

может превалировать над связанной. Это, в свою очередь, приводит к относительному увеличению подвижности гумусовых кислот. Основной минеральной компонентой, принимающей участие в образовании прочных органо-минеральных связей на таких почвах, могут являться полуторные окислы или гидроксиды алюминия и железа [1]. В этих условиях переизвесткование почв ( $pH > 7$ ) может приводить к снижению положительного заряда на поверхности указанных минеральных частиц [2], что, в свою очередь, снижает вероятность образования прочных химических связей с нуклеофильными группами органического вещества и повышает его подвижность. Увеличение содержания обменного кальция при известковании почв наряду с позитивным эффектом снижения подвижности органического вещества за счет перевода фракции 1 во фракцию 2 [9–10] по тем же причинам может нивелироваться негативным эффектом снижения содержания фракции 3, что хорошо прослеживается по данным работы [11]. Мнение о соотношении показателей полифенолоксидазной и пероксидазной активности как о коэффициенте плодородия, характеризующем глубину гумификации, высказано в свое время А. И. Чундеровой [12]. Как известно, это отношение было предложено использовать [13] как показатель окультуренности почвы. Важная роль полифенолоксидазы в образовании минерал-гумус-ферментных структур (фракция 3) была показана в работе [14].

Еще один важный аспект касается относительно инертной негидролизующей фракции органического вещества почвы. Согласно представлениям [15], при изменении окислительно-восстановительных условий среды возможна деструкция гумина и его переход в активные формы. Установлено [16], что в дерново-подзолистой почве при ее переходе в восстановительные условия ионы Fe(III), прочно связывающие гумусовые вещества, могут редуцироваться; при этом резко увеличивается количество их третьей фракции.

Таким образом, затронутые в работе вопросы представляются весьма актуальными для проведения дальнейших исследований, так как указывают на необходимость комплексного подхода при изучении процессов миграции элементов в системе «почва – растения».

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кулаковская, Т. Н. Почвы Белорусской ССР / Т. Н. Кулаковская. — Минск: Ураджай, 1974. — 276 с.
2. Орлов, Д. С. Химия почв / Д. С. Орлов. — М.: Изд. МГУ, 1992. — 400 с.
3. Александрова, Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л. Н. Александрова. — Л., 1980. — 287 с.
4. Пономарева, В. В. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения) / В. В. Пономарева, Т. А. Плотникова. — Л.: Наука, 1980. — 222 с.
5. Шумилин, В. А. Фракционный состав органического вещества почв и накопление  $^{90}\text{Sr}$  зерном ячменя / В. А. Шумилин // Известия ГГУ им. Ф. Скорины. Сер. Биология. 2001. — № 1 (4). — С. 87–98.
6. Практикум по агрохимии / В. Г. Минеев [и др.]; под общ. ред. В. Г. Минеева. — М.: Изд. МГУ, 1989. — 304 с.
7. Пупышев, А. А. Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой / А. А. Пупышев, В. Т. Суриков. — Екатеринбург: УРО РАН, 2006. — 276 с.
8. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель РБ / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. акад. И. М. Богдевича. — Минск, 2006. — 65 с.
9. Сизов, А. П. Влияние карбоната кальция на гумусообразование в условиях модельного опыта / А. П. Сизов // Вестн. МГУ. Сер. 17. — 1990. — № 3. — С. 21–25.
10. Величко, Л. Л. Влияние приемов окультуривания на содержание и качества гумуса дерново-подзолистой песчаной почвы / Л. Л. Величко // Исслед. окульт. почв и повыш. их плодород. — 1987. — С. 12–19.
11. Костюкевич, Л. И. Влияние известкования и удобрений на содержание и состав гумуса дерново-подзолистой почвы / Л. И. Костюкевич, Н. Н. Алексейчик // Почвоведение. — 1990. — № 2. — С. 37–45.
12. Чундерова, А. И. Активность полифенолоксидазы и пероксидазы в дерново-подзолистых почвах / А. И. Чундерова // Почвоведение. — 1970. — № 1. — С. 22–28.
13. Клебанович, Н. В. Изучение ферментативной активности дерново-подзолистых супесчаных почв под влиянием окультуривания / Н. В. Клебанович // Почвоведение и агрохимия. — 1982. — № 18. — С. 55–63.
14. Масько, А. А. О характере иммобилизации полифенолоксидазы почвой / А. А. Масько // Почвоведение. — 1992. — № 5. — С. 60–65.
15. Водяницкий, Ю. Н. Оксиды железа и их роль в плодородии почв / Ю. Н. Водяницкий. — М.: Наука, 1989. — 160 с.
16. Саакян, В. Г. Окислительно-восстановительные режимы автоморфных и гидроморфных почв нечерноземной зоны и их влияние на органическое вещество: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.00 / В. Г. Саакян. — М.: Изд. МГУ, 1985. — 24 с.

Поступила 17.12.2013

УДК 616.728.13–073.756.8

### ПОЯСНИЧНО-ПОДВЗДОШНЫЕ СВЯЗКИ: КОМПЬЮТЕРНО-ТОМОГРАФИЧЕСКОЕ МНОГОПЛОСКОСТНОЕ ПЕРЕФОРМАТИРОВАНИЕ И ТРЕХМЕРНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ (техническое описание)

А. В. Коропо, А. М. Юрковский

Жлобинская центральная районная больница  
Гомельский государственный медицинский университет

**Цель исследования:** разработать технические условия проведения спиральной рентгеновской компьютерной томографии пояснично-крестцового отдела позвоночника в комплексе с подвздошно-поясничной связкой.

**Материал исследования.** Оработка нового протокола рентгеновской компьютерной томографии производилась на фантомах, с последующей апробацией у 47 пациентов (средний возраст —  $56,1 \pm 8,7$  года) с синдромом боли в нижней части спины.

**Результаты.** Разработан новый протокол исследования, позволяющий визуализировать не только структурные элементы позвоночного столба, но и получать информацию о пространственных характеристиках и морфометрических параметрах подвздошно-поясничных связок.

**Заключение.** Применение многоплоскостных переформатирований и трехмерных реконструкций из данных, полученных при КТ-сканировании с использованием нового протокола исследования, позволяет получить наиболее полную информацию о состоянии подвздошно-поясничных связок.

**Ключевые слова:** подвздошно-поясничная связка, рентгеновская компьютерная томография, трехмерная реконструкция.

## THE ILIOLUMBAR LIGAMENT: COMPUTER TOMOGRAPHIC MULTIPLANAR REFORMATTING AND THREE-DIMENSIONAL COMPUTER RECONSTRUCTION (technical description)

A. V. Koropo, A. M. Yurkovsky

Zhlobin Central Regional Hospital  
Gomel State Medical University

**Purpose:** to create technical conditions for spiral X-ray computer tomography of the lumbosacral spine in conjunction with the iliopsoas ligament.

**Materials and methods.** The new protocol of computer tomography was tested on phantoms, followed by ap-  
probation in 47 patients (average age —  $56,1 \pm 8,7$ ) with the pain syndrome in the lower back.

**Results.** We developed a new research protocol that makes it possible to visualize not only the structural elements of the spine, but also to obtain information about the spatial characteristics and morphometric parameters of iliopsoas ligaments.

**Conclusion.** The application of multiplanar reformatting and three-dimensional reconstructions of the data obtained from CT scans by the new research protocol provides the most complete information about the state of iliopsoas ligaments.

**Key words:** iliolumbar ligament, computer tomography, three-dimensional reconstruction.

### Введение

Синдром боли в нижней части спины (СБНС) имеет мультифакториальную природу [1, 2] и в ряде случаев может быть обусловлен патологией связок пояснично-крестцовой области, в частности, подвздошно-поясничной связки (ППС) [3–6]. Повреждение этой структуры, по данным Т.Е.Р. Gocher, отмечается у 11,9 % пациентов с СБНС (или, как пишет автор, у пациентов с «back minor injury») [4]. Сложно судить о том, насколько приведенные цифры отражают реальное положение дел, однако иных данных в ресурсах PubMed не обнаружено. И скорее всего не обнаружено, потому что до сих пор не предложены надежные лучевые признаки поражения ППС (то есть признаки, взаимосвязь которых с болевым синдромом не вызывала бы сомнений) [7].

Среди широкого спектра технических средств и методик, используемых для диагностики патологии ППС, метод рентгеновской компьютерной томографии (РКТ) занимает особое место, поскольку позволяет получать изображения практически всех типов тканей, представленных на уровне пояснично-крестцового отдела позвоночника и крестцово-подвздошного сочленения [8, 9]. Однако на данный момент нет специального алгоритма визуализации, учитывающего как вариабельность строения и пространственного положения ППС, так и наличие сопутствующих диспластических и (или)

дистрофических изменений в связанных с ними (анатомически и (или) функционально) структурах [7].

### Цель исследования

Разработка технических условий проведения спиральной рентгеновской компьютерной томографии пояснично-крестцового отдела позвоночника в комплексе с подвздошно-поясничной связкой.

### Материалы и методы

Исследования проводились на 16-срезовом спиральном рентгеновском компьютерном томографе BrightSpeed™ Elite (GE Healthcare, GE Hangwei Medical Systems Co., Ltd.). Применялись 3 протокола: 2 спиральных и один пошаговый. Для обработки и просмотра изображений использовалась рабочая станция Advantage Workstation VolumeShare 5 (AW4.6, GE Healthcare, GE Medical Systems SCS). Были опробованы несколько протоколов исследования. Два из них (спиральный и пошаговый) были рекомендованными производителем, третий — адаптированной нами версией спирального протокола.

На первом этапе исследования проводились на фантомах. В дальнейшем апробация адаптированного протокола была проведена на 47 пациентах (средний возраст —  $56,1 \pm 8,7$  года). Критерием для включения пациентов в исследование было наличие СБНС. Все пациенты перед исследованием были обследованы неврологом (диагноз при поступлении: «Вертеброгенная, или иначе — дискогенная люмбоишиалгия»).

**Результаты и обсуждение**

На первом этапе отработка методики, то есть адаптированного протокола проводилась

на фантомах. Полученные в результате этого данные (технические параметры проведения исследования) представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Значения технических параметров РКТ-исследования пояснично-крестцового отдела позвоночника (16-срезовый BrightSpeed™ Elite)\*

№ п/п	Наименование параметра	Адаптированный протокол
1.	Топограмма	2 (90° и 180°)
2.	Тип сканирования	Спиральный; полное вращение трубки (360°)
3.	Время ротации трубки на 360°, сек	1,0
4.	Количество рядов детектора	16
5.	Конфигурация детектора	16x0,625
6.	Эффективная толщина среза, мм:	
	1-я серия реконструкции	1,25
7.	2-я серия реконструкции	0,625
	Интервал реконструкции, мм:	
8.	1-я серия реконструкции	1,25
	2-я серия реконструкции	0,625
9.	Коллимация луча, мм	10,0
10.	Питч	0,938:1
11.	Длина сканирования за 1 ротацию (скорость стола), мм	9,37
12.	Напряжение на трубке, кВ	120
13.	Диапазон силы тока, мА	100–400
14.	Дополнительные опции регулировки силы тока: модуляция силы тока по z-оси (auto mA); модуляция силы тока по x- и y-осям (smart mA)	включена включена
	Ширина поля обзора дисплея (DFOV):	
15.	1-я серия реконструкции	Узкая (по позвонкам)
	2-я серия реконструкции	Широкая (по тазовым костям)

\*Данный протокол может быть модифицирован для компьютерных томографов других семейств, имеющих иной дизайн детекторов.

На втором этапе была произведена апробация адаптированного протокола у пациентов с СБНС. Ниже приведены этапы исследования.

**Укладка пациента.** Пациент размещался на столе в положении лежа на спине, при этом руки заводились за голову (вид подголовника — удлинитель стола). Ориентируясь по направляющим лучам, пациента размещали симметрично относительно изоцентра апертуры гентри. При необходимости для уменьшения поясничного лордоза подкладывали под согнутые колени специальный валик (чаще всего необходимость в этом возникала при выраженном болевом синдроме). Наклон гентри не производился.

**Выполнение топограмм (сканограмм).** При их выполнении использовали не только (как это зачастую бывает) боковую, но и дополнительную прямую проекцию, позволявшую правильно ориентировать центр поперечного среза тела относительно поля обзора дисплея и, как следствие, удерживать в поле зрения интересные объекты. При использовании указанной проекции наиболее предпочтительным оказался ход лучей сзади наперед (такой подход позволял снизить лучевую нагрузку).

**Установка технических параметров исследования.** Процедура заключалась в подборе параметров под индивидуальные особенности пациентов, исходя из предустановленных параметров в протоколах исследования. Ориентируясь по топограммам, устанавливали необходимую длину сканирования, а также ширину поля обзора дисплея (DFOV). В соответствии с топическими неврологическими данными исследовали два (реже три) проблемных позвоночно-двигательных сегмента. При этом захватывалась нижняя (относительно интересующего межпозвонкового диска) и верхняя часть тела нижележащего позвонка. Поле обзора дисплея сужали так, чтобы в нем, во-первых, определялись тела позвонков с поперечными отростками, а во-вторых, центр оказывался смещенным на передний отдел позвоночного канала.

Практикующие врачи часто ограничиваются аксиальными срезами, позволяющими оценивать изображения только позвонков и межпозвонковых дисков. Однако для максимально эффективного использования ресурса РКТ рекомендуется задавать в настройках исследования вторую серию реконструкции с

широким DFOV, иногда совпадающим с полем обзора сканирования, SFOV. Это позволяет выявлять, во-первых, изменения в паравerteбральных тканях, которые могут иметь отношение к СБНС, а во-вторых, сопутствующие изменения в других структурах. При этом не происходит увеличения лучевой нагрузки, так как вторая серия изображения формируется из «сырых» данных, охватывающих все тело целиком.

Основным фактором, влияющим на разрешающую способность, является конфигурация детектора. Поэтому для наилучшей визуализации мелких структур использовали минимально доступную ширину детектора (в нашем случае — 0,625 мм), так называемое воллюметрическое сканирование. Такие исходные данные позволяют свести к минимуму частичный объемный эффект, имеют лучшее пространственное разрешение по оси z и, как следствие, лучшее качество вторичных реконструкций.

**Эффективная толщина среза** (толщина срезов, реконструируемая из первичных данных). Для исследования межпозвоночных дисков наиболее приемлемой считается толщина не менее 1–1,25 мм. Такая толщина среза позволяет адекватно оценивать изменения МПД и производить разного рода реконструкции. При этом сохраняется возможность использовать проекции максимальной интенсивности (MIP), позволявшей увеличивать толщину среза. Дополнительно к этому мы использовали вторую серию реконструкций с минимальной толщиной среза 0,625 мм (то есть доступной на нашем томографе), что позволяло оценивать анатомическую структуру ППС. Интервал реконструкции в двух сериях был равен толщине среза реконструкции. Другие параметры имели меньшее значение для реконструкций (их значения отображены в таблице 1).

На полученных аксиальных изображениях в расширенной версии реконструкции пояснично-подвздошная связка была представлена в виде двух тяжистых структур, разделенных полоской жировой ткани. Задняя часть ППС протя-

гивалась, конусообразно расширяясь от верхушки поперечного отростка  $L_V$  к краниальной части подвздошной бугристости и подвздошному гребню. Передняя часть ППС чаще всего брала начало от вентро-каудальной поверхности поперечного отростка  $L_V$  и прикреплялась к вентро-краниальной поверхности подвздошной бугристости. Полученная при сканировании картина в целом соответствовала таковой, описанной в литературных источниках ранее [9, 10].

По сравнению с аксиальными срезами, являющимися «золотым стандартом» практически для всех видов исследований, использование многоплоскостного переформатирования (MPR) обеспечивает лучшую визуализацию и, соответственно, лучшую оценку пространственно-анатомических взаимосвязей ППС с другими структурами. Среди инструментов MPR применительно к ППС наиболее информативными были реконструкции в косых (параллельно связкам) и кривых (Curved) плоскостях (совместно с инструментом Trace, позволяющим повторить уникальный ход связки). Также достаточно наглядными были перестроения в коронарной плоскости, зачастую совместно с применением MIP.

Для получения лучшего представления об индивидуальных особенностях расположения и прикрепления ППС к костным структурам использовалась техника объемного представления (VR, volume rendering). Суть ее состоит в наложении выделенных мягкотканых структур на трехмерное изображение костных структур.

Для визуализации пояснично-крестцового отдела позвоночника использовался стандартный инструмент — дисплей оттененных поверхностей (SSD, surface shaded display). Далее при обработке применялась сегментация каждой из частей ППС в отдельности. Затем полученные выделения переводились в объемное представление с кодированием отдельных изображений разным цветом. После слияния всех объемных изображений в одно трехмерное появлялась возможность представлять каждый составляющий компонент с различной степенью прозрачности (рисунок 1).



Рисунок 1 — Трехмерная реконструкция ППС (стрелками обозначены передние и задние порции ППС)

### Заключение

Использование дополнительных серий реконструкции с минимальными значениями тол-

щины срезов (так называемого воллюметрического изображения) при исследовании пояснично-крестцового отдела позвоночника позволяет ра-

ционально использовать ресурсы рентгенокомпьютерной диагностики для диагностического поиска при СБНС без дополнительных затрат и без увеличения лучевой нагрузки на пациента.

Использование многоплоскостных переформатирований, равно как и других возможностей трехмерных изображений, позволяет получать наглядное представление не только о пространственных характеристиках ППС и морфометрических параметрах, но и об изменениях в зонах энтезов [9]. Кроме того, эта технология позволяет параллельно оценивать связанные анатомически и (или) функционально с ППС структурные элементы позвоночного столба, патологические изменения которых могут создавать предпосылки для функциональной перегрузки ППС: к примеру, это могут быть дистрофические изменения межпозвонковых дисков, изменения дугоотростчатых суставов, межсуставного отдела дуг позвонков, и т. п. [5, 6, 10].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Panjabi, M. M.* A hypothesis of chronic back pain: ligament subfailure injuries lead to muscle control dysfunction / M. M. Panjabi // *Eur. Spine J.* — 2006. — Vol. 15. — P. 668–676.
2. Letter to the Editor concerning «A hypothesis of chronic back pain: ligament subfailure injuries lead to muscle control dysfunction» (M. Panjabi) / R. Schleip [et al.] // *Eur. Spine J.* — 2007. — Vol. 16, № 10. — P. 1733–1735.
3. *Мионов, С. П.* Поясничные боли у спортсменов и артистов балета: патология пояснично-подвздошной связки / С. П. Мионов, Г. М. Бурмакова, А. И. Крупаткин // *Вестник травматол. ортопед.* — 2001. — № 4. — С. 14–21.
4. *Gopher, T. E. P.* Minor back injuries / T. E. P. Gopher / *Cal. West. Med.* — 1934. — Vol. 40, № 4. — P. 234–238.
5. *Sims, J. A.* The role of the iliolumbar ligament in low back pain / J. A. Sims, S. J. Moorman // *Medical Hypotheses.* — 1996. — Vol. 46, № 6. — P. 511–515.
6. *Ammer, K.* Schmerzhaftes iliolumbalband: physiologische grundlagen painful iliolumbar ligament: physiological foundations / K. Ammer // *Manuelle Medizin.* — 2010. — Vol. 48, № 2. — P. 141–144.
7. *Юрковский, А. М.* Экспертиза подвздошно-поясничной связки при синдроме боли в нижней части спины / А. М. Юрковский // *Проблемы здоровья и экологии.* — 2011. — № 3. — С. 106–110.
8. Description of the iliolumbar ligament for computer-assisted reconstruction / N. Hammer [et al.] // *Annals of Anatomy.* — 2010. — Vol. 192. — P. 162–167.
9. Юрковский, А. М. Диагностическое значение морфометрических параметров подвздошно-поясничных связок и изменений костной ткани в зонах энтезов, по данным КТ у пациентов с синдромом боли в нижней части спины / А. М. Юрковский, А. В. Коропо // *Журнал ГрГМУ.* — 2012. — № 4. — С. 54–57.
10. Юрковский, А. М. Подвздошно-поясничная связка: анатомический базис для лучевого диагноста / А. М. Юрковский // *Проблемы здоровья и экологии.* — 2010. — № 4. — С. 84–89.

Поступила 27.01.2014