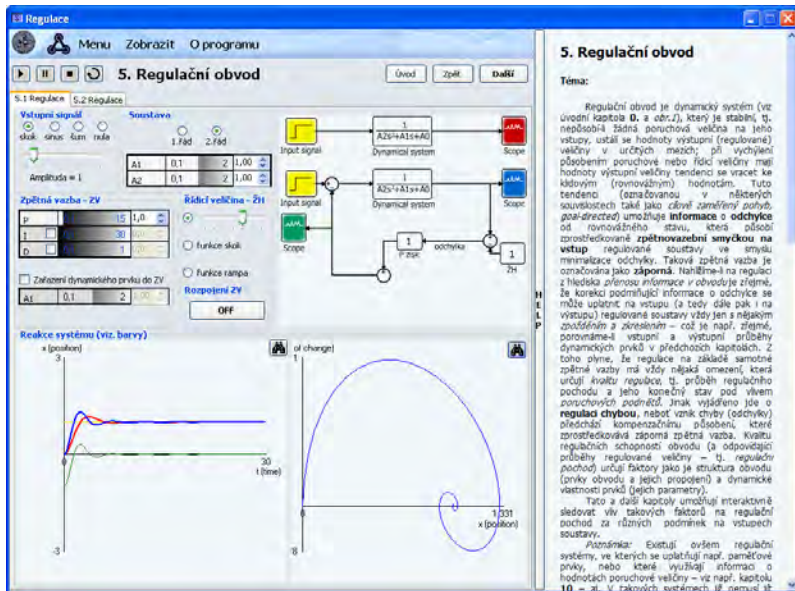
Obrázek 1 - Výukový program se simulačními hrami věnovaný studiu mechanických vlastností kosterního a srdečního svalu.

Výuka se simulátorem proto klade **citelně vyšší nároky na vyučujícího, než klasická výuka**. Při správném využití simulátoru, je však pedagogický efekt velmi výrazný, zvláště v takových oblastech, kde je rychlé a správné rozhodování velmi důležité, například v medicíně akutních stavů a v anesteziologii [2, 6, 9, 10, 15, 17, 18].

Vzhledem k technologickým i personálním nárokům proto vznikla na řadě univerzit i mimo ně specializovaná simulační centra pro lékařskou výuku na simulátorech, např. na Harwardu existuje „Center for Medical Simulation“ - <http://www.harvardmedsim.org/>, v Oxfordu se problematikou lékařské výuky na simulátorech zabývá „Oxford Simulation Centre“ - <http://www.oxsim.ox.ac.uk/>, a v Izraeli vzniklo štědrě dotované „Israel Center for Medical Simulation“ - <http://www.msr.org.il/>.

3. Webová interaktivní učebnice

Pedagogická praxe ukázala, že simulační hra s jednoduchými agregovanými modely (s možností sledování pouze několika proměnných) je někdy vhodnějším nástrojem pro vysvětlení složitých procesů než rozsáhlý výukový model. Při výkladu je vhodné postupovat od jednoduššího ke složitějšímu, tj. nejprve s využitím jednoduchých modelů vysvětlit základní principy a teprve potom se věnovat složitějším detailům a využívat simulační hry se složitějšími modely [12].



Obrázek 2 - Výukový program se simulačními hrami věnovaný základním dynamickým vlastnostem fyziologických regulačních systémů.

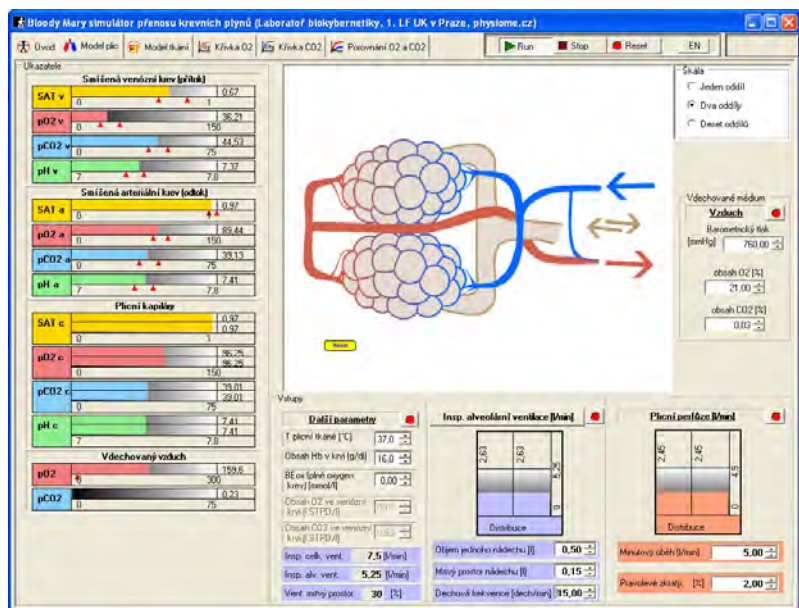
Výukové modely (a zřejmě nejen komplexní modely se stovkami proměnných) pro efektivní využití ve výuce proto sami o sobě nestačí. Musí být provázeny výkladem jejich využití – nejlépe pomocí interaktivních výukových aplikací na internetu.

Teprve **spojení výkladu a se simulační hrou** dává možnost využít všech výhod virtuální reality pro vysvětlení složitých patofyziologických procesů.

Je zřejmé, že sebelepší simulátor bez dostupného výkladového textu a jasného scénáře jeho využití ve výuce, je jen polovičaté řešení. Na druhé straně je zřejmé, že i vynikající interaktivní multimediální výukové programy s mnoha ozvučenými animacemi, ale bez simulačních her s modely na pozadí, jako je např. Interactive Physiology [3] (<http://www.interactivephysiology.com>), využívají možnosti počítače pro výuku jen napůl.

Pro skloubení možnosti interaktivních multimédií a simulačních modelů pro lékařskou výuku jsme proto koncipovali projekt internetového počítačového **Atlasu fyziologie a patofyziologie** [11] jako multimediální výukovou pomůcku, která názornou cestou prostřednictvím internetu s využitím simulačních modelů by měla pomoci vysvětlit funkci jednotlivých fyziologických subsystémů, příčiny a projevy jejich poruch – <http://physiome.cz/atlas>.

Některé simulátory mají v sobě kombinovaný model i výkladovou část. Příkladem je Simulátor mechanických vlastností svalu [19] (Obrázek 1). Dalším příkladem internetem dostupného výukového textu, kde jednotlivé modely jsou nedílnou součástí vykládané látky, je kapitola Atlasu fyziologie



Obrázek 3 - Simulační hra s modelem přenosu krevních plynů k vysvětlení následků poruch nerovnoměrnosti ventilace-perfúze. Počáteční stav.

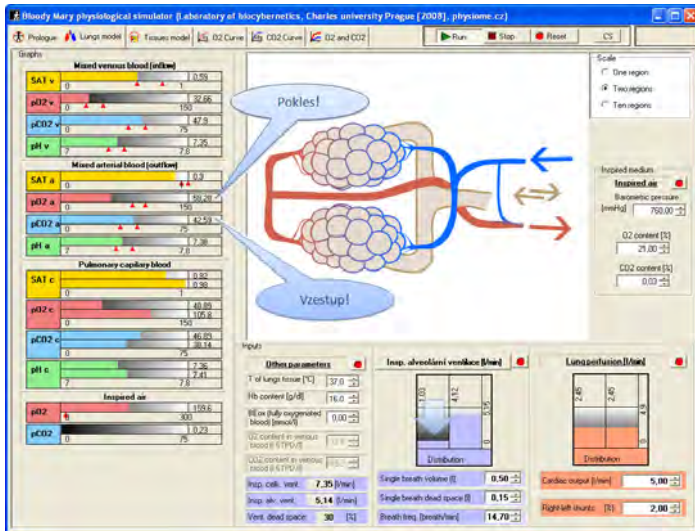
a patofyziologie pojednávající o základních dynamických vlastnostech fyziologických regulačních systémů [20] (Obrázek 2).

Atlas obsahuje i simulátory, které se spouštějí samostatně. Příkladem je komplexní simulátor přenosu krevních plynů, který je využíván jako výukovou pomůcku při výkladu fyziologie a patofyziologie přenosu kyslíku a kysličníku uhlíkatého. Využití simulátoru při výkladu následků ventilačně perfúzních nerovnoměrností (např. při chronické obstrukční chorobě plicní) ilustrují Obrázky 3 – 7. Simulace vlivu plicní embolie na přenos krevních plynů je na Obrázcích 8 -9.

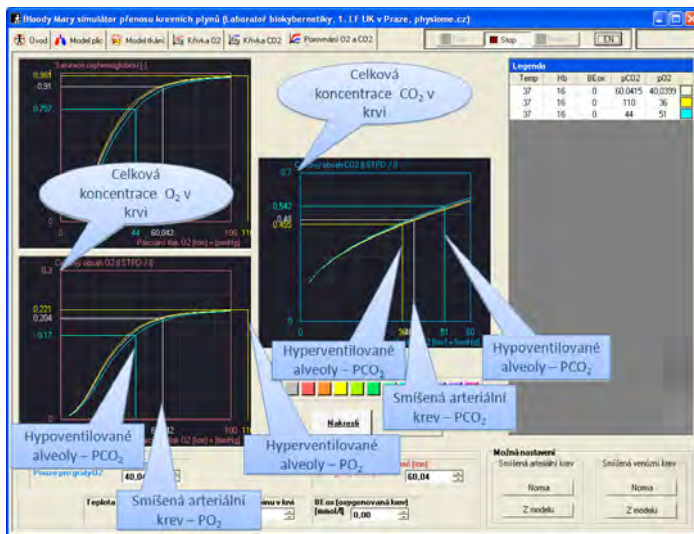
4. Nástroj pro tvorbu webově dostupných scénářů simulačních her

Samostatně spustitelné simulátory, dostupné na Atlasu fyziologie a patofyziologie je možno využít v řadě možných scénářů, které pomohou pochopení rozvoje řady patofyziologických stavů. Ve výuce patologické fyziologie je proto na seminářích s úspěchem využíváme. Určitým problémem je ale to, že samostatně spustitelný simulátor je sice dostupný na kliknutí z internetu, avšak bez výkladu učitele ztrácí svůj didaktický význam. Bez na webu snadno dostupných scénářů simulačních her je pak pracně vyvinutý výukový simulátor hůře využitelný.

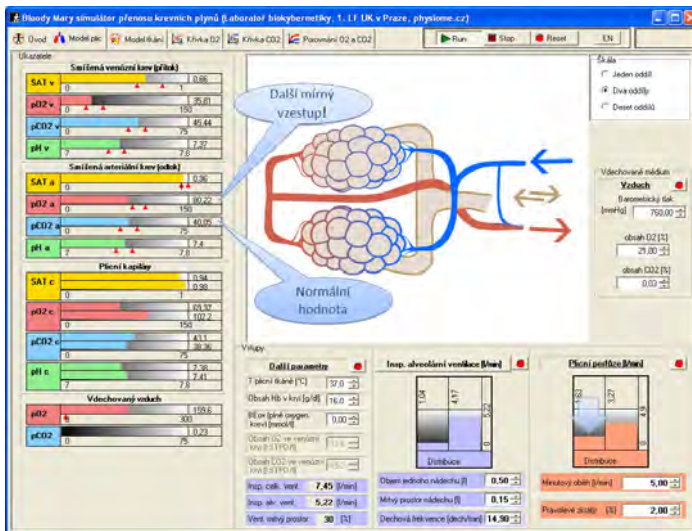
Proto k některým dříve vyvinutým simulátorům vytváříme webově dostupné učební texty, které simulátor využívají. Vhodným nástrojem pro tuto tvorbu je vývojový nástroj **Adobe Captivate**, který umožňuje i bez programování vytvářet výukové vysvětlující moduly, včetně zkušebních testů.



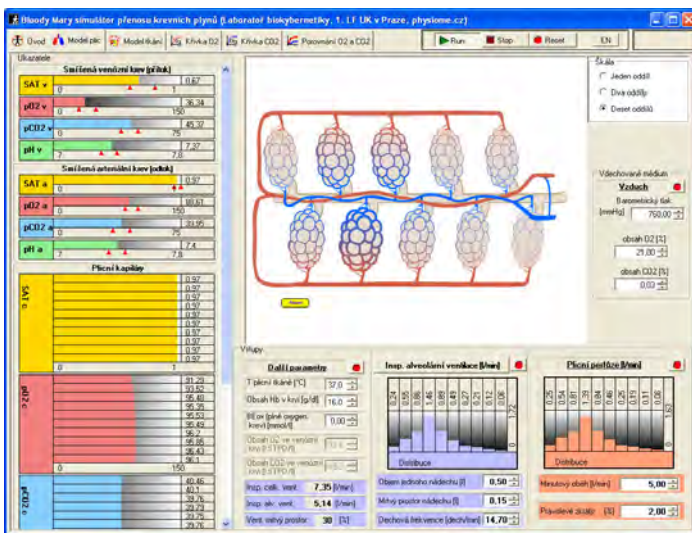
Obrázek 5 - Nepatrným zvýšením dechové frekvence dosáhneme normalizace PCO_2 ve smíšené arteriální krvi, PO_2 však zůstává stále nízké. Příčina je v rozdílném tvaru disociačních křivek O_2 a CO_2 - následující obrázek.



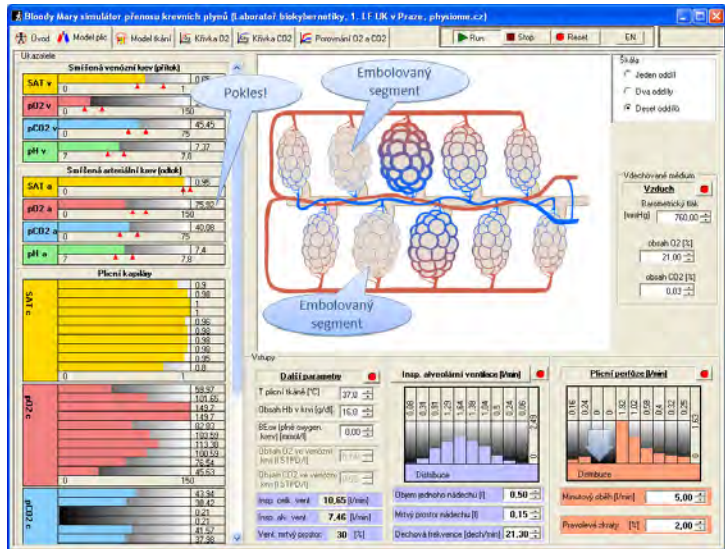
Obrázek 6 - Porovnání celkových koncentrací a parciálních tlaků O_2 a CO_2 v hyperventilovaných hypoventilovaných alveolech a ve smíšené arteriální krvi.



Obrázek 7 - Omezení perfúze špatně ventilovanými alveolami omezí příměs hypoxygované krve z hypoventilovaných alveolů, ve smíšené arteriální krvi se proto parciální tlak kyslíku zvýší. Důsledkem ale je také zvýšení odporu plicního krevního řečiště a rozvoj prekapilární plicní hypertenze.



Obrázek 8 - Simulace plicní embolie. Využíváme toho, že simulátor umožňuje provádět simulační experimenty i s jemnějším rozložením distribuce ventilace-perfúze do deseti ventilčních a perfúzních segmentů. Výchozí stav.



Obrázek 9 - Plicní embolie narušila normální distribuci ventilace-perfúze a způsobila výpadek plicní perfúze v třetím a čtvrtém segmentu (simulujeme tím plicní embolii). Pacient je dušný, respirace kompenzuje pH a parciální tlak oxidu ohličitého na normálních hodnotách, nicméně porušení normální distribuce ventilace-perfúze vede k poklesu arteriálního pO_2 . Jak můžeme vidět na simulátoru, krev, která nemůže proudit embolovanými plicními segmenty, proudí přes okolní plicní segmenty, kde se poměr ventilace-perfúze snižuje (a alveoly v těchto segmentech jsou vzhledem ke zvýšené perfúzi hypoventilované a hodnoty PO_2 a saturace hemoglobinu kyslíkem v kapilární krvi, oddávající z těchto segmentů jsou nízké).

Při přípravě výukového modulu je možné využít prezentace připravené v PowerPointu, které je možné doplnit animačními komponenty vytvořenými v nástroji Adobe Flash. Výklad je možné kombinovat se zvukovou stopou synchronizovanou s výukovým obsahem.

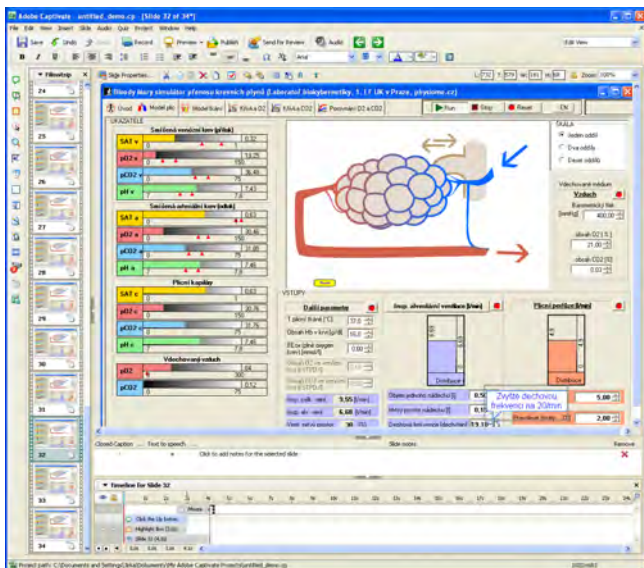
Výhodnou vlastností nástroje je to, že umožňuje zařadit do výukového obsahu animované z obrazovky nasnímané sekvence práce s nainstalovaným softwarem – a v nástroji pak tyto sekvence upravovat a připravit interaktivní návod k ovládání jiného softwaru.

Adobe Captivate nakonec vygeneruje výukovou aplikaci spustitelnou v Adobe Flash Playeru.

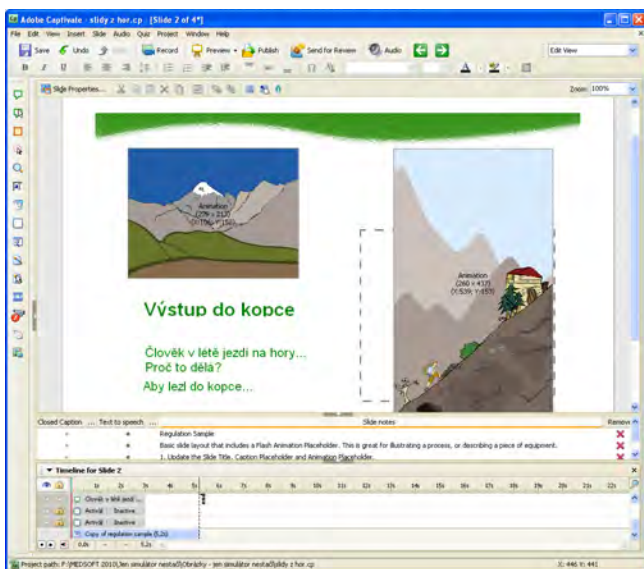
Ukázku využití s Adobe Captivate pro přípravu scénáře práce se simulátorem přenosu krevních plynů při výkladu výškové nemoci uvádí Obrázcích 10 a 11.

5. Závěr

Adobe Captivate se ukázal jako velmi vhodný nástroj pro rychlé vytváření výukových modulů, které názorným způsobem propojí vykládanou látku se



Obrázek 10 - Využití nástroje Adobe Captivate pro vytvoření animovaného zadání práce se simulátorem přenosu krevních plynů v simulační hře pro vysvětlení patogenезy výškové hypoxie



Obrázek 11 - Využití nástroje Adobe Captivate pro vytvoření výkladu patogenезy výškové hypoxie

simulačními hrami využívajícími již vytvořené výukové simulátory. Tím se naše úsilí, v minulosti věnované do tvorby výukových simulátorů, dále zhodnotí a simulátory se stanou lépe využitelnými nástroji pro výklad fyziologických a patofyziologických procesů.

Poděkování

Tvorba výukových simulátorů a vývoj příslušných vývojových nástrojů byly podporovány granty MŠMT č. 2C06031 „e-Golem“, výzkumným záměrem MSM 0021620806 a společností Creative Connections s. r. o.

Literatura

- [1.] Abram, S. R., Hodnett, B. L., Summers, R. L., Coleman, T. G., & Hester, R. L. (2007). *Quantitative circulatory physiology. An integrative mathematical model of human mathematical model of human physiology for medical education. Advanced Physiology Education*, 31, stránky 202-210.
- [2.] Binstadt, E. S., Walls, R., White, B. A., Nadel, E. S., Takavesu, J. K., & Barker, T. D. (2006). *A Comprehensive Medical Simulation Education Curriculum for Emergency Medicine Residents. Annals of Emergency Medicine*, 49, stránky 495-504.
- [3.] Branstrom, M. J., Haynes, L. W., Hoehn, K., LePage, P., Marieb, E. N., Mitchell, S. J., a další. (2008). *Interactive Physiology, 10 System Suite*. (S. Beuparlant, Editor, & Benjamin Cummings, San Francisco, CA) Načteno z <http://www.interactivephysiology.com>.
- [4.] Coleman, T. G., & Randall, J. E. (1983). *HUMAN. A comprehensive physiological model. The Physiologist*, 26, stránky 15-21.
- [5.] Coleman, T. G., Hester, R. L., & Summers, R. L. (2009). *Quantitative Human Physiology*. Načteno z <http://physiology.umc.edu/themodelingworkshop/>
- [6.] Day, R. S. (2006). *Challenges of biological realism and validation in simulation-based medical education. Artificial Intelligence in Medicine*, 38, stránky 47-66.
- [7.] de Freitas, S. I. (2006). *Using games and simulations for supporting learning. Learning, Media and Technology*, 31, stránky 343 – 358.
- [8.] Hester, R. L., Coleman, T., & Summers, R. (2008). *A multilevel open source integrative model of human physiology. The FASEB Journal*, 22, str. 756.
- [9.] Jones, A., & Lorraine, S. (2008). *Can human patient simulator be used in physiotherapy education? The Internet Journal of Allied Health Sciences and Practice*, 5, stránky 1-5.
- [10.] Kobayashi, L. K., Patterson, M. D., Overly, F. L., Shapiro, M. J., Williams, K. A., & Jay, G. D. (2008). *Educational and research implications of portable human patient simulation in acute care medicine. Academic Emergency Medicine*, 15, stránky 1166-1174.
- [11.] Kofránek, J., Matoušek, S., Andrlík, M., Stodulka, P., Wünsch, Z., Privitzer, P., a další. (2007). *Atlas of physiology - internet simulation playground. V B. Zupanic, R. Karba, & s. Blažič (Editor), Proceedings of the 6th EUROSIM Congress on Modeling and Simulation, Vol. 2. Full Papers (CD ROM) (stránky MO-2-P7-5: 1-9). Ljubljana: University of Ljubljana. Práce je dostupná na adrese <http://www.physiome.cz/references/EUROSIM2007.pdf>.*
- [12.] Kofránek, J., Privitzer, P., Matoušek, S., Vacek, O., & Tribula, M. (2009). *Schola Ludus in modern garment: use of web multimedia simulation in biomedical teaching. Proceedings of the 7th IFAC Symposium on Modelling and Control in Biomedical Systems, Aalborg, Den-*

- mark, August 12-14, 2009, (stránky 425-430). Práce je dostupná na adrese [1http://www.physiome.cz/references/IFAC2009.pdf](http://www.physiome.cz/references/IFAC2009.pdf)
- [13.] Lane, J. L. (2001). *Simulation in medical education: a review. Simulation&Gaming* , 32, stránky 297-314
- [14.] Meyers, R. D., & Doherty, C. L. (2008). *Web-Human physiology teaching simulation (Physiology in health, disease and during therapy)*. Načteno z <http://placid.skidmore.edu/human/index.php>.
- [15.] McGaghie, W. C., Siddall, V. J., Mazmanian, P. E., & Myers, J. (2009). *Lessons for continuing medical education from simulation research in undergraduate and graduate medical education. Chest* , 165, stránky 625-685
- [16.] Rodriguez-Barbero, A., & Lopez-Novoa, J. M. (2009). *Teaching integrative physiology using the quantitative circulatory physiology model and case discussion method: evaluation of the learning experience. Advances in Physiology Education* , 32, stránky 304-311.
- [17.] Rosen, K. R. (2008). *The history of medical simulation. Journal of Critical Care* , 23, stránky 157-166
- [18.] Wayne, D., Didwania, A., Feniglass, J., Fudala, M. J., Barsuk, J. H., & McGaghie, W. C. (2008). *Simulation-based education improves quality of care during cardiac arrest team responses at an academic teaching hospital. Chest* , 133, stránky 56-61
- [19.] Wünsch, Z., Kripner, T., Kofránek, J., & Andrlík, M. (2004). *The mechanical properties of skeletal muscle - Multimedia simulation educational software*. V G. Attiya, & Y. Hamam (Editor), *Proceedings of the 5th EUROSIM Congress on Modeling and Simulation. Full Papers CD Volume.*, (stránky 28-32). Marne La Vallée. Práce je dostupná na adrese <http://www.physiome.cz/references/EUROSIMWunsch2004.pdf>
- [20.] Wünsch, Z., Matúš, M., & Kofránek, J. (2007). *Physiological feedback modelling in medical education*. V B. Zupanic, R. Karba, & S. Blažič (Editor), *Proceedings of the 6th EUROSIM Congress on Modeling and Simulation, Vol. 2. Full Papers (CD)*. (stránky TU-1-P7-5: 1-7.). Ljubljana: University of Ljubljana. Práce je dostupná na adrese <http://www.physiome.cz/references/EUROSIMWunsch2007.pdf>

Kontakt:

Zuzana Dukátová
MUDr. Jiří Kofránek, CSc.

Oddělení biokybernetiky a počítačové
podpory výuky,
Ústav patologické fyziologie 1.LF UK
U nemocnice 5, 121 53 Praha 2
tel: +420 22496 5912
e-mail: zuzaduka@centrum.cz
<http://physiome.cz>