

СИМУЛЯЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКОМ ОБУЧЕНИИ

И.В. Яковенко, Е.Н. Кондаков, Д.Е. Закондырин

ФГБУ Российский нейрохирургический институт им. проф. А. Л. Поленова, Санкт-Петербург

Симуляция оперативных вмешательств на различных моделях в ближайшем будущем должна стать важным элементом практической подготовки нейрохирургов. На это указывает нарастающее количество публикаций по проблеме симуляционного обучения в медицине и нейрохирургии в частности.

Ключевые слова: симуляция, нейрохирургия, обучение.

The simulation of surgical manipulations using various models should be the important part of practical training during residence in neurosurgery in the immediate future. This fact is indicated by continuously increasing number of papers concerning simulation training in medicine and in neurosurgery particularly indicate.

Key words: simulation, neurosurgery, training

Симуляция в медицине, т.е. имитация реальной клинической ситуации, применяется еще с XVIII века, когда Анжеликой д'Кудре была изобретена машина для симуляции родов [1]. Проблемой отечественного здравоохранения является низкое качество подготовки врачей, и в частности нейрохирургических кадров, недостаточное освоение практических навыков в период обучения [3, 4], обусловленное отставанием в сфере профессионального образования от Европы и США на 5-7 лет и невозможностью в современных условиях отрабатывать навыки на больных [6]. Частичное перенесение учебного процесса из клиник в лабораторию позволяет компенсировать дефицит практической деятельности у курсантов [6, 16, 45, 49]. Появление в практике симуляционного обучения различных симуляторов, по мнению А. Alaraj и соавт. [12] и J. Gasco [27], уже в ближайшем будущем сделает технологию подготовку нейрохирургов близкой к методам обучения пилотов, когда каждая манипуляция будет доступна для отработки в условиях виртуальной реальности. J. Harrop и соавт. [33] сообщают о внедрении симуляционного курса с использованием манекенов и виртуальных симуляторов в программу обучения резидентов-нейрохирургов в нескольких крупных центрах США и Канады. По мнению отечественных [2] и зарубежных авторов [46, 60, 70], не стоит переоценивать возможности современных методов медицинской симуляции, поскольку трупный материал человека был и остается незаменимой моделью для обучения хирургов всех специальностей. Симуляционное обучение должно стать частью новой системы подготовки нейрохирургов. А. Spotta M. и соавт. [61] формулируют 2 основные цели симуляционного обучения в нейрохирургии: во-первых, отработку алгоритма действий путем многократного их повторения; во-вторых, создание безрисковой для пациента учебной среды. Опрос резидентов-нейрохирургов в США показывает эффективность симуляции

в качестве образовательного инструмента [8]. T. F. Dagli [20], отмечая безусловную полезность симуляционного обучения, особенно в отработке психомоторных навыков у нейрохирурга, обращает внимание на индивидуальность кривой обучения. По данным A. Ganju и соавт. [26], необходимость внедрения симуляционных технологий в нейрохирургическое обучение поддерживают 74% руководителей по подготовке резидентов-нейрохирургов в США, и 45% из них считают, что симуляционное обучение должно предшествовать работе с пациентами. D. Lobel и соавт. [46] сообщают, что, по данным опроса 42% руководителей программ резидентуры по нейрохирургии, в 57,9% учебных учреждений США применяются методы симуляции с использованием трупных и микрохирургических диссекций.

Количество учебных симуляционных центров по подготовке врачей-нейрохирургов невелико, и данные литературы о методике их организации и функционирования крайне скудны. А. Pichierri и соавт. [55] сообщают в своей статье о принципах организации, программе обучения и методике оценки его результатов в микронейрохирургической лаборатории Нейрохирургического института человека в г. Риме (Италия). А. Salma и соавт. [60] доложили о работе лаборатории основания черепа при департаменте нейрохирургии в Университете штата Огайо (США). В статье приводится примерная стоимость оснащения для учебного центра мощностью 2 рабочих места — \$248, 000 на оборудование и \$28, 000 на инструментарий. M. Tschabitscher и соавт. [70] представили свой опыт организации микрохирургической и эндоскопической лаборатории основания черепа при университете г. Вены (Австрия). J. Gasco и соавт. [27] сообщают о работе на медицинском факультете Техасского университета (США). Каждый академический год в лаборатории 6 резидентами по нейрохирургии проводится 180 симуляционных вмешательств, на каждого резидента в год приходится 30 симуляционных вмешательств,

стоимость его обучения колеблется от \$2300 до \$5500. На территории Российской Федерации симуляционные занятия для нейрохирургов проводятся в формате мастер-классов на базе крупных научных центров (НИИ скорой помощи им. Н. В. Склифосовского, Федерального центра нейрохирургии в г. Тюмени) и учебных центров производителей медицинского оборудования (Karl Storz, Medtronic), с 2011 г. симуляционный курс для ординаторов организован в РНХИ им. проф. А. Л. Поленова.

Модели, применяемые в симуляционном обучении нейрохирургов, принято делить на физические (муляжи и манекены), трупные (материал человека, животных), виртуальные, web-модели и гибриды [12, 21].

Трупный материал человека является классической моделью. При отработке интрадуральных доступов предпочтение следует отдавать фиксированным в формалине препаратам, при отработке экстрадуральных — нефиксированным [60]. Для создания во время учебной операции условий близких к реальному оперативному вмешательству предлагается проводить инфузию сосудов шеи трупа водными растворами красителей [10, 30, 54]. Предложен даже специальный термин для обозначения подобных моделей — «living cadavers». Для улучшения визуализации сосудов в ране большое распространение получила техника инъекции сосудов трупного препарата силиконом или латексом, окрашенным в красный и синий цвета [9, 56, 60]. G. Grangnaniello и соавт. [28] и M. Verhouma и соавт. [13] предложили использовать головы трупов для обучения навыкам удаления опухолей головного мозга после инъекции в соответствующую область полимера, имитирующего опухолевую ткань. Трупный материал человека также нередко используют в обучении врачей технике транспедикулярной фиксации на грудном [40, 71] и поясничном отделах позвоночника [52].

Физические модели для моделирования техники открытых внутричерепных вмешательств используют ограниченно. Для отработки техники краниотомии используют коммерческие модели черепа фирм Synbone и Sawbones [67]. D. Lobel A. и соавт. [46] описали реалистичный тренажер для отработки техники удаления эпи- и субдуральной гематом. Тренажер одноразовый, его стоимость составляет \$1500. K. Morigi и соавт. [51] и M. Wanibuchi и соавт. [73] сообщали об использовании для обучения экстрадуральному птериональному доступу к кавернозному синусу и транспирамидному доступу физической модели основания черепа. W. Wagan и соавт. [74] сообщили о возможности создания достоверных физических моделей головы с помощью 3D-принтера. G. Chen и соавт. [17] описали сборный тренажер из полимерных материалов для отработки техники выполнения различных трансназальных эндоскопических доступов к основанию черепа. S. Zymberg и соавт. [77] описали тренажер, выполненный из синтетических материалов, для обучения технике нейроэндоскопии — S. I. M.

O. N. T. (Sinus Model Oto-Rhino Neuro Trainer). F. Filho и соавт. [24] выявили снижение частоты типичных ошибок у неопытных курсантов в среднем на 41,65% после каждого занятия на данном тренажере. Наиболее распространены физические модели, изготовленные из пластмасс для симуляции вмешательств на позвоночнике [11, 32, 75]. Разработаны модели, представляющие собой обычные полиуретановые муляжи шейного отдела позвоночника, помещенные в форму, симулирующую анатомическое строение мягких тканей шеи [33, 57]. T. Mattei и соавт. [52] был предложен тренажер, симулирующий основные патологические состояния, встречающиеся в детской спинальной нейрохирургии.

Использование животных для симуляционного обучения (wet lab) подразумевает возможность использовать как трупный материал (dead lab), так и живых животных (vit lab) [5]. Для отработки техники различных интракраниальных доступов ряд авторов предлагает использовать голову домашней свиньи [14, 50, 63]. T. Hicdonmez и соавт. [36, 37] в серии статей описали возможности использования препарата головы взрослой коровы для отработки техники интракраниальных доступов — птерионального и межполушарного. Для обучения операциям на структурах задней черепной ямки предложено использовать голову взрослой овцы [34, 38], а для отработки техники операций при краниосиностозах — только череп [39]. Шейный отдел туши овцы использовали для обучения врачей технике дискэктомии [69], поясничный отдел — транспедикулярной фиксации [64] и микродискэктомии [43, 65]. F. Rubino и соавт. [58] предложили использовать живую свинью в качестве учебной модели для отработки техники эндоскопической дискэктомии в шейном отделе позвоночника из переднего доступа.

Технология виртуальной реальности с начала 2000-х годов стала активно внедряться в постдипломное образование врачей хирургических специальностей [1, 67]. A. Alaraj и соавт. [12] описывают 3 варианта использования виртуальной реальности в нейрохирургическом обучении: полное погружение, смешанная реальность и виртуальная реальность без погружения. Виртуальная реальность без погружения в обучении реализована в web-симуляторах, представляющих собой компьютерные программы, в которых возможно моделирование техники выполнения некоторых хирургических манипуляций. N. John и соавт. [41] описали программу V-Cath для моделирования техники вентрикулярной пункции, с января 2013 г. доступную для бесплатного скачивания на мобильные устройства компании Apple. B. Eftekhari и соавт. [22] и S. Klein и соавт. [44] сообщили о возможностях компьютерного моделирования техники установки педикулярных винтов. Компьютерная графика, дополненная тактильными устройствами по типу обратной связи, составляет основу симуляторов, использующих технологию виртуальной реальности без погружения. Наиболее распространены симуляторы диссекции височной кости, эндоваскуляр-

ных и нейроэндоскопических вмешательств. Ряд авторов отмечают достоверное улучшение мануальных навыков в транспирамидной хирургии у курсантов после занятий на виртуальном симуляторе Voxel-Man [25, 47, 59, 76]. Симуляторы эндоваскулярных вмешательств фирм Simbionix и Mentice, использованные в учебном процессе, достоверно улучшают мануальные навыки резидентов в виде сокращения времени, затраченного на выполнение диагностической каротидной ангиографии [18, 21, 35, 62]. Технология смешанной реальности, подразумевающая интеграцию виртуального объекта в реальную картину мира, реализована в симуляторе ImmersiveTouch [48]. R. Yudkowsky и соавт. [72] отмечено объективное улучшение навыка вентрикулоустомии у резидентов после занятий на этом симуляторе. В нейрохирургическом обучении также получила распространение технология дополнения физической модели виртуальной платформой [15, 42, 67, 68]. Сущность технологии заключается в том, что обучаемый на физической модели выполняет манипуляции, а на экране компьютера в реальном времени видит проекцию инструмента на данные томографии пациента. Коммерчески успешным продуктом, работающим по принципу полного погружения, является виртуальный симулятор NeuroTouch [19]. Он имитирует работу под операционным микроскопом в полости черепа, после уже выполненной трепанации и вскрытия твердой мозговой оболочки. N. Gyllinas-Phaneuf и соавт. [29] на основании исследования времени и объема удаления виртуальной опухоли на этом симуляторе 72 курсантами отметили отчетливый прогресс после обучения у тех, кто ранее не имел опыта хирургии внутричерепных новообразований.

Таким образом, заметной тенденцией во всем мире является стремительно нарастающий интерес к обучающим симуляционным технологиям. В отечественной нейрохирургии на фоне повсеместного оснащения стационаров современным оборудованием и внедрения высокотехнологичных оперативных вмешательств при опухолевой, сосудистой и спинальной патологии особенно остро стоит проблема подготовки квалифицированных кадров. Очевидна перспективность и необходимость изучения и развития возможностей медицинской симуляции в нейрохирургическом обучении.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Яковенко Игорь Васильевич — д-р мед. наук., директор Российского нейрохирургического института им. проф. А. Л. Поленова

Кондаков Евгений Николаевич — д-р мед. наук, профессор, заместитель директора Российского нейрохирургического института им. проф. А. Л. Поленова

Закондырин Дмитрий Евгеньевич — врач-нейрохирург, к.м.н., старший научный сотрудник Российского нейрохирургического института им. проф. А. Л. Поленова, e-mail: russiandoctor@mail.ru

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Gorshkov M.D., Svistunov A.A. The simulation training in medicine. Moscow; 2013: 288 pp (in Russian).
- Dydykin S. S., Kagan I. I. Anatomy without cadavers? How to cultivate the surgical culture among medical students under conditions of absence of the most important training material. Meditsinskaya gazeta. 2014; 20: 11 (in Russian).
- Komarov Yu. M. Regarding training of medical staff in Russian Federation. Meditsina. 2013; 3: 1-11 (in Russian).
- Konovalov A.N. «Accurately and with minimal loss» is the development strategy of modern neurosurgery. Meditsinskaya gazeta. 2013; 43: 5 (in Russian).
- Kossovich M.A. Shubina L.B., Gribkov D.M. et al. The optimization of Wet Lab module during laparoscope surgery training. Virtual'nye tekhnologii v meditsine. 2013; 2 (vol.10): 38 (in Russian).
- Shubina L.B. The imitation training in the system of permanent professional education of medical staff. Dr. med. sci. diss. Moscow; 2011 (in Russian).
- Yushchuk N. Who are they — doctors of the Future? Meditsinskaya gazeta. 2014; 13: 4-5 (in Russian).
- Ahmadieh T.Y., Tecle N.E., Aoun S.G. How can simulation thrive as an educational tool? Just ask the residents. // Neurosurgery. — 2012. — Vol. 71(6). — P.18-19.
- Alvernica J.E., Pradilla G., Mertens P. Latex injection of cadaver heads: technical note. // Neurosurgery. — 2010. Vol. 67(2). — P. 362-367.
- Aboud E., Al-Mefty O., Yasargil M. G. New laboratory model for neurosurgical training that simulates live surgery. // J Neurosurg. — 2002. — Vol. 97. — P. 1367-1372
- Abdala N., Oliveira R., Junior J. et al. Manikin-type training simulator model for transpedicular puncture in percutaneous vertebroplasty. // Radiol Bras. — 2007. — Vol.40 (4). — P. 231-234.
- Alaraj A., Lemole M. G., Finkle J. H. et al. Virtual reality training in neurosurgery: Review of current status and future applications. [Электронный ресурс] // Surg. Neurol. Int. — 2011. URL: <http://www.surgicalneurologyint.com/content/2/1/52> (дата обращения: 03.05.2014)
- Berhouma M., Baidya N. B., Ismail A. A. et al. Shortening the learning curve in endoscopic endonasal skull base surgery: a reproducible polymer tumor model for the trans-sphenoidal trans-tubercular approach to retro-infundibular tumors. // J Clin Neurol. Neurosurg. — 2013. — Vol. 115 (9). — P. 1635-1641.
- Borucki J., Szyfter W. Attempt at evaluation of an animal model in the education of the endoscopic surgery of the cerebellopontine angle. // Skull Base. — 2005. — Vol. 15. — P. 20-32.
- Bova F. J., Rajon D. A., Friedman W. A. et al. Mixed-reality simulation for neurosurgical procedures. // Neurosurgery. — 2013. — Vol. 73 (4). — P. 138-145.
- Coulter I. C., Brennan P. M. Simulation in Neurosurgery: A Survey of Experiences and Perceptions in the UK. // Bull RCS. — 2013. — Vol. 95 (9). — P. 304-307.
- Chen G. A., Feng L. A new plastic model of endoscopic technique training for endonasal transsphenoidal pituitary surgery. // Chin Med J. — 2010. — Vol. 123 (18). — P. 2576-2579.
- Dawson D. L., Meyer J., Lee E. S. et al. Training with simulation improves residents' endovascular procedure skills. // J Vasc Surg. — 2007. — Vol. 45 (1). — P. 149-154.
- Delorme S., Laroche D., DiRaddo R. et al. NeuroTouch: A physics-based virtual simulator for cranial microneurosurgery training // Neurosurgery. — 2012. — Vol. 71 (1). — P. 32-42.
- Dagi T. F. Commentary: The roles and future of simulation in neurosurgery // Neurosurgery. — 2013. — Vol. 73 (4). — P. 3-5.
- Das. P., Goyal T., Xue A. et al Simulation training in neurological surgery // Austin. J Neurosurg. — 2014. — Vol. 1 (1). — P. 6.
- Eftekhari B., Ghodsi M., Ketabchi E. et al. Surgical simulation software for insertion of pedicle screws // Neurosurgery. — 2002. — Vol. 50 (1). — P. 222-223.
- Fargen K. M., Arthur A. S., Bendok B. R. et al. Experience with a simulator-based angiography course for neurosurgical residents: beyond a pilot program // Neurosurgery. — 2013. — Vol. 73 (1). — P. 46-50.
- Filho F. V., Coelho G., Cavalheiro S. et al. Quality assessment of a new surgical simulator for neuroendoscopic training // Neurosurg. Focus. — 2011. — Vol. 30 (4). — P. E17.
- Francis H.W., Malik M. U., Diaz V. V. et al. Technical skills improve after practice on virtual-reality temporal bone simulator // Laryngoscope. — 2012. — Vol. 122 (6). — P. 1385-1391.
- Ganju A., Aoun S.G., Daou M.R. The Role of Simulation in Neurosurgical Education: A Survey of 99 United States Neurosurgery Program Directors // World Neurosurg. — 2013. Vol. 80 (5). — P. e1-e8.
- Gasco G., Holbrook T. J., Patel A. et al. Neurosurgery simulation in residency training: feasibility, cost, and educational benefit // Neurosurgery. — 2013. — Vol. 73 (4). — P. 39-45.

28. Grangnaniello G., Nader R., van Doormaal T. et al. Skull base tumor model // *J Neurosurg.* – 2010. – Vol.113. – P. 1106-1111.
29. Gelinas-Phaneuf N. G., Choudhury N., Al-Habib A. R. et al. Assessing performance in brain tumor resection using a novel virtual reality simulator // *Int. J CARS.* – 2014. – Vol. 9 (1). – P. 1-9.
30. Guvencer M., Sayhan S., Derel N. et al. Simulation of cerebrovascular circulation in the human cadaver for surgical neuroanatomy training // *Turkish Neurosurgery.* – 2007. – Vol. 17 (4). – P. 243-246
31. Harnof S., Hadani M., Ziv et al. Simulation-based interpersonal communication skills training for neurosurgical residents // *IMAJ.* – 2013. – Vol. 15. – P. 557-560.
32. Harrop J. S., Sharan A. D., Traynelis V. C. Spine simulation // *CNSQ.* – 2011. – Vol. 12 (3). – P. 12-13.
33. Harrop J. S., Rezai A. R., Hoh D. J. et al. Neurosurgical training with a novel cervical spine simulator: posterior foraminotomy and laminectomy // *Neurosurgery.* – Vol. 73 (4). – P. 94-99.
34. Hamamcioglu M. K., Hicdonmez T., Tiryaki M. et al. A laboratory training model in fresh cadaveric sheep brain for microneurosurgical dissection of cranial nerves in posterior fossa // *Br. J Neurosurg.* – 2008. – Vol. 22 (6). – P. 769-771.
35. Harbaugh R., Agarwal A. Training residents in endovascular surgery // *Neurosurgery.* – 2006. – Vol. 59 (5). – P. 277-279.
36. Hicdonmez T., Hamamcioglu M. K., Tiryaki M. et al. Microneurosurgical training model in fresh cadaveric cow brain: a laboratory study simulating the approach to the circle of Willis // *Surg Neurol.* – 2006. – Vol. 66. – P. 100-104
37. Hicdonmez T. A., Hamamcioglu M. K., Parsak T. et al. A laboratory training model for interhemispheric-transcallosal approach to the lateral ventricle // *Neurosurg. Rev.* – 2006. – Vol. 29 (2). – P. 159-162.
38. Hicdonmez T., Birgili B., Teryaki M. et al. Posterior fossa approach: microneurosurgical training model in cadaveric sheep // *Turkish Neurosurg.* – 2006. – Vol. 16 (3). – P. 111-114.
39. Hicdonmez T., Parsak T., Cobanoglu S. Simulation of surgery for craniocystosis: a training model in a fresh cadaveric sheep // *J. Neurosurg.* – 2006. – Vol. 105 (2). – P. 150-152.
40. Hyan S. E., Kim Y. J., Cheh G. et al. Free hand pedicle screw placement in the thoracic spine without any radiographic guidance : technical note, a cadaveric study // *J. Korean Neurosurg Soc.* – 2012. – Vol.51. – P. 66-70.
41. John N.W., Riding M., Phillips N. I. et al. Web-based surgical educational tools // *Studies in Health Technology and Informatics.* – 2001. – Vol. 81. – P. 212-217.
42. Jabbour P., Chalouhi N. Simulation-based neurosurgical training for the presigmoid approach with a physical model // *Neurosurgery.* – 2013. – Vol. 73 (4). – P. 81-84.
43. Kalayci M. A., Cagavi F., Gul S. et al. A training model for lumbar // *J Clin Neurosc.* – 2005. – Vol. 12 (6). – P. 673-675
44. Klein S., Whyne C. M., Rush R. et al. CT-based patient-specific simulation software for pedicle screw insertion // *J Spinal Disord Tech.* – 2009. – Vol. 22 (7). – P. 502-506.
45. Limbrick D. D., Dacey R. G. Simulation in neurosurgery: possibilities and practicalities: foreword // *Neurosurgery.* – Vol. 73 (4). – P. 1-3.
46. Lobel D. A., Elder J. B., Schirmer C. M. et al. A novel craniotomy simulator provides a validated method to enhance education in the management of traumatic brain injury // *Neurosurgery.* – Vol. 73 (4). – P. 57-65.
47. Linke R., Leichtle A., Sheikh F. et al. Assessment of skills using a virtual reality temporal bone surgery simulator // *Acta Otorhinolaryng Ital.* – 2013. – Vol. 33. – P. 273-281.
48. Luciano C., Banerjee P., Lemole G. M. et al. Second generation haptic ventriculostomy simulator using the ImmersiveTouch system // *Studies in health technology and informatics J.* – 2006. – Vol. 119. – P. 343-348.
49. Marcus H., Vakharia V., Kirkman M. A. et al. Practice makes perfect? The role of simulation-based deliberate practice and script-based mental rehearsal in the acquisition and maintenance of operative neurosurgical skills.// *Neurosurgery.* – 2013. – Vol 72 (1). – P. 124-130.
50. Mauer U. M., Kunz U. Management of neurotrauma by surgeons and orthopedists in a military operational setting // *Neurosurg Focus* – 2010. – Vol. 28 (5). – P. E10
51. Mori K., Yamamoto T., Nakao Y. et al. Development of artificial cranial base model with soft tissues for practical education: technical note // *Neurosurgery.* – 2010. – Vol. 66 (6). – P. 339-341.
52. Mattei T. A., Frank C., Bailey J. et al. Design of a synthetic simulator for pediatric lumbar spine pathologies // *J. Neurosurg. Ped.* – Vol. 12. – P. 192-201.
53. Mattei T. A., de Meneses M. S., Milano B. et al. Implementing “free-hand” technique training for pedicle screw instrumentation in neurosurgical residency // *J Bras. Neurocirurg.* – 2010. – Vol. 21 (2). – P. 80-87.
54. Olabe J., Olabe J., Sancho V. Human cadaver brain infusion model for neurosurgical training // *Surg Neurol.* – 2009. – Vol. 72 (6). – P. 700-702.
55. Pichierri A., Frati A., Santoro A. How to set up a microsurgical laboratory on small animal models: organization, techniques, and impact on residency training // *Neurosurg. Rev.* – 2009. – Vol. 32. – P. 101-110.
56. Ratanalekha R., Tirakotai W. Technique of colored latex vascular injection in neurosurgical soft cadaveric head // *Siriraj Med. J.* – 2012. – Vol. 64 (1). – P. 37-39.
57. Ray W. S., Ganju A., Harrop J. S. et al. Developing an anterior cervical discectomy and fusion simulator for neurosurgical resident training // *Neurosurgery.* – Vol. 73 (4). – P. 100-106.
58. Rubino F., Deutsch H., Pamoukian V. et al. Minimally invasive spine surgery: an animal model for endoscopic approach to the anterior cervical and upper thoracic spine // *J Laparoendosc Adv Surg Tech. A.* – 2000. – Vol. 10 (6). – P. 309-313.
59. Reddy-Kolanu G., Alderson D. Evaluating the effectiveness of the Voxel-Man TempoSurg virtual reality simulator in facilitating learning mastoid surgery // *Ann. R Coll Surg Engl.* – 2011. – Vol. 93. – P. 205-208.
60. Salma A., Chow A., Ammirati M. Setting up a microneurosurgical skull base lab: technical and operational considerations // *Neurosurg Rev.* – 2011 – Vol. 34 (3). – P. 317-326
61. Splotta A. M., Schlenk R. P. Simulation in neurosurgical residency training: a new paradigm // *CNSQ.* – 2011. – Vol. 12. (3). – P. 18-20.
62. Splotta A. M., Rasmussen P. A., Masaryk T. J. et al. Simulated diagnostic cerebral angiography in neurosurgical training: a pilot // *J Neurointerv Surg.* – 2013. – Vol. 5 (4). – P. 376 - 381.
63. Silva L. F., Aurich L., Monteiro F. et al. Microsurgical and endoscopic training model with nonliving swine head: new alternative for skull base education // *J Neurol Surg B.* – 2014. – Vol. 75. – P. A190.
64. Suslu H. T., Tatarli N., Hicdonmez T. A laboratory training model using fresh sheep spines for pedicular screw fixation // *Br. J. Neurosurg.* – 2012. – Vol. 26 (2). – P. 252-254.
65. Suslu H. T., Tatarli N., Karaaslan A. et al. A practical laboratory study simulating the lumbar microdiscectomy: training model in fresh cadaveric sheep spine // *J Neurol Surg. A Cent Eur Neurosurg.* – 2014. – Vol. 75 (3). – P. 167-169.
66. Singh H., Kalani M., Acosta-Torres S. et al. History of simulation in medicine: from Resusci Annie to the Ann Myers medical center // *Neurosurgery.* – 2013. – Vol. 73. – P. 9-14.
67. Selden N. R., Origiano T. C., Hadjipanayis C. et al. Model-based simulation for early neurosurgical learners // *Neurosurg.* – 2013. – Vol. 73. – P. 15-24.
68. Schirmer C. M., Elder J. B., Roitberg B. et al. Virtual reality-based simulation training for ventriculostomy: an evidence-based approach // *Neurosurgery.* – 2013. – Vol. 73. – P. 66-73.
69. Tatarli N. A., Suslu H. T., Ceylan D. et al. Microsurgical Training Model For Anterior Cervical Discectomy in Fresh Sheep Spine // *J Neurol Sc. (Turkish).* – 2013. – Vol. 30 (4). – P. 674-676.
70. Tschabitscher M., Di leva A. Practical guidelines for setting up an endoscopic/skull base cadaver laboratory // *World Neurosurg.* – 2013. – Vol. 79 (2). – P. S16.
71. Tortolani P. J., Moatz B. W., Parks B. G. et al. Cadaver Training Module for Teaching Thoracic Pedicle Screw Placement to Residents // *Orthoped.* – 2013. – Vol. 36 (9). – P. e1128-e1133.
72. Yudkowsky R., Luciano C., Banerjee P. et al. Practice on an augmented reality/haptic simulator and library of virtual brains improves residents' ability to perform a ventriculostomy // *Simul. Healthc.* – 2013. – Vol. 8 (1). – P. 25-31.
73. Wanibuchi M., Ohtaki M., Fukushima T. et al. Skull base training and education using an artificial skull model created by selective laser sintering // *Acta. Neurochir. (Wien).* – 2010. – Vol. 152 (6). – P. 1055-1059.
74. Waran V., Narayanan V., Karupiah R. et al. Utility of multimaterial 3D printers in creating models with pathological entities to enhance the training experience of neurosurgeons // *J Neurosurg.* – 2014. – Vol. 120. – P. 489-492.
75. Woodrow S., Dubrowski A., Khokhotva M. et al. Training and evaluating spinal surgeons: the development of novel performance measures // *Spine.* – 2007. – Vol. 32 (25). – P. 2921-2925.
76. Zhao Y.C., Kennedy G., Yukawa K. et al. Improving temporal bone dissection using self-directed virtual reality simulation: results of a randomized blinded control trial // *Otolaryngol Head Neck Surg.* – 2011. – Vol. 144 (3). – P. 357-364.
77. Zymberg S., Vaz-Guimaraes F. F., Lyra M. Neuroendoscopic training: presentation of a new real simulator // *Minim Invasive Neurosurg.* – 2010. – Vol. 53 (1). – P. 44-46.