

Значение алгоритмов трехмерной реконструкции и визуализации в нелинейной диагностике коленного сустава

Нестеров В.И., Оглуздина Н.Л., Манохин П.А.

Институт прикладной психофизики, Клиника кафедры последипломного образования Омской государственной медицинской академии

ВВЕДЕНИЕ

По данным Всемирной организации здравоохранения, в развитых странах патология костно-мышечной системы занимает второе место среди причин утраты трудоспособности на срок менее 2 нед, уступая только респираторным заболеваниям, и выходит на первое место для сроков более 2 нед. В целом проявления артрозов различных локализаций встречаются у 9,6% мужчин и 18% женщин в возрасте старше 60 лет. В развитых странах преобладает гонартроз – признаки заболевания имеются у 14,1% мужчин и 22,8% женщин в возрасте от 45 лет. Эти цифры имеют отчетливую тенденцию к росту в связи со старением населения.

Было проведено 439 NLS-исследований коленных суставов (КС) на аппарате «Метатрон»-4025 с компьютерной программой «Metapathia GR Clinical» с возможностью трехмерной визуализации коленного сустава.

Трехмерное нелинейное сканирование приобретает особую актуальность как высокоинформативный метод диагностики патологии КС в сравнении с КТ и МРТ, прежде всего за счет меньшей стоимости исследования, при этом диагностические преимущества последних в таких приложениях неочевидны. Отражением этого факта является все большее использование NLS-систем в ортопедии.

Диагностическая ценность NLS-графики применительно к патологии КС исключительно высока для неинвазивного метода. Доказано, что NLS-графия при острой травме КС достоверно укорачивает время установления диагноза, повышает качество жизни впервые 6 нед. после травмы, снижает общие материальные затраты. Также отмечается относительно высокая надежность исследования в отношении повреждений менисков, при этом некоторые авторы рекомендуют в сомнительных случаях больше доверять 3D NLS-сканированию, чем КТ и МРТ. Также довольно хорошо визуализируются начальные проявления дегенеративных изменений суставного хряща в виде его поверхностного разволокнения, так как для этого требуется очень высокое пространственное разрешение – до 30 микрон, доступное аппарату «Метатрон»-4025. Оценка состояния передней крестообразной связки, которая была затруднена на аппаратах предыдущего поколения (аппараты «Метатрон»-4017, 4019), на современных аппаратах с возможностью 3D-визуализации решается успешно.

Мы попытались улучшить диагностические возможности NLS-сканирования путем широкого применения трехмерных режимов визуализации морфологических структур, таких как 4D Tissue, мультисканирование в трех взаимно перпендикулярных плоскостях, DeepVision, FastVision, а также ультрамикросканирование с возможностью проведения спектрально-энтропийного анализа (СЭА).

Так как качественной ультрамикроскопии разрешение NLS-аппаратов должно быть не более 30 микрон, а для цитогенетических исследований менее 10 микрон, то единственным

реальным способом достичь этого является широкое использование алгоритмов трехмерной визуализации, таких как MIP (Maximum Intensity Projection– проекция максимальной интенсивности), MPR (Multi-Planar Reformatting– мультипланарная реконструкция) и DVR (Direct Volume Rendering– прямая визуализация объема).

Обзор основных алгоритмов объемной визуализации трехмерных NLS-данных и оценка их значения для диагностики патологии КС и явились целью нашей работы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

NLS проводили на последнем поколении аппаратов для NLS-диагностики «Метатрон»-4025 (ИПП, Россия) с цифровыми триггерными датчиками и высокочастотным генератором с частотой 4,9 ГГц.

Всю постобработку и анализ полученных данных мы выполняли на платформе персонального компьютера (ПК) под управлением операционной системы Windows, учитывая непрерывно возрастающую производительность ПК и разнообразие и функциональность Windows-совместимого программного обеспечения (ПО).

В качестве рабочей станции мы применяли ПК на базе процессора Pentium 42,4 GHz с 1 GB оперативной памяти DDR400 и с графическим акселератором Leadtek WinFast A6600 GT (128 MB графической памяти DDR3) под управлением операционной системы Windows XP.

Использовался следующий набор Windows-совместимого ПО: ImageJ 1.38e (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>), eFilm Workstation 2.1.2(<https://www.merge.com>), FP Image 0.7 (<http://www.fpimage.com>), VGStudioMAX 1.0 (<http://www.volumegraphics.com>), 3DView 1.2 (<http://www.rmrsystems.co.uk>), Adobe Photoshop 9.0 (<http://www.adobe.com/photoshop>).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В нашем исследовании мы применяли трехмерные режимы визуализации (**4D Tissue**), позволяющего не только получать виртуальные многомерные изображения анатомических и гистологических структур, но и особо выделять цветом интересующую биологическую ткань - «дополнительное измерение», а также визуализировать кости, мягкие ткани и сосуды одновременно или в любой предложенной последовательности. При этом достигается максимально возможное разрешение для генератора частотой 4,9 ГГц в 10 микрон.

Мы дополнили рутинный протокол сканирования КС следующими трехмерными режимами:

– **DeepVision** – позволяет визуализировать внутренние, глубоко расположенные структуры тела, в норме скрытые другими анатомическими образованиями. Данный режим позволяет делать прозрачными последовательно все слои суставной капсулы и тем самым визуализировать и оценивать внутрисуставные связки, в норме скрытые слоями суставной капсулы.

– **FastVision** – позволяет быстро, детально при большом увеличении исследовать отдельные анатомические образования;

- **Выбор среза** – позволяет провести срез трехмерной модели органа плоскостью. Сечение органа можно проводить в трех взаимно перпендикулярных плоскостях: фронтальной, сагиттальной и горизонтальной.

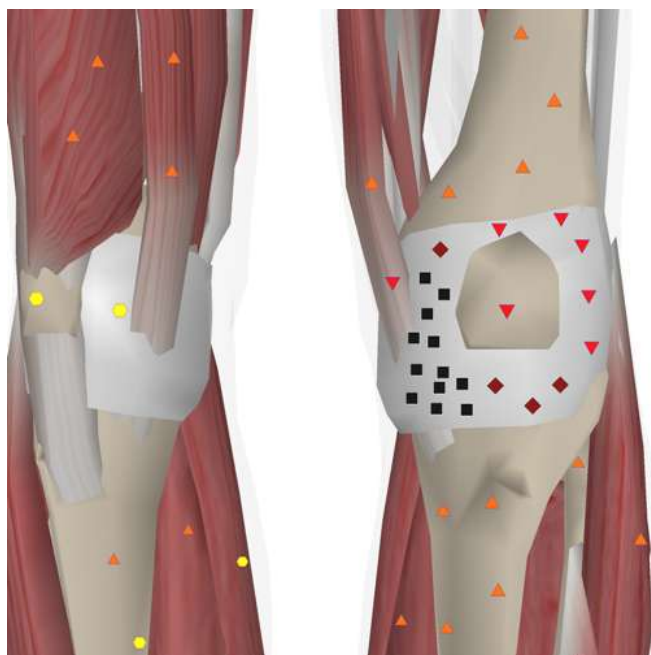


Рис 1. 3-х мерное NLS-исследование коленных суставов. Гемартроз левого коленного сустава.

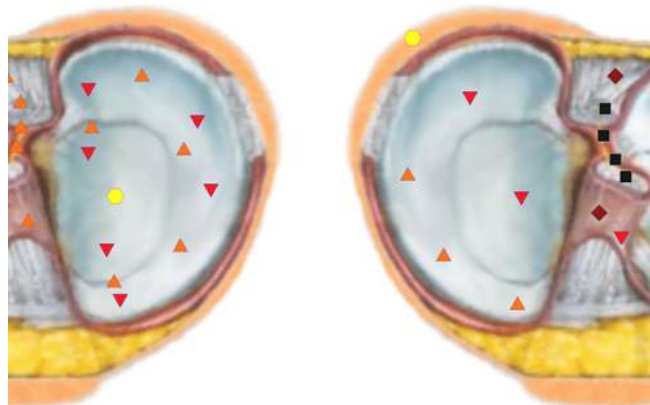


Рис 2. NLS сканирование. Сечение горизонтальной плоскостью коленных суставов по ходу передней крестообразной связки (ПКС). Слева частичное интрасиновиальное повреждение ПКС (подтверждено артроскопически).

NLS-сканирование позволяет восстановить из трехмерного массива данных изображение в произвольной плоскости. Наилучшие результаты достигаются при 30-микронном изотропном пространственном разрешении, что в условиях NLS-систем достижимо только для последовательности 4D Tissue. Мы пользуемся этим режимом для визуализации не менее чем в двух плоскостях передней крестообразной и малоберцовой коллатеральной связок КС. NLS-графия в плоскости мениска и по ходу его кривизны незаменима для выявления поперечных (радиальных) разрывов последнего. Режим NLS-улитрамикросканирования мы используем также для оценки состояния суставного хряща, при этом можно визуализировать мелкие – порядка 0,3 мм – повреждения его поверхности, что соответствует хондропатии I степени.

Из основных алгоритмов реконструкции изображения методом 4D Tissue практическое значение имеет способ наложения текстур. Значение каждого элемента в финальном изображении рассчитывается программно по уравнению, известному как “интеграл реконструкции объема”, что означает высокие требования к производительности центрального процессора ПК и особенно к пропускной способности шины памяти. Метод наложения текстур (Texture Mapping) реализован на уровне графической подсистемы ПК и обеспечивает интерактивную скорость обновления кадра – не менее 15 кадров/с, хотя и за счет редукции глубины снимка до 8 бит и отсутствия сложных теневых эффектов. При 4D Tissue сохраняется внутренняя структура объекта и для ее экспозиции используются различные способы – от

сечения объема плоскостью до сегментации анатомических структур; следующие примеры иллюстрируют их информативные возможности.

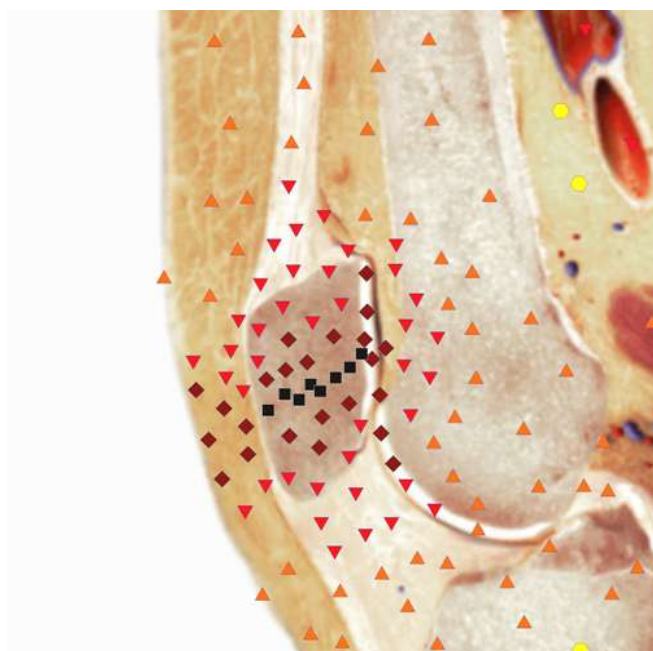


Рис 3. NLS-сканирование. Сечение сагиттальной плоскостью левого коленного сустава. Поперечный (радиальный) разрыв мениска.

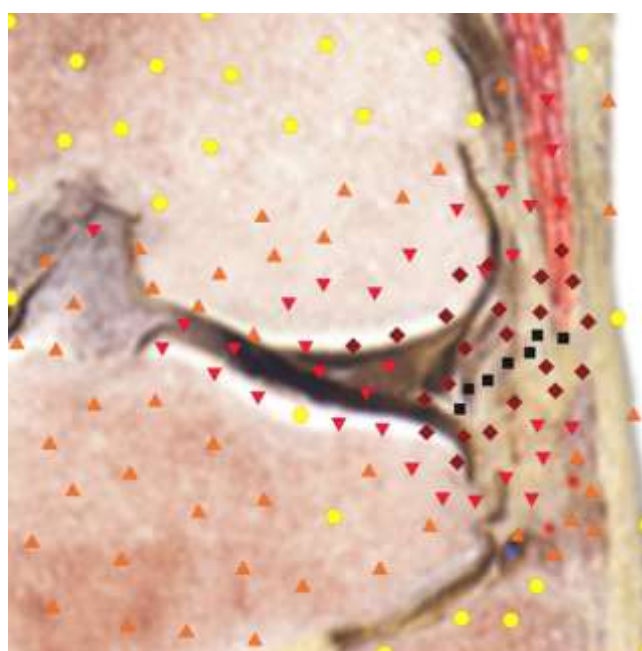


Рис 4. NLS-сканирование. Сечение фронтальной плоскостью правого коленного сустава. Разрыв малоберцовой коллатеральной связки.

Таким образом, получаемые на компьютерных NLS-графах с помощью 4D Tissue исходные данные в целом удовлетворяют условиям трехмерной постобработки, а Windows-совместимое ПО в сочетании с вычислительными возможностями современных ПК позволяет ее выполнять быстро и эффективно.

Возможно, наиболее ценным качеством алгоритмов трехмерной визуализации является их способность извлекать из полученных данных дополнительную диагностическую информацию, недоступную при обычном просмотре двухмерных NLS-грамм, и в этом контексте трехмерная визуализация вплотную примыкает к так называемому data mining— поиску скрытой и неожиданной информации в больших массивах данных.

Мы отметили определенный консерватизм предустановленного на NLS-аппараты ПО для двухмерной визуализации, что и послужило причиной разработки принципиально нового ПО для аппаратов трехмерной визуализации последнего поколения. Поэтому выполненную нами разработку универсального, многофункционального и расширяемого Windows-совместимого ПО для целей трехмерной NLS-визуализации мы считаем одним из важных моментов в создании нового поколения аппаратуры для NLS-диагностики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nikken J., Oei E., Ginai A. et al. Acute peripheral joint injury: cost and effectiveness of low-field-strength MR imaging – results of randomized controlled trial // *Radiology*. 2005. V. 236. P. 958–967.
2. Jelavic-Kojic F., Kerner I., Bojanic I. Traumatic knee evaluation with 0.2T MRI // *Acta Clin. Croat*. 2002. V.41. P.121–126.
3. Esmaili Jah A., Keyhani S., Zarei R., Moghaddam A. Accuracy of MRI in comparison with clinical and arthroscopic findings in ligamentous and meniscal injuries of the knee // *Acta Orthop. Belg*. 2005. V. 71. P. 189–196.
4. Rubenstein J., Li J., Majumdar S., Henkelman R. Image resolution and signal-to-noise ratio requirements for MR imaging of degenerative cartilage // *Am. J. Roentgenol*. 1997. V. 169. P. 1089–1096.
5. Fellner F., Fellner C. 3D imaging and virtual reality technique, applications and pitfalls// *Syllabus of 9th Advanced Course of the ESNR*. Vienna. 1999. P. 91–104.
6. Gold G., Hargreaves B., Beaulieu C. Protocols in sports magnetic resonance imaging // *Top. Magn. Res. Imag*. 2003. V. 14. P. 3–24.
7. Брусова А.Г., Манохин П.А., Пузановская Т.К., Шишковец Т.А. «NLS-диагностика дегенеративных изменений позвоночника»//Сборник научных трудов Института прикладной психофизики «Актуальные проблемы NLS-диагностики». Том I. М.: Каталог, 2006, с. 30-33.
8. Петров М.С., Ворошилова Л.А., Картузов В.М., Веснин А.Я., Деревянко Г.В., Гугля А.П. «NLS-исследование в оценке состояния коленного сустава при деформирующем остеоартрозе»//Сборник научных трудов Института прикладной психофизики «Актуальные проблемы NLS-диагностики». Том I. М.: Каталог, 2006, с. 47-50.
9. Нестеров В.И. «3D NLS диагностика. Перспективы развития»// Сборник научных трудов Института прикладной психофизики «NLS-технологии в медицине – перспективы развития». Том III. М.: Каталог, 2010, с. 5-8