

ния и разгибания голени. Проведен курс лечения с БОС — 20 сеансов в течение 4 нед. Движения в коленном суставе восстановлены в объеме: активное сгибание 110°, пассивное — 90°. Данные электромиографии (рис. 3, б) свидетельствуют о положительной динамике в биоуправлении сгибателями и разгибателями голени.

Использование БОС по ЭМГ позволило нам значительно сократить срок восстановления рефлекса растяжения и реципрокного торможения антагонистов, а также ускорить коррекцию сформировавшихся контрактур суставов. Общая продолжительность БОС-терапии напрямую зависела от величины произведенного удлинения. Критерием нормализации биоуправления функцией удлиняемой конечности служило восстановление нормальных соотношений электромиографических показателей активности мышц-антагонистов. Минимальный срок достижения результата в наших наблю-

дениях составил 2 нед (10 сеансов), максимальный — 4 нед (20 сеансов). Как правило, к этому времени появлялись уверенные произвольные движения конечностью, восстанавливался нормальный акт ходьбы, достигался угол активного сгибания 90° и более.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бережной А.П., Меерсон Е.М., Юкина Г.П., Раззоков А.А. Остеохондродисплазия у детей. — Душанбе, 1991. — С. 135-139.
2. Гранит Р. Основы регуляции движения. — М., 1973. — С. 54-67.
3. Дудел Дж., Рюзгг И., Шмидт Р., Яниг В. Физиология человека. — М., 1985. — Т. 1. — С. 113-134.
4. Селье Г. Очерки об адаптационном синдроме. — М., 1960. — С. 58-66.
5. Шевцов В.И., Макушин В.Д., Арапович А.М., Кечуров О.К. Хирургическое лечение врожденных аномалий развития берцовых костей. — Курган, 1998. — С. 197-211.
6. Houk J., Henneman T. // J. Neurophysiol. — 1967. — Vol. 30 — P. 466-481.

© Коллектив авторов, 2000

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАВИГАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ: СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Г.И. Назаренко, А.М. Черкашов, А.Г. Назаренко

Медицинский центр Центрального банка Российской Федерации, Москва

---

*Изложены основы проектирования навигационных технологий в травматологии и ортопедии. На примере применения навигации при фиксации позвоночника транспедикулярными конструкциями показаны преимущества современных технологий перед классическими технологиями оперативного лечения патологии позвоночника. Предложены критерии для сравнительной характеристики навигационных систем. Проведен анализ конкретных навигационных систем. Обоснована целесообразность создания региональных хирургических центров навигационного планирования, которые могут сотрудничать с клиниками, где проводится оперативное лечение с использованием навигационных программных комплексов. Это исключает необходимость оснащения клиник дорогостоящим диагностическим оборудованием, сохраняя преимущества навигационных систем.*

*The basis of the projection of navigation technologies in traumatology and orthopaedics are presented. The stages for the application of navigation technologies for the planning and performance complex surgical interventions which have traditionally rather high rate complications are described in details. Application of navigation program methods allows to achieve the main aim of modern surgery, i.e. treatment quality and provision of patient's safety. The organization of region surgical centers for navigation planning is substantiated.*

---

Навигационные технологии — приоритетное направление современной хирургии. Нейрохирургия, ортопедия, кардиохирургия, оториноларингология — далеко не полный перечень разделов хирургической науки, где навигационные технологии, перейдя из разряда эксперимента, прочно заняли свое место в клинической практике.

Между тем, для отечественной травматологии и ортопедии это направление новое. Отсутствует не только опыт практического использования навигационных технологий, но и информация, на основании которой можно было бы реализовать проект такого типа. Последнее обстоятельство является весьма важным, поскольку полная стоимость подобных проектов исчис-

ляется миллионами долларов, а отсутствие даже малозначительных на первый взгляд компонентов может привести к бесполезной трате средств, простую дорогостоящего оборудования и, что самое главное, к невозможности оказать пациентам необходимую им медицинскую помощь на современном уровне.

Наша статья имеет целью в какой-то мере восполнить этот пробел.

Под проектированием навигационных технологий понимается процесс выбора состава аппаратных и программных средств, совокупность которых позволила бы не только реализовать идею «хирургической навигации» по существу, но и сделать это с минимальными затратами.

*Навигация* — наука о вождении судов и летательных аппаратов. Целью навигации является повышение безопасности передвижения в пространстве. Применительно к хирургии это повышение безопасности операции, а следовательно, и качества оказываемой помощи — ключевой момент работы врача в операционной. Таким образом, цель разработки навигационных систем для хирургии — обеспечение максимально возможной безопасности больного во время оперативного вмешательства.

Примечательно, что история навигационных технологий, вопреки бытующим представлениям, уходит корнями в историю спинального (ортопедического), а не интракраниального (классического нейрохирургического) стереотаксиса.

Создателями стереотаксической хирургии принято считать V. Horsley и R.H. Clarke. При работе на животных ими была заложена база, опираясь на которую в 1947 г. Ernest и соавт. смогли реализовать основные принципы стереотаксиса на людях (был создан стереоэнцефалотом).

Однако задолго до этого, еще в 1908 г., в журнале «Brain» появилась заметка о первых попытках применения принципов стереотаксиса именно при изучении позвоночника. Самые ранние документально подтвержденные сведения об использовании принципа приборов наведения для обеспечения прямого прохождения зондов к выбранной мишени можно обнаружить в публикации Dittmar, относящейся к 1873 г. Работая в институте физиологии в Лейпциге, он занимался изучением прохождения вазоконстрикторов в позвоночном канале при помощи проведенного в позвоночник небольшого скальпеля, соединенного с системой наведения. Несмотря на то что его система не была основана на истинной системе координат, его зонды имели три прямоугольные степени точности. В том же институте Woroshiloff сконструировал собственный инструмент, названный «миелотомом», который он применял для выполнения доступов к позвоночному каналу при

операциях на кроликах. Специальное фиксационное устройство требовало хирургического обнажения позвоночника и закреплялось за остистые отростки. Прикрепление устройства к зажимам в продольной плоскости позволяло выполнять точные движения двум скальпелям в горизонтальной и вертикальной плоскости. Затем эти скальпели заменили на электроды для проведения экспериментов по электростимуляции. Устройства Woroshiloff и Dittmar являются предшественниками истинного стереотаксиса, идею которого через много лет использовали Horsley и Clarke.

Фундаментальный принцип стереотаксиса — возможность переносить любую точку в пространстве в заданную систему координат при помощи точных измерений. Первый истинно стереотаксический инструмент для позвоночника был создан Clarke в 1920 г. Аппарат сконструирован им при попытке перенести на позвоночник те принципы, на которых были основаны его инструменты для работы на мозге. Устройство состояло из рамы с четырьмя вращающимися ножками, закреплявшимися за хирургически выделенный позвонок. Параллельно поверхности позвоночника располагалась движущаяся платформа (сцепленная с рамой), которая поддерживала иглодержатель, способный последовательно передвигаться по нанесенным делениям в трех плоскостях.

Как и в случае с краниальными процедурами, применение спинального стереотаксиса первоначально ограничивалось нейрофизиологическими экспериментами. После того как в 1947 г. Spiegel и соавт. представили стереоэнцефалотом, появилась потребность в клинической реализации стереотаксиса. Однако развитие спинального стереотаксиса в этот момент задержалось в силу многих объективных причин. Основная из них была связана с неудачей при попытке создания стереотаксического атласа. Другим «препятствием» — вследствие своей подвижности — был сам позвоночник. Ситуация оставалась неизменной до 1963 г., когда Mullan и соавт. описали методику чрескожной хордотомии и закрытые операции на позвоночнике стали клинической реальностью. Однако предложенные боковые методики, а позже и передний доступ [16] не представляли собой истинного стереотаксиса, так как основывались на использовании радиографических и анатомических ориентиров для облегчения прохождения иглы, а не выполнялись при помощи приборов наведения.

Вскоре после представления чрескожной хордотомии появилась информация о выполнении истинной стереотаксической операции на позвоночнике. В 1965 г. Rand и соавт. (Университет Калифорнии, Лос-Анджелес) сообщили о двух

случаях применения стереотаксической системы наведения Rand—Wells II при осуществлении криогенной деструкции межпозвонковых дисков в шейном отделе позвоночника. В 1972 г. Nadvornic и соавт. создали прибор для выполнения стереотаксических операций на поясничном отделе позвоночника. В 1981 г. Nashold и Cosmam разработали и протестировали спинальный стереотаксический инструмент, собранный корпорацией «Radionics». В 1990 г. финский нейрохирург Heikkinen сообщил о своей методике, в которой использовалась стандартная рама, прикрепленная к операционному столу. Нанося ориентиры на спину пациента и используя данные предоперационных КТ-исследований, он получал все три стереотаксические координаты. С появлением безрамочного стереотаксиса клиническая целесообразность стереотаксической технологии возросла еще более. Постепенно стали появляться сообщения об использовании стереотаксиса при проведении транспедикулярной фиксации [20, 21].

Преимущества нового направления применительно к ортопедии может быть проиллюстрировано на примере оперативной фиксации нескольких позвоночных сегментов транспедикулярными конструкциями. В настоящее время этот метод считается приоритетным при лечении врожденных и приобретенных деформаций пояснично-крестцового отдела позвоночника (спондилолистез, сколиоз, кифоз), нестабильных форм дегенеративного поражения межпозвонковых дисков, связочно-суставного аппарата поясничного отдела позвоночника. Он эффективен также в случаях, когда имеет место компретация заднего опорного комплекса позвоночного сегмента, нарушение стабильности смежных позвонков и необходима фиксация соответствующего отдела позвоночника

(травма, удаление секвестров из позвоночного канала, пролапсы межпозвонковых дисков и т.д.).

Суть операции состоит в проведении винтов через корень дуг в тело позвонка с последующей коррекцией и стабилизацией позвоночного сегмента несущими конструкциями. Данный метод позволяет в значительной степени сократить продолжительность постельного режима, быстро начать реабилитацию больного, существенно (в 2–3 раза) снизить срок временной нетрудоспособности и частоту выхода на инвалидность. Успех операции зависит прежде всего от точности проведения винтов. В этом плане представляют интерес данные морфологического изучения нормальных позвоночных столбов взрослых людей [23], приведенные в табл. 1.

Диаметр винтов, вводимых в дуги, колеблется от 5 до 6,5 мм. Как видно из табл. 1, возможен такой вариант, когда диаметр дуги будет практически равен диаметру винта или даже меньше него. В первом случае малейшее отклонение от оптимальной траектории введения винта в тело позвонка приведет к проникновению режущей кромки в позвоночный канал. Во втором случае введение винта невозможно. Очевидно, и это подтверждают данные литературы, что опора на видимые наружные ориентиры и опыт хирурга для столь прецизионных манипуляций — часто аргумент в пользу отказа от их выполнения [27].

Анализ литературы показывает, что частота осложнений при транспедикулярной фиксации достаточно высока — около 16–20% [1, 4, 8, 12, 13, 15, 17, 22, 24, 26]. По сведениям Carl и Khanija [3], неврологические осложнения возникают в 1,5–6%, биомеханически неадекватная фиксация имеет место в 31% случаев. Согласно данным Matsuzaki и соавт. [17, 18], переломы дуг и кровотечения отмечаются в 3–19% случаев. Частота осложнений, вызванных неправильным проведением винтов, варьирует от 4% [19] до 21% [25]. По данным George и соавт. [11], переломы дуги возникают в 11% случаев. Частота повреждения нервных элементов, по сообщению Graham и соавт. [12], составляет 14%.

Логично, что в этой и других подобных ситуациях остро востребованной оказалась разработка нового направления в травматологии и ортопедии (и в частности в вертебрологии) — стереотаксической навигационной хирургии, основу которой составляют навигационные системы.

Опираясь на тот же пример, подчеркнем, что навигационные системы обеспечивают возможность предоперационного планирования проведения винта с учетом анатомических особенностей элементов позвонка. Выбор оптимальной траектории проведения винта значительно уменьшает вероятность возникновения операционных осложнений,

Т а б л и ц а 1

Размеры дуг позвонков в аксиальной плоскости у взрослых людей

Позвонок	Минимальный диаметр дуг позвонков на разных уровнях, мм			
	мужчины		женщины	
	среднее значение	пределы колебаний	среднее значение	пределы колебаний
T1	6,4	4,1–9,1	7,3	4,0–9,0
T3	3,4	2,0–5,5	3,9	3,1–5,2
T6	3,0	1,1–5,0	3,5	1,8–6,0
T9	4,1	1,9–7,5	3,9	2,0–5,3
T12	7,2	4,1–10,6	7,4	3,5–10,4
L1	6,5	3,8–10,8	8,3	6,0–11,9
L3	7,9	4,0–10,1	9,1	6,4–12,0
L5	10,2	8,1–13,6	9,7	6,4–14,7

повышая тем самым безопасность хирургического вмешательства [2, 3, 5–7, 9–11, 28]. По данным Lain и соавт. [14], частота осложнений при использовании нейронавигации в 3,5 раза ниже, чем при применении обычных методик.

Сущность навигационной технологии сводится к следующему. Пациенту проводится полноценное обследование, включающее рентгенографию, компьютерную и магнитно-резонансную томографию пораженной области. Далее идет этап предоперационного планирования.

При использовании классической схемы (рис. 1) планирование заключается в выборе уровня фиксации, подборе винтов необходимой длины. В случае использования навигационного программного комплекса планирование выглядит иначе. Результаты лучевого обследования пациента (КТ, МРТ) в цифровом виде переносятся в специализированный компьютер (рабочую станцию). На монитор выводятся любые двух- или трехмерные изображения (по усмотрению врача) пораженного отдела позвоночника, при этом визуализируются все без исключения анатомические структуры — кость, мышцы, нервы, сосуды. По этим изображениям намечается наилучший доступ к оперируемому участку, оптимальная траектория проведения винтов.

Таким образом, планирование — это виртуальная версия реальной операции, выполненная в условиях трехмерной или двухмерной

реконструкции всех анатомических образований конкретного пациента, визуализированных лучевыми методами диагностики.

В операционной перед разрезом осуществляется электронная регистрация используемого хирургического инструментария — зондов, дрели, метчика, отвертки и др. Регистрация — это компьютеризированный технологический процесс, состоящий в сопоставлении и ориентации любых предоперационных изображений, индивидуальных характеристик инструмента (его длины, геометрической конфигурации, диаметра рабочей поверхности) и интеграции его с намеченным планом хирургического вмешательства, положением пациента на операционном столе. Целью регистрации является постоянное отслеживание инструментов в оперируемой области. Регистрация инструмента необходима как перед началом операции, так и в случае интраоперационной замены инструмента.

В изученных нами навигационных системах вопрос проведения регистрации решен по-разному. Например, калибровка инструмента в системе Vector Vision осуществляется при помощи универсальных регистраторов (гибких зажимов-адаптеров). Это позволяет значительно ускорить процедуру регистрации. Для калибровки инструмента хирургу достаточно поместить его в соответствующую ячейку в калибрующей матрице (Instrument Calibration Matrix), и система сама проведет калибровку. Эта методика была



Рис. 1. Различия классической и навигационной технологий выполнения оперативного пособия.

разработана в рамках совместного проекта компаний «BrainLab» и «Phillips-University» (Германия). Автоматически калибруется правильный вектор, наконечник и диаметр инструмента. В системе OTS («Radionics») регистрация проводится посредством фиксации инструмента в специальном устройстве, прикрепленном к рабочему столу.

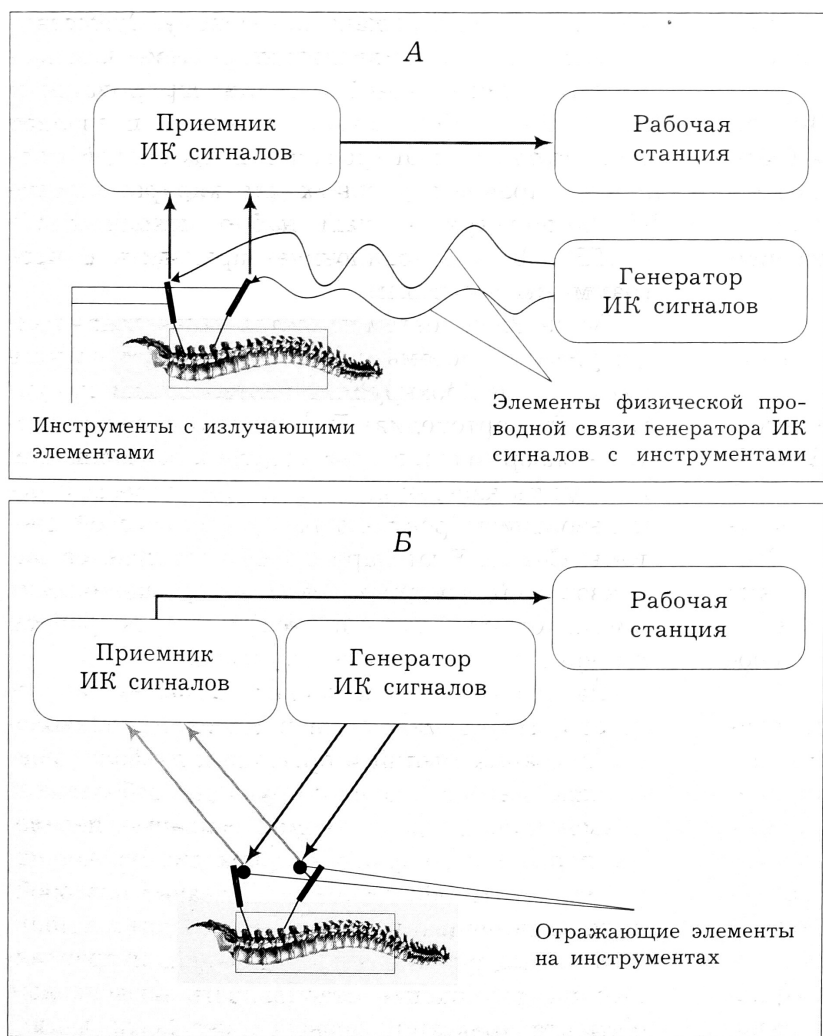
Необходимым условием выполнения операции при использовании навигационной платформы является непрерывный контроль за местоположением инструмента в операционном поле. Технически эта задача решается по-разному. Некоторые фирмы снабжают инструменты диодами, излучающими инфракрасные сигналы, которые фиксируются камерой, расположенной в операционной и связанной с навигационной платформой. В этом случае необходим электрический кабель, через который осуществляется питание и синхронизация диодов (рис. 2). В данной ситуации в области операционного

поля может находиться избыточное количество проводов, которые затрудняют работу хирурга. Иное техническое решение сводится к использованию инфракрасных рефлекторов, отражающих сигнал, который фиксируется камерой. При таком подходе электрические кабели не требуются.

После оперативного доступа к костным структурам позвоночника — скелетирования задних элементов позвонков — необходимо провести регистрацию оперируемого участка. В данном случае ее осуществляют, отмечая точки на анатомических ориентирах (остистые, суставные, поперечные отростки, дуги позвонков и др.), или путем маркировки непосредственно самой поверхности. Маркировка по поверхности предпочтительнее, так как при этом определение выбранных анатомических точек и передача соответствующей информации в рабочую станцию происходит автоматически. Результатом является полная регистрация без необходимости точного нахождения известных ориентиров. Этот полностью автоматический алгоритм требует всего от 8 до 12 точек («BrainLab»).

После выполнения перечисленных манипуляций производится основной этап хирургического вмешательства — проведение винтов в тела позвонков. При этом проявляются все преимущества навигационной хирургии. Виртуальное объединение оперируемого пациента и хирурга позволяет с предельной точностью (0,25 мм) в реальном времени показывать направление продвижения и расположение инструмента по отношению к здоровым и патологическим тканям. Объемная компьютерная модель операционного поля может рассматриваться под любым углом, с помощью системы кругового обзора можно увидеть расположение тканей в радиусе 5, 10, 15 мм от местоположения инструмента. Все это приводит к уменьшению агрессии со стороны хирурга по отношению к здоровым тканям при максимально эффективном оперативном воздействии на патологически измененные структуры. В итоге значительно повышается качество и безопасность хирургического вмешательства.

В настоящее время производством навигационных систем занимаются несколько компаний. Полувековой труд многих ученых по соединению принципов стереотаксиса с достиже-



**Рис. 2.** Схема различных технических решений контроля местоположения инструмента в навигационной хирургии.

А — проводная технология, базирующаяся на излучении инфракрасных (ИК) сигналов инструментами; Б — беспроводная технология, базирующаяся на отражении инфракрасных сигналов инструментами.

ниями компьютерных методов лучевой диагностики воплотился в создании конкретных навигационных систем. Одной из первых была создана нейронавигационная платформа Stealth Station, производителем которой является компания «Sofamor Danek». Компания была образована в апреле 1973 г. Первая установка (опытный образец) выпущена в мае 1994 г. Начало серийного производства — январь 1996 г. Первыми установками были оснащены клиники в Мемфисе (США) — март 1996 г. и Гренобле (Франция) — апрель 1996 г. К настоящему времени выпущено и реализовано 580 установок, из них 240 приобретены профильными клиниками США.

Успешно работают в области развития навигационной хирургии также компании «Radionics», «BrainLab» и др. Компания «Radionics» (США), основанная в 1938 г., завоевала известность производством оборудования для нейро- и кардиохирургии. Во многих учебниках по хирургии (Sabiston Textbook) в главах, посвященных нейрохирургии, упоминается о созданной этой компанией «Operating Arm» («оперирующей руке») для выполнения прицельных биопсий и пункций мозга. «BrainLab» (США) — сравнительно молодая по западным меркам компания (основана в 1989 г.), но уже прочно закрепившаяся в числе лидеров по производству навигационных систем. За время своего существования она уже выпустила две модели навигационных систем — Vector Vision-1 и Vector Vision-2.

Таким образом, лидерами в производстве навигационных систем, бесспорно, являются три основных производителя: «Radionics» (Optical Tracking System), «Sofamor Danek» (Stealth Station) и «BrainLab» (Vector Vision-2). Лидерство определяется числом установленных в клиниках систем и уровнем их совершенства. Исключительно важным представляется создание набора критериев для получения сравнительной характеристики систем. Результаты этой работы сведены в табл. 2.

Технические характеристики систем включают в себя вид используемой компьютерной платформы, монитора, способ передачи данных, возможность интеграции системы в локальную сеть, способ ввода, обработки и хранения видеoinформации, принципы пространственной ориентации и ее точность. Существенный момент — наличие интерфейса с имеющимся в клинике микроскопом и функции его отслеживания. Принципиальное значение для хирурга имеет наличие универсальных регистраторов инструмента и функции, позволяющей постоянно отслеживать рабочий конец инструмента.

Немаловажным является также способ управления программой (мышшь-зонд, педаль или сен-

сорный экран). Навигационная система должна быть максимально проста в управлении, не добавлять сложностей, а помогать хирургу в выполнении стоящих перед ним задач. Это обуславливает важность такой технической характеристики, как возможность определения координат без использования электропроводов, что обеспечивается наличием пассивных отражателей регистраторов инструмента. Полностью «беспроводное» решение этого вопроса облегчит работу хирурга в операционной, где уже и так много инструментов, связанных проводами с базой, — электрокоагулятор, электродрель, вакуумный отсос. Способ управления программой через сенсорный экран, защищенный стерильным чехлом, представляется нам наиболее удобным, он не требует постоянного присутствия специального оператора в процессе хирургического вмешательства.

Предлагаемая навигационной системой возможность тщательного планирования каждой операции с учетом данных конкретного пациента — достоинство неопределимое. В каждой системе эта проблема решена по-разному. Существует возможность комплектации системы компьютером класса NoteBook, интегрированным с DockingStation. Такое решение позволяет осуществлять планирование предстоящей операции заранее в удобных для хирурга условиях, используя полный набор исходных КТ и МРТ, а в операционную приходиться с программным носителем.

Важным моментом является изначальная конфигурация системы под определенную область хирургии (нейрохирургия, вертебральная хирургия, ЛОР, ортопедия). Возможно оснащение систем флюороскопическим модулем, позволяющим проводить навигацию в реальном времени с использованием рентгенофлюороскопической системы C-arm. Благодаря этому расширяется диапазон нейрохирургических и ортопедических вмешательств, повышается точность работы хирурга и безопасность пациента.

На основании изложенного выше можно полагать, что применение навигационных технологий в травматологии и ортопедии наиболее ценно при лечении деформирующих заболеваний позвоночника, травм (компрессионные переломы позвонков), опухолей, грыж дисков, дегенеративно-дистрофических заболеваний позвоночника. С помощью навигационных систем выполняются следующие виды операций, направленные на достижение стабильности позвоночного сегмента: фиксация позвоночника после ламинэктомии, дискэктомии, а также резекция по поводу опухолей.

Основными преимуществами навигационной хирургии являются:

— повышение безопасности пациента;

## Сравнительная характеристика наиболее распространенных навигационных систем

№ п/п	Критерии оценки	Компания-производитель и название навигационной платформы		
		«Radionics» Optical Tracking System (OTS)	«Sofamor Danek» Stealth Station	«BrainLab» Vector Vision-2
1	Компьютерная платформа	HP B180L Risk, винчестер 9Gb, RAM 256 Mb, встроенный цифровой видеоплеер 4Gb	Silicon Graphics, винчестер 4Gb, RAM 192 Mb, ОС UNIX	Основной процессор DEC ALPHA+, входящий в конфигурацию NoteBook с DockingStation для предварительного планирования хода операции
2	Плоский монитор	Стандарт	Стандарт	Стандарт
3	Передача данных	DAT, CD, Ethernet, Dicom 3	DAT, CD, Ethernet, Dicom 3	DAT, CD, Ethernet, Dicom 3
4	Возможность интеграции в локальную сеть (например, Ethernet/IP, работающую под управлением WIN NT/Solaris)	Частично, без подключения источников изображений	Частично, без подключения источников изображений	Полное подключение
5	Ввод, хранение и обработка видеоинформации	Магнитооптические диски, Dicom 3, дискеты 3 и 5", DAT 4 мм. Стриммер	Магнитооптические диски, CDR, Dicom 3, Ethernet	Магнитооптические диски, CDR, Dicom 3, Ethernet, дискеты 3 и 5"
6	Возможность переноса данных с КТ	+	+	+
7	Возможность переноса данных с МРТ	+	+	+
8	Построение 3D-моделей с реконструкцией рентгеновского изображения	+	+	+
9	Отслеживание инструментов в 2D/3D-моделях	+	+	+
10	Принцип пространственной регистрации	3-линейные камеры, инфракрасные излучатели	3-линейные камеры, инфракрасные излучатели	2-мерные отражающие сферы (беспроводное решение)
11	Точность пространственной регистрации	0,25 мм	0,35 мм	0,25 мм
12	Интерфейс с нейрохирургическими микроскопами	+	+	+
13	3D отслеживание положения микроскопа	-	Нет данных	+ (включая функцию автофокуса)
14	Универсальные регистраторы инструментов	+	-	+
15	Отслеживание координат рабочего конца инструмента	+	+	+
16	Указатели траектории перемещения	+	+	+
17	Управление программой	Мышь-зонд, педаль	Сенсорный экран	Сенсорный экран
18	Программа для спинальной хирургии	+	+	+
19	Ортопедический модуль	+	+	+
20	Флюоронавигация	+	-	+
21	Модуль для ЛОР-хирургии	В специальной конфигурации	Дополнительная поставка	В стандартной конфигурации
22	Стерилизация (автоклавирование)	Допускается	Допускается	Допускается
23	Объем продаж	Неизвестен	Около 580 станций	112 станций Vector Vision-1 и 9 станций Vector Vision-2

- наиболее быстрое нахождение оптимальных траекторий;
- уменьшение травматизации тканей;
- отсутствие необходимости в интраоперационном облучении больного;
- лучший исход операции; повышение качества и эффективности предоставляемой медицинской помощи.

Повсеместное распространение навигационных систем в клиниках травматологии и ортопедии России — задача очень сложная и на сегодняшний день практически невыполнимая в силу многих причин (экономических, юридических — не все системы сертифицированы в России). Навигационная хирургия предполагает оснащение клиники новейшим диагностическим оборудованием — компьютерным томографом, магнитно-резонансным томографом последнего поколения. В такой ситуации экономически целесообразна организация регионального хирургического центра навигационного планирования, который будет сотрудничать с клиниками, где проводится оперативное лечение с использованием навигационных программных комплексов. Центр должен быть оснащен современным диагностическим и навигационным оборудованием (установка для рентгенографии, компьютерный и магнитно-резонансный томографы, навигационная платформа). Это 99% стоимости всего навигационного комплекса. В центре могут выполняться все необходимые исследования (рентгенография, КТ, МРТ). При наличии показаний к оперативному вмешательству хирург из регионального отделения, который будет оперировать пациента, прибывает в центр и с помощью его сотрудников выполняет виртуальную разработку плана операции. На основе полученных данных определяются оптимальный оперативный доступ, объем хирургического вмешательства, оптимальная траектория проведения инструментов, винтов. В итоге у пациента и его хирурга на руках будет электронная версия результатов обследования и плана предстоящей операции. Эта информация может храниться на любом программном носителе, с которым пациент может быть направлен в хирургическое отделение клиники, где при использовании сравнительно недорогой хирургической компоненты навигационной системы при необходимости выполняется операция. Более того, план операции в электронном виде может быть автоматически передан на навигационную систему в любую клинику через Internet. Такой вариант исключает необходимость оснащения клиник дорогостоящим диагностическим оборудованием, сохраняя преимущества навигационных систем.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Abumi K., Kaneda K. //Spine. — 1997. — Vol. 23, N 16. — P. 1853-1863.
2. Berlemann U., Manin D., Arm E. //J. Spin. Dis. — 1998. — Vol. 10, N 2. — P. 117-124.
3. Carl A.L., Khanuja H.S. //Spine. — 1997. — Vol. 22, N 10. — P. 1160-1164.
4. Colak A., Kutlay M., Demircan N. et al. //Eur. Spine J. — 1999. — N 8. — P. 151-155.
5. DiGioia A.M. //Clin. Orthop. — 1998. — N 354. — P. 8-17.
6. Ebraheim N.A., Trmains M.R. //Spine. — 1998. — Vol. 23, N 4. — P. 458-462.
7. Ebraheim N.A., Rongming X.U., Challgren E. //J. Spin. Dis. — 1998. — Vol. 10, N 3. — P. 234-239.
8. Esses S.I., Sachs B.L., Dreyzin V. //Spine. — 1993. — Vol. 18, N 12. — P. 2231-2238.
9. Foley K.T., Smith M.M. //Neurosurg. Clin. North. Am. — 1996. — N 7. — P. 171-186.
10. Galloway R.L., Maciunas R.J. //Critical reviews in biomedical engineering. — 1990. — Vol. 18, N 3. — P. 181-205.
11. George D.C., Krag M.H., Johson C.C. //Spine. — 1991. — Vol. 16, N 2. — P. 181-184.
12. Graham A.W., Swank M.L., Kinard R.E. et al. //Spine. — 1996. — Vol. 21, N 3. — P. 329-339.
13. Kothe R., Panjobi M.M., Lin W. //Spine. — 1997. — Vol. 22, N 16. — P. 1836-1842.
14. Laine T., Talroth K. //Spine. — 1997. — Vol. 22, N 11. — P. 1254-1258.
15. Levin D.S., Douglas J.R. //Spine. — 1998. — Vol. 23, N 3. — P. 382-386.
16. Lin P.M., Gildenberg P.L., Polakoff P.P. //J. Neurosurg. — 1996. — Vol. 25. — P. 553-560.
17. Matsuzaki H., Tokuhashi Y., Matsumoto F. //Spine. — 1990. — Vol. 15, N 11. — P. 1159-1165.
18. Matsuzaki H., Tokuhashi Y., Wakabayashi K. //Spine. — 1993. — Vol. 18, N15. — P. 1159-1165.
19. McAffe P.C., Weiland D.J., Carlow J.J. //Spine. — 1991. — Vol. 16, N 8. — P. 422-427.
20. Murphy M.A., McKenzie R.L., Mormos D.W. et al. //J. Clin. Neurosci. — 1994. — N 1. — P. 257-260.
21. Nolte L-P., Zamorano L., Jiang Z. et al. //Spine. — 1995. — Vol. 20, N 4. — P. 497-500.
22. Sim E. //Acta Orthop. Scand. — 1993. — Vol. 64, N 1. — P. 28-32.
23. Scoles P.V., Linton A.E., Latimer B. et al. //Spine. — 1988. — Vol. 13, N 10. — P. 1082-1086.
24. Vanichkachorn J.S., Vaccaro A.R. //Spine. — 1997. — Vol. 22, N 1. — P. 110-113.
25. Weinstein J.N., Spratt K.F., Spengler D. //Spine. — 1988. — Vol. 13, N 9. — P. 1012-1018.
26. West J.L., Ogilvie J.W., Bradford D.S. //Spine. — 1991. — Vol. 16, N 6. — P. 576-579.
27. Zindrick M.R., Wiltse L.L., Doornik A. et al. //Spine. — 1987. — Vol. 12, N 2. — P. 160-166.
28. Zinerich S.J., Tebo S.A., Long D.M. et al. //Radiology. — 1993. — N 188. — P. 735-742.