

## ВИРТУАЛЬНАЯ ХИРУРГИЯ КАК НОВЫЙ МЕТОД ОБУЧЕНИЯ В СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

Филип Поленц (1), Александр Грёбе (1), Андреас Петерсик (2), Норман фон Штенберг (1), Бернхард Пфлессер (2), Андреас Поммерт (2), Карл-Хайнц Хёне (2), Ульф Тиде (2), Инго Шпрингер (3), Макс Хайла (4)

- 1) Отделение челюстно-лицевой хирургии Клиники Эппендорф университета г. Гамбург, Германия
- 2) Группа Воксел-Ман Клиники Эппендорф университета г. Гамбург, Германия
- 3) Отделение челюстно-лицевой хирургии Клиники университета г. Киль, Германия
- 4) Отделение челюстно-лицевой хирургии, Больница г. Бремерхафен, Германия

### Реферат

*Виртуальная реальность симулятора Воксел-Ман, изначально задуманная для отработки хирургических вмешательств на среднем ухе, теперь используется и в стоматологии. Для оценки его стоматологического применения в качестве контрольного испытания была выбрана виртуальная процедура резекции верхушки корня зуба. Группа из 53 студентов-стоматологов предоставила свое мнение после виртуальной симуляции резекции верхушки корня зуба. 51 из 53 студентов рекомендовал виртуальную симуляцию в качестве дополнительного метода обучения в стоматологии. Студенты отметили, что обратная тактильная связь, объемное 3D изображение и хорошее разрешение симулятора могут в полном объеме обеспечить проведение виртуального обучения методам хирургического вмешательства в стоматологии.*

**Ключевые слова:** виртуальная реальность, компьютерная симуляция, обучение стоматологов, челюстно-лицевая хирургия, резекция верхушки корня зуба

### *Virtual dental surgery as a new educational tool in dental school*

*Philipp POHLENZ et al, Alexander GRÖBE<sup>1</sup>, Andreas PETERSIK<sup>2</sup>, Norman VON STERNBERG<sup>1</sup>, Bernhard PFLESSER<sup>2</sup>, Andreas POMMERT<sup>2</sup>, Karl-Heinz HÖHNE<sup>2</sup>, Ulf TIEDE<sup>2</sup>, Ingo SPRINGER<sup>3</sup>, Max HEILAN*

*<sup>1</sup>Department of Oral and Maxillofacial Surgery (Head: Prof. Schmelzle), University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Germany; <sup>2</sup>Voxel-Man Group, University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Germany; <sup>3</sup>Department of Oral and Maxillofacial Surgery (Head: Prof. Wiltfang), University Hospital Kiel, Germany Department of Oral and Maxillofacial Surgery (Head: Prof. Heiland), General Hospital Bremerhaven Reinkenheide, Germany*

*The virtual environment of the Voxel-Man simulator that was originally designed for virtual surgical procedures of the middle ear has been adapted to intraoral procedures. To assess application of the simulator to dentistry, virtual apicectomies were chosen as the pilot-test model. A group of 53 students provided their impressions after virtual simulation of apicectomies in the Voxel-Man simulator. 51 of the 53 students recommended the virtual simulation as an additional modality in dental education. The students indicated that the force feedback (e.g. simulation of haptic pressure), spatial 3D perception, and image resolution of the simulator were sufficient for virtual training of dental surgical procedures.*

### ВВЕДЕНИЕ

Селективное восстановление кости без повреждения внутренних структур является основной частью многих хирургических процедур (Кнеebone, 2003), особенно в хирургической стоматологии. В виртуальной реальности ведется приобретение и оценка навыка в безопасной среде; студенты, а также инструкторы могут составить удобный для них и гибкий график обучения. Виртуальные симуляторы предоставляют студентам возможность осуществлять стоматологические процедуры и наблюдать за результатами, не причиняя боль пациенту. Симуляторы позволяют также отрабатывать необходимые техники несколько раз, предлагают инструкторам различные способы обучения, а также

предоставляют возможность количественно оценить работу студента (Snow и соавторы, 1996; Suvinen и соавторы, 1998; Buchanan, 2001; Quinn и соавторы, 2003). Развить необходимые навыки можно только путем освоения двух важных аспектов: знания основных методологий стоматологических процедур и ловкости при их осуществлении (Johnson и соавторы, 2000). Возможности выполнения стоматологических манипуляций для студентов-стоматологов ограничены (Buchanan, 2001). Виртуальная реальность симулятора ВокселМан, который изначально был сконструирован для виртуального проведения хирургических операций на среднем ухе (Leuwer и соавторы, 2001; Jackson и соавторы, 2002), была адаптирована для обучения в

области хирургической стоматологии, и была признана рядом специалистов весьма реалистичной (Heiland и соавторы, 2004). Для оценки стоматологического применения симулятора ВокселМан в качестве контрольного испытания была выбрана виртуальная процедура резекции верхушки корня зуба, поскольку эта процедура проводится довольно часто в стоматологии (Gaggl и соавторы, 2007; Pitak-Arnpor и соавторы, 2010) и пригодна для симуляции. Несмотря на то, что удаление зуба является наиболее распространенной хирургической манипуляцией в стоматологии, воспроизвести ее на этой модели сложно.

Johnson и соавторы предложили начинающим стоматологам использовать симуляции более низкого уровня для того, чтобы расширять изначальные знания и повышать уровень реалистичности симуляций по мере совершенствования приобретенных студентами навыков (Johnson и соавторы, 2000). В соответствии с этим предложением сложная процедура резекции верхушки корня зуба была упрощена для настоящего обучения.

Учебное задание состояло в обеспечении доступа к верхушке корня зуба на нижней челюсти без повреждения соседних зубов и нижнего альвеолярного нерва. После виртуальной резекции верхушки корня зуба на симуляторе ВокселМан пятьдесят студентов-стоматологов высказали свое мнение о данной технике обучения. Все из них по меньшей мере один раз наблюдали за процедурой резекции верхушки корня зуба и теперь получили возможность применить свои теоретические знания о данной операции на практике, используя симулятор.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

### **Модель черепа**

Для нашего исследования мы создали виртуальную воксельную (воксел – объемный изобразительный элемент, объемный пиксел) модель черепа в соответствии с набором данных о черепе человека, полученных при проведении компьютерной томографии (КТ). Расстояние между слоями и толщина сечения составляют 1 мм, а размер трехмерной матрицы 512 x 512. Из этих данных была разработана объемная модель размером 512 x 512 x 470 вокселей с изотропным, объемным разрешением 0.4 мм. При использовании системы ВокселМан для визуализации и сегментации зубы и нижние альвеолярные нервы были разделены на представленной модели на сегменты, то есть были представ-

лены как отдельные объекты. Воспаления тканей около верхушки корня зуба были имитированы как искусственные шарообразные объекты на зубах 23, 25, 35, 36. Используя алгоритм, описанный в предыдущих работах (Tiede и соавторы, 1998), органы были отображены в «субвоксельном» разрешении, то есть разрешение превышало изначальные данные, и, таким образом, обеспечивалось высокое качество изображения.

### **Симулятор бормашины**

Для отработки навыков сверления зубов мы использовали виртуальный симулятор ВокселМан. Для него были разработаны специальные алгоритмы построения объемного изображения черепа (Pflesser и соавторы, 2002) и обеспечения обратной тактильной связи (Rosen и соавторы, 1999; Thomas и соавторы, 2001). Используя сенсорное устройство PhantomDesktop, пользователь может манипулировать симулируемой бормашиной, получая обратную тактильную связь при сверлении зуба. Пользователи в стереоскопическом режиме следят за изображением на экране через зеркальную плоскость. Поскольку сенсорное устройство расположено под зеркальной плоскостью, эргономика проведения манипуляции практически идентична реальному расположению пациента, углу наблюдения хирурга и направлению руки (Рис.1). Симулятор позволяет выбрать направление наблюдения и визуально увеличить область проведения операций. Скорость вращения бормашины регулируется ножной педалью. Как и в реальности, можно выбрать различные виды бормашин. В зависимости от навыков студента система симуляции может работать в трех разных режимах: основной курс обучения, продвинутый курс и экзамен. В основном курсе особо чувствительные органы (в нашем случае – нижние альвеолярные нервы) выделены цветом. При приближении они просвечиваются через зубы, а при прикосновении – раздается звуковой сигнал. На «Области наблюдения» (Рисунок 2, внизу) курсант видит непосредственное взаимодействие бормашины с частями челюсти. Он также может наблюдать за сверлением по изображению трех ортогональных слоев в компьютерной томографии (Рисунок 2, правый ряд), которые меняют свое положение при сверлении. На экране также отображаются объекты, к которым курсанты прикоснулись по ошибке. В продвинутом курсе некоторые функции помощи отключены, а в режиме экзамена курсант видит только область проведения операций, как и в реальности. Однако, в отличие от реальной процедуры сверления зубов, симулятор поз-

воляет пользователю не только записывать конечный результат, но и сохранять запись о всей процедуре. Преимуществ очень много: действия, которые были выполнены неверно, можно отменить и попробовать осуществить еще раз. Вся процедура можно выполнить заново. В любое время можно остановить действие и возобновить сверление. Симулятор также позволяет сохранить в базе удачные и неудачные варианты работ.



Рис. 1. Симулятор ВокселМан: эффект виртуальной 3D-реальности создается при помощи 3D-очков и зеркального отображения экрана компьютера, позволяя пользователю осуществлять операции с виртуальным объектом под зеркальной плоскостью.

### Групповое обучение и анкетирование

С целью проведения контрольных испытаний этого виртуального симулятора, предназначенного для обучения в хирургической стоматологии, а также для получения мнений от пользователей симулятора, для участия на добровольной основе были приглашены студенты-стоматологи, которым был предоставлен доступ к симулятору. В данном испытании принимало участие пятьдесят три студента-стоматолога с разных курсов обучения (21 мужчина и 32 женщины). Сорок семь из них ранее не проводили резекции верхушки корня зуба. Студентов поделили на небольшие группы по четыре человека и предоставили один симулятор. После проведения виртуальной резекции верхушки корня зуба, курсантов попросили заполнить анкету и оценить симулятор. В анонимной анкете студенты указали пол, курс обучения и предыдущий практический опыт работы в челюстно-лицевой хирургии. Оценка симулятора ВокселМан был проведена в соответствии со следующей шкалой (от 1: очень эффективный / очень реалистичный / достаточный / очень желательный до 5: неэффективный /

нереалистичный / недостаточный / нежелательный). Студенты предоставили оценку виртуальной реальности как дополнительной модели обучения, оценку смоделированной обратной связи, пространственного 3D-изображения, разрешения и интегрирования дальнейших патологических симптомов. В дополнение к этому, студенты могли представить свои предложения по дальнейшей разработке симулятора.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Согласно оценке, предоставленной в анкете, 51 студент (92.7%) порекомендовал использовать виртуальный симулятор в качестве дополнительного метода обучения стоматологов. 43 из 53 студентов (81.1%) оценили тактильную обратную связь на симуляторе ВокселМан как хорошую или очень хорошую. Обратная тактильная связь очень реалистичная благодаря чувствительности при прикосновении с объектами и изменчивости параметров сверления, например, скорости вращения бормашины, расположения удаленной структуры по отношению к бормахине и количество удаленной ткани. Объемность изображения – эффект трехмерного пространства – достигался при использовании 3D-очков. Большинство (46/53, 86.8%) оценило 3D-изображение как хорошее или отличное.

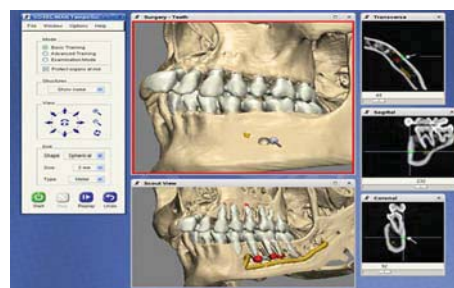


Рис. 2 – Взаимодействие пользователя с симулятором: «Область наблюдения» внизу демонстрирует взаимодействие бормашины или поверхности разреза с частью челюсти. Справа положение бормашины представлено в реальном времени в КТ мультипланарных реконструкциях.

Область проведения операций может быть увеличена в 20 раз, позволяя виртуально проводить хирургические вмешательства в условиях микрохирургии. Эта функция симулятора очень часто использовалась студентами при обучении. Симулятор дает возможность оценить любой аспект хирургической процедуры после проведения операции, например, посмотреть снимок выполненной студентом процедуры сверления.

Никакой связи между оценкой симулятора, курсом обучения или опытом в хирургии студентов не было выявлено. В таблице 1 представлено краткое описание результатов оценки. В целом, студенты предоставили

хорошие отзывы о симуляторе и рекомендовали практиковать на нем прочие хирургические операции.

Таблица 1. Результаты оценки по анкете:

- (А) оценка виртуальной реальности как средства дополнительного метода обучения (1 очень эффективный ... 5 неэффективный).  
 (В) Обратная силовая связь на симуляторе (1 очень реалистичная ... 5 нереалистичная).  
 (С) Пространственно-объемное 3D-изображение (1 очень реалистично ... 5 нереалистично).  
 (D) Разрешение (1 достаточное ... 5 недостаточное).  
 (Е) Интеграция дальнейших патологических симптомов (1 очень желательна ... 5 нежелательна).

	Оценки (кол-во = 53 студента-стоматолога)				
	1	2	3	4	5
(А) Оценка виртуальной реальности как дополнительного метода обучения	Кол-во = 39 <b>73.5%</b>	Кол-во = 12 <b>22.6%</b>	Кол-во = 2 <b>3.7%</b>	Кол-во = 0 <b>0%</b>	Кол-во = 0 <b>0%</b>
(В) Обратная тактильная связь симулятора	Кол-во = 18 <b>34%</b>	Кол-во = 25 <b>47.1%</b>	Кол-во = 7 <b>13.2%</b>	Кол-во = 3 <b>5.6%</b>	Кол-во = 0 <b>0%</b>
(С) Пространственное 3D-изображение	Кол-во = 20 <b>37.7%</b>	Кол-во = 26 <b>49%</b>	Кол-во = 5 <b>9.4%</b>	Кол-во = 2 <b>3.7%</b>	Кол-во = 0 <b>0%</b>
(D) Разрешение	Кол-во = 29 <b>54.7%</b>	Кол-во = 20 <b>37.7%</b>	Кол-во = 4 <b>7.5%</b>	Кол-во = 0 <b>0%</b>	Кол-во = 0 <b>0%</b>
(Е) Интеграция дальнейших патологических симптомов	Кол-во = 50 <b>94.3%</b>	Кол-во = 3 <b>5.6%</b>	Кол-во = 0 <b>0%</b>	Кол-во = 0 <b>0%</b>	Кол-во = 0 <b>0%</b>

## ОБСУЖДЕНИЕ

Испытуемая группа состояла из студентов-стоматологов без практического опыта проведения настоящих хирургических операций, которые до этого практиковали свои навыки на искусственных моделях, сделанных из пластика и резины. Перед внедрением такой новой системы обучения в учебных заведениях необходимо предпринять дальнейшие меры по получению лицензии.

Недавнее исследование показало, что виртуальное обучение с использованием симулятора ВокселМан улучшает практические навыки начинающих специалистов (Von Sternberg и соавторы, 2007). Целью настоящего исследования является оценка системы студентами нового метода обучения в хирургической стоматологии, в дополнение к существующим видам – теоретическим занятиям и ассистенции в ходе реальных хирургических операций.

С точки зрения студентов симулятор ВокселМан является отличным средством обучения в хирургической стоматологии. Система основана на выборе трехмерных моделей черепа, выбранных в соответствии с набором данных о черепе человека, полученных при проведении компьютерной томографии (Santler, 2000; Nilsson и соавторы 2004). Область проведения операций находится в пре-

делах видения студентов и демонстрируется в стереоскопическом режиме через зеркальную плоскость, и студент контролирует направление бормашины при помощи устройства обратной тактильной связи. Таким образом, виртуальная процедура становится практически идентична реальной, в особенности расположение пациента, угол наблюдения хирурга и направление руки. Устройство обратной тактильной связи (симулирование давления) создает ощущения, максимально приближенные к реальности. По сравнению с принятыми методами обучения (Quinn и соавторы, 2003; Rosenberg и соавторы, 2005) обучение с использованием симулятора ВокселМан имеет ряд преимуществ. Симулятор можно использовать для имитирования как обычных операций, так и патологических случаев. Симулятор дает возможность добавить виртуальные патологические случаи в базу данных для расширения объема симулируемых хирургических процедур. Различные режимы работы симулятора, которые выбираются исходя из навыков студентов, делают систему доступной как для новичков, так и для более продвинутых пользователей. Более того, существует возможность записать вмешательство, его можно в любой момент продолжить, откорректировать или начать заново. Это виртуальное обучение позволяет оценивать собственные навыки, повторять процедуры неограниченно.

ное количество раз и сравнивать свои результаты с результатами других пользователей (Buchanan, 2001). Использование виртуального симулятора уменьшает количество регулярных закупок расходных материалов для учебного процесса.

Результаты исследования показывают, что студенты-стоматологи в целом удовлетворены методом обучения с использованием симулятора. Seymour и соавторы пришли к выводу, что использование хирургического симулятора в виртуальной реальности для достижения конкретной цели существенно улучшило качество проводимых ординаторами процедур в операционной. В случае успешной отработки практических навыков на виртуальном симуляторе и использования приобретенного опыта непосредственно в операционной симуляторы могут применяться для более тонкой работы, для оценки, обучения, устранения ошибок и получения свидетельства (Seymour и соавторы, 2002). Результаты нашего исследования подтверждают доводы о том, что виртуальное обучение рабочих навыков может стать поворотным пунктом в подготовке хирургов (Lo и соавторы, 1994; Leblanc и соавторы, 2003). Виртуальный симулятор предоставляет прекрасную возможность обучить студента-стоматолога практическим навыкам действительно высокого уровня перед тем, как он или она приступят к проведению операций на реальном пациенте. В ближайшем будущем студенты-стоматологи смогут проходить подобное обучение в любое время, и их навыки будут постоянно оцениваться на симуляторе до достижения необходимого уровня мастерства в выбранном аспекте.

Безусловно, для продвижения такого виртуального метода обучения в стоматологии необходимо разрабатывать усовершенствованные модели виртуальной реальности, помимо простых моделей для начинающих. Недавние разработки в технологии получения изображений и хирургических вмешательств предлагают образцы разных типов симуляторов для обучения будущих хирургов (Seipel и соавторы, 1998; Rabinov и соавторы, 2004). Обучение на основе симуляторов дает возможность усовершенствовать практические навыки в области здравоохранения.

## ВЫВОДЫ

На примере резекции верхушки корня зуба можно сделать вывод, что даже на сложных анатомических моделях возможно провести реалистичное имитирование хирургических стоматологических процедур. Дальнейшая разработка симулятора ВокселМан в сфере создания новых стратегий обучения начинающих стоматологов и медиков позволяет сформировать новый инструмент обучения, как подходящее дополнение к принятым методам обучения студентов-стоматологов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Buchanan JA: Use of dental simulation technology in dental education. *J Dent Educ* 65: 1225e1231, 2001
2. Gaggi A, Weiglein A, Kahr H, Chiari FM: Apical capping as a new technique for retrograde treatment of an infected root apex: introduction and first results. *J Craniomaxillofac Surg* 35(4e5):212e217, 2007
3. Jackson A, all. Developing a virtualreality environment in petrous bone surgery: a state of the art review. *OtolNeurotol* 23: 111e121, 2002
4. Johnson L, Thomas G, Dow S, Stanford C: An initial evaluation of the Iowa dental surgical simulator. *J Dent Educ* 64: 847e853, 2000
5. Kneebone R: Simulation in surgical training: educational issues and practical implications. *Med Educ* 37: 267e277, 2003
6. Leblanc VR, Urbankova A, Hadavi F, Lichtenthal RM: A preliminarystudy in using virtual reality to train dental students. *J Dent Educ*68: 378e383, 2003
7. Leuwer R, Pflesser B, Urban M: Stereoscopic simulation of ear surgeryintervention with a novel 3D computer models. *Laryngorhinootologie* 80: 298e302, 2001
8. Lo LJ, Marsh JL, Vannier MW, Patel VV: Craniofacial computerassisted surgical planning and simulation. *ClinPlastSurg* 21:501e516, 1994
9. Nilsson T et all.: Virtual reality forsimulation of radiographic projections: validation of projectiongeometry. *Dentomaxillofac Radiol* 33: 44e50, 2004
10. Pflesser B, Leuwer R, Petersik A, Tiede U, Höhne KH: A computerbasedsimulation for petrous bone surgery with haptic feedback. *Comput Aided Surg* 7: 117, 2002
11. Quinn F et all.: A pilot study comparingthe effectiveness of conventional training and virtual realitysimulation in the skills acquisition of junior dental students. *Eur J Dent Educ* 7: 13e19, 2003
12. Rosenberg H,et all: The effectiveness of computer-aidedlearning in teaching orthodontics: a review of the literature. *Am J Orthod* 127: 599e605, 2005
13. Santler G: 3D COSMOS: a new 3D model based computerizedoperation simulation and navigation system. *J CraniomaxillofacSurg* 28: 287e293, 2000
14. Seymour NE, Gallagher AG, Roman SA, O'Brien MK, Bansal VK, Andersen DK, Satava RM: Virtual reality training improvesoperating room performance. *Ann Surg* 236: 458e464, 2002
15. Snow MD, Graham JA, Yates WJA: Interactive computer technologies in dentistry: virtual reality in orthodontics. *Stud Health TechnolInform* 29: 411e421, 1996
16. Suvinen TI, Messer LB, Franco E: Clinical simulation in teachingpreclinical dentistry. *Eur J Dent Educ* 2: 25e32, 1998
17. Thomas G, Johnson L, Dow S, Stanford C: The design and testing of a force feedback dental simulator. *Comput Methods ProgramsBiomed* 64: 53e64, 2001
18. Von Sternberg N, et all: Learning bydoingvirtually. *Int J Oral MaxillofacSurg* 36: 386e390, 2007