

Спондилоптоз у пациентов детского, подросткового и юношеского возраста

Е.Г. Скрыбин

Тюменский государственный медицинский университет,
г. Тюмень, Россия

Реферат

Целью исследования был анализ научных публикаций по проблеме «Спондилоптоз у пациентов детского, подросткового и юношеского возраста». Проанализировано 77 литературных источников за период 1995–2021 гг., представленных в современных электронных базах медицинской информации: PubMed, CYBERLENINKA, eLIBRARY, GoogleScholar. Анализ научных статей показал, что до настоящего времени не решены многие важные вопросы, касающиеся спондилоптоза у детей. Так, например, неизвестна частота заболевания в популяции детей и подростков. До настоящего времени не сформулирован алгоритм выбора метода оперативного вмешательства у данной категории пациентов, остаются дискуссионными необходимость и способы выполнения редукции сместившегося позвонка L_v , научно не обоснована протяжённость зоны спондилодеза, не разработаны меры профилактики появления или усугубления неврологических расстройств, отсутствуют общепринятые клинические и лучевые критерии оценки результатов проводимого лечения. Признано, что тяжесть клинических проявлений спондилоптоза обусловлена степенью нарушения позвоночно-тазового баланса. Диапазон проводимых оперативных вмешательств широк: от спондилодеза позвоночно-двигательного сегмента L_v-S_1 в клинической ситуации *in situ* до выполнения 360° реконструкции с изменением параметров пояснично-тазового баланса. Предпринимаются успешные попытки внедрения в клиническую практику индивидуально изготовленных на 3D-принтере композитных моделей металлоконструкций, учитывающих особенности позвоночно-тазового баланса конкретного пациента. Многие авторы в своих публикациях высказывают мнение о том, что различные аспекты спондилоптоза позвонка L_v у детей, подростков и юношей требуют дальнейшего изучения.

Ключевые слова: спондилолистез высокой степени градации, врождённый спондилоптоз, диспластический спондилоптоз, пациенты детского, подросткового и юношеского возраста.

Для цитирования: Скрыбин Е.Г. Спондилоптоз у пациентов детского, подросткового и юношеского возраста. *Казанский мед. ж.* 2022;103(2):241–249. DOI: 10.17816/KMJ2022-241.

REVIEW | DOI: 10.17816/KMJ2022-241

Spondyloptosis in children, adolescents and youth age patients

E.G. Skryabin

Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

Abstract

The study aimed to analyze scientific publications on “Spondyloptosis in children, adolescents and youth age patients”. The article analyzes 77 literary sources for the period from 1995 to 2021, presented in modern electronic databases of medical information: PubMed, CyberLeninka, eLibrary, Google Scholar. The analysis of scientific articles showed that many important issues related to spondyloptosis in children have not yet been resolved. For example, the disease incidence rate in children and adolescents is unknown. To date, an algorithm for choosing a method for surgical treatment in this category of patients has not been defined, the need and methods for reduction of a displaced L_v vertebra remain debatable, the spinal fusion length is not scientifically justified, measures to prevent the appearance or exacerbation of neurological disorders have not been developed, there are no generally

Для переписки: skryabineg@mail.ru

Поступила 25.06.2021; принята в печать 29.09.2021;

опубликована: 12.04.2022.

© Эко-Вектор, 2022. Все права защищены.

For correspondence: skryabineg@mail.ru

Submitted 25.06.2021; accepted 29.09.2021;

published: 12.04.2022.

© Eco-Vector, 2022. All rights reserved.

accepted clinical and radiation criteria for evaluating treatment outcomes. It is recognized that the severity of clinical manifestations of spondyloptosis is associated with the degree of spinal-pelvic imbalance. The range of surgical interventions is wide: from “*in situ*” fusion at the L_5-S_1 motion segment to 360° reconstruction with a change in the parameters of the lumbo-pelvic balance. Successful attempts are being made to introduce into clinical practice composite models of metal structures individually made on a 3D printer, specific to the spinal-pelvic balance of a particular patient. Many authors in their publications expressed that various aspects of L_5 spondyloptosis in children and adolescents require further study.

Keywords: “high-grade” spondylolisthesis, congenital spondyloptosis, dysplastic spondyloptosis, children, adolescents and youth age patients.

For citation: Skryabin EG. Spondyloptosis in children, adolescents and youth age patients. *Kazan Medical Journal*. 2022; 103(2):241–249. DOI: 10.17816/KMJ2022-241.

Введение

Спондилоптоз позвонка L_5 представляет собой редкую нозологическую форму вертеброгенной патологии у детей, подростков и людей молодого возраста [1, 2]. По мнению американских авторов А.М. Lak и соавт., опубликовавших свою статью в 2020 г., к настоящему времени распространённость спондилоптоза неизвестна ни в детской, ни во взрослой популяции больных [3].

Представленные в современной медицинской литературе сведения о частоте спондилоптоза у растущих пациентов носят несистематизированный характер и отражают личный опыт отдельных авторов в лечении данной категории больных. Так, минимальную частоту спондилоптоза среди детей и подростков со спондилолистезом нижних поясничных позвонков приводят В.В. Платунов и соавт. — 0,9% клинических наблюдений (у 2 из 218 пролеченных пациентов) [4]. Максимальная частота диагностики спондилоптоза в группе детей со спондилолистезом озвучена С.В. Виссариевичем и соавт. — 15,38% случаев (у 4 из 26 оперированных авторами детей) [5]. Средние показатели диагностики спондилоптоза относительно указанных выше приводят В.В. Крутько и соавт. и М. Rivollier и соавт. — 4,76 и 14,28% клинических наблюдений соответственно [6, 7].

Материал и методы исследования

Научные публикации для написания обзора литературы были получены из современных электронных баз медицинской информации: PubMed, CYBERLENINKA, eLIBRARY, Google Scholar. С учётом малого количества научных публикаций по обсуждаемой теме глубина поиска литературных источников составила период с 1995 по 2021 г. Также в обзоре литературы приведены ссылки на 4 научные публикации 50–70-х годов прошлого века, без упоминания которых невозможно представлять современную информацию о спондилоптозе позвонка L_5 . Поиск литературных источников проведён по

следующим ключевым словам на русском и английском языках: спондилоптоз (spondyloptosis), спондилолистез высокой степени смещения позвонка (spondylolisthesis high grade), дети и подростки (children and adolescents).

Результаты и обсуждение

Как следует из литературных источников, первыми спондилоптоз в отдельную, самую тяжёлую, V степень спондилолистеза позвонка L_5 выделили Н. Junge и Р. Kuhl в 1956 г. [8]. Эти немецкие авторы доработали всем известную классификацию Н.В. Meyerding, согласно которой все случаи спондилолистеза следует подразделять на 4 степени, по величине переднего смещения вовлечённого в патологический процесс поясничного позвонка, что определяют на рентгенограмме поясничного отдела позвоночника и крестца в боковой проекции [9].

В последующие годы и до настоящего времени в клинической практике вертебрыологии, кроме классификации Н.В. Meyerding, широко используют классификации спондилолистеза, предложенные L.L. Wiltze и соавт. [10], И.М. Митбреттом [11], P.G. Marchetti и P. Bartolozzi [12] и другими авторами.

После того как в 2005–2006 гг. международной группой исследователей (Spinal Deformity Study Group — SDSG) были опубликованы результаты изучения сагиттального позвоночно-тазового баланса у пациентов с дегенеративными деформациями позвоночника, канадские учёные J.M. Mac-Thiong и Н. Labelle разработали классификацию педиатрических пояснично-крестцовых спондилолистезов [13]. Предложенная классификация основана на комплексной оценке трёх важнейших параметров: степени смещения тела позвонка, степени наклона таза и степени сбалансированности позвоночно-тазового баланса. Согласно критериям этой классификации, спондилоптоз у детей отнесён к категории с высокой степенью смещения позвонка (high-grade), с большой вели-

чиной ретроверсии таза и большой величиной наклона крестца. Кроме перечисленных параметров нарушения люмбо-сакрального сегмента, важную роль в патогенезе спондилоптоза у пациентов отводят переднему смещению тазобедренных суставов [5]. Это ещё в большей степени нарушает ориентацию позвоночника относительно крестца и нижних конечностей, являясь фактором высокой степени риска перелома межсуставной части дуги позвонка L_v [14].

Кроме нарушений позвоночно-тазового баланса, у детей со спондилоптозом, как правило, диагностируют множественные дисплазии и аномалии развития пояснично-крестцового отдела позвоночника, становящиеся фоном, на котором в постнатальном периоде формируется и прогрессирует заболевание [15, 16]. Так, M.W. Al-Sebaui и соавт. демонстрируют клинический пример диагностики двусторонних спондилолизом межсуставной части дуг позвонков L_{III} , L_{III} и L_{IV} , спондилолистеза позвонка L_{IV} у девочки-подростка с установленным спондилоптозом [17].

Группа учёных из Сингапура под руководством W.-M. Yee за 23 года работы проанализировала результаты комплексной лучевой диагностики у 27 пациентов, оперированных по поводу спондилоптоза на предмет наличия диспластических симптомов позвонков. Оказалось, что во всех случаях у больных была куполообразная форма верхних отделов позвонка S_1 . Линии спондилолиза межсуставной части дуг позвонка L_v и незаращение задней части дуг верхних крестцовых позвонков были установлены по 88,9% клинических наблюдений соответственно. Трапециевидная форма позвонка L_v зарегистрирована в 74,1% случаев. Реже всего — в 59,2% случаев — у пациентов диагностирована аномалия тропизма и гипоплазия суставных отростков нижних поясничных позвоночно-двигательных сегментов [18].

Из перечисленных выше дисплазий и аномалий развития люмбо-сакрального перехода у пациентов со спондилоптозом большое значение в патогенезе заболевания отводят куполообразной форме верхних отделов крестца [19, 20]. Так, комплексное динамическое наблюдение за двумя девочками в течение нескольких лет позволило G. Gutman и соавт. установить, что по мере того как горизонтально расположенная верхняя замыкательная пластинка позвонка S_1 трансформируется в куполообразную, увеличиваются угол наклона и степень переднего смещения позвонка L_v . По мнению авторов, особенно ярко прогрессивное течение спондилолистеза выражено при наличии у па-

циента других дисплазий и аномалий развития пояснично-крестцового отдела позвоночника, прежде всего спондилолиза дуг позвонков [21]. Японские исследователи H. Manabe и соавт. экспериментальным путём установили ведущую патогенетическую роль куполообразной формы верхних отделов крестца в развитии тяжёлых форм детского спондилолистеза [22].

L.J. Curylo и соавт. подтверждают тот факт, что дисплазии заднего опорного комплекса крестца снижают механическую прочность пояснично-крестцового отдела и способствуют сдвигу каудального поясничного позвонка. По данным авторов, из 53 пациентов со спондилолистезом категории «high grade» и спондилоптозом в 62% случаев присутствуют дисплазии задних элементов позвоночника [23].

Интересно отметить, что проведённое отечественными ортопедами исследование 98 детей с различными степенями тяжести спондилолистеза позволило объективно установить дисплазии и аномалии развития практически у такого же количества пациентов — у 64,27% (63 ребёнка). При этом у 30 (47,61%) детей было диагностировано по одной аномалии развития, у 19 (30,15%) — по две, у 14 (22,24%) человек — по три и более. В структуре диагностированных аномалий преобладали случаи выявления незаращения задней части дуг (*spina bifida posterior*) позвонка L_v и/или крестцовых позвонков. В общей сложности у 63 детей случаи незаращения задней части дуг зарегистрированы в 89 позвонках, при этом были выявлены обе её формы, как «аррета», так и «оскулта». Кроме дефектов задних отделов дуг отдельных позвонков, у пациентов исследуемой когорты были диагностированы случаи незаращения всего крестцового канала (*hiatus sacralis totalis*) у 15 (23,8%) человек и аномалии количества. Последние были представлены люмбализацией позвонка S_1 (11 детей, 17,46%) и сакрализацией позвонка L_v (4 ребёнка, 6,34%) [24].

Объективное подтверждение спондилолистеза и спондилоптоза у детей основано на проведении обзорной рентгенографии поясничного отдела позвоночника и крестца. Это положение отражено в отчёте Комитета по доказательной медицине «Общества исследования сколиоза» (Scoliosis Research Society — SRS), в разделе, посвящённом методам диагностики поясничного спондилолистеза у детей [25]. Для постановки диагноза и проведения динамического наблюдения за течением патологического процесса наиболее информативна рентгенограмма в сагиттальной (боковой) проекции [26]. С целью установления характера нарушений

сагиттального позвоночно-тазового баланса необходимо проведение рентгенографии всего позвоночника и таза с тазобедренными суставами в переднезадней и боковой проекциях в положении пациента стоя [27, 28].

Нормой сагиттального баланса принято считать ситуацию, при которой на рентгенограмме в боковой проекции вертикальный отвес, опущенный из середины тела позвонка C_{VII} , «проходит» по передневерхнему углу позвонка S_1 — так называемая сагиттальная вертикальная ось (*sagittal vertical axis*) [29]. Вариантом нормы может быть ситуация, при которой вертикальный отвес в области крестца смещён кпереди или кзади, но не более чем на 2 см в каждом из направлений [30]. Превышение указанной величины свидетельствует о положительном (при смещении кпереди) или отрицательном (при смещении кзади) сагиттальном балансе [31]. Существует обоснованное мнение о том, что достоверно судить о состоянии сагиттального баланса можно лишь при оценке рентгенограммы головы, туловища, таза, бёдер, голени и стоп в боковой проекции в положении пациента стоя [32].

Компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ), проводимые пациентам со спондилоптозом, способны существенно детализировать характер патологии [33]. По мнению французских исследователей R. Vialle и соавт., именно КТ позволяет наиболее точно оценить основные количественные характеристики позвоночно-тазовых взаимоотношений в вертикальном положении пациентов и выработать наиболее рациональную тактику оперативного лечения спондилоптоза [34]. Результаты МРТ необходимы для оценки анатомических изменений мягкотканого связочного аппарата пояснично-крестцового отдела позвоночника, в том числе межпозвоночных дисков, степени компрессии дурального мешка и расположенных в нём элементов конского хвоста и сегментарных корешков [35].

В зависимости от характера и степени диагностированных нарушений у каждого конкретного ребёнка со спондилоптозом планируют индивидуальный объём хирургического вмешательства как безальтернативного метода проводимой терапии [3, 36, 37]. Цель операции — восстановление анатомических взаимоотношений в пояснично-крестцовом отделе позвоночника, а значит во всей локомоторной цепи «позвоночник — таз — нижние конечности», декомпрессия корешков конского хвоста, купирование болевого синдрома, стабилизация поражённого отдела с формированием костного блока [2, 5].

Следует особо отметить, что, по мнению большинства специалистов, вопросы хирургического лечения спондилоптоза остаются дискуссионными [7, 38, 39]. Так, до настоящего времени не сформулирован алгоритм выбора метода оперативного вмешательства, остаются дискуссионными необходимость, степень и способы выполнения редукции сместившегося позвонка L_v , научно не обоснована протяжённость зоны спондилодеза, не разработаны меры профилактики появления или усугубления неврологических расстройств, в том числе посредством нейрофизиологического мониторинга, отсутствуют общепринятые клинические и лучевые критерии оценки результатов проводимого лечения [6, 26, 40–44]. Достаточно сказать, что к настоящему времени набор оперативных технологий в лечении спондилоптоза варьирует от фиксации *in situ* [37, 43] до выполнения 360° реконструкции с изменением параметров пояснично-тазового баланса [45, 46].

Как следует из литературных источников, первым хирургом, оперировавшим пациента со спондилоптозом, был J.A. Jenkins. Этот английский врач в 1936 г. использовал передний спондилодез по способу Berns в оперативном лечении 16-летнего подростка со спондилоптозом [47]. С 60-х годов XX века в оперативном лечении спондилолистезов высокой степени стали применять методику L.L. Wiltse — спондилодез аутокостью *in situ* [48].

Неудовлетворённость результатами лечения спондилоптоза, прежде всего несостоятельностью спондилодеза, побудила американского хирурга R.W. Gaines разработать технику операции, заключающуюся в тотальной резекции тела позвонка L_v из переднего внебрюшинного доступа (1-й этап), редукции позвонка L_{IV} и заднем спондилодезе $L_{IV}-S_1$ (2-й этап) с последующей иммобилизацией позвоночника корсетом до формирования костно-металлического блока [49]. За 25 лет, к 2005 г., автор прооперировал по разработанной им методике 30 больных [50].

Позднее K. Kalra и соавт. модифицировали операцию Гейнса, начав осуществлять резекцию только нижней части тела позвонка L_v [51]. В нашей стране положительный опыт лечения спондилоптоза у 11-летней пациентки с помощью операции Гейнса представили сотрудники Центрального института травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова [52].

С внедрением в вертебрологическую практику транспедикулярного спондилодеза (CD-инструментарий) эта технология нашла своё применение и в хирургическом лечении спондилоптоза [53, 54]. Кроме традиционного ва-

рианта транспедикулярного спондилодеза, А.А. Афаунов и соавт. в лечении спондилоптоза у 22-летней пациентки с успехом применили аппарат внешней транспедикулярной фиксации для постепенной и дозированной, в течение 34 дней, редукции смещённого в полость таза позвонка L_v . После успешного восстановления анатомических взаимоотношений на уровне позвоночно-двигательного сегмента L_v-S_1 пациентке был произведён погружной этап транспедикулярного спондилодеза конструкцией из 6 полиаксиальных винтов. Завершающим этапом лечения был передний корпородез на уровне сегмента L_v-S_1 аутотрансплантатом из крыла левой подвздошной кости, позволивший достичь стабилизации в 360° [55].

С.В. Виссарионов и соавт. в лечении детей со спондилолистезом III–IV степени тяжести и спондилоптозом с успехом применяют одноэтапное хирургическое вмешательство из заднего доступа под нейрофизиологическим интраоперационным контролем. Объём операции, по описанию авторов, состоит в ламинэтомии позвонка L_v , ревизии позвоночного канала и радикулолизе, восстановлении сагиттального баланса позвоночника путём редукции тела позвонка L_v , удалении дегенеративно изменённого межпозвонкового диска L_v-S_1 , стабилизации металлоконструкциями и аутокостью пояснично-крестцового отдела позвоночника в физиологически правильном положении [5, 56].

При анализе научных публикаций последних лет, посвящённых оперативным технологиям в лечении спондилоптоза у растущих пациентов, обращает на себя внимание тот факт, что большинство авторов отдают предпочтение циркулярному спондилодезу как наиболее эффективному [3, 33, 36, 57]. Так, например, американские авторы W. Molinari и соавт. проанализировали результаты хирургического лечения спондилолистеза категории «high-grade» у 37 детей в зависимости от техники выполнения операции — заднего спондилодеза $L_{IV}-S_1$ *in situ* (18 человек) и 360° реконструкции (19 человек). При изучении отдалённых результатов оказалось, что, например, псевдоартроз был зарегистрирован только у пациентов, оперированных задним спондилодезом, — 7 (38,88%) клинических наблюдений. Ревизионные операции, проведённые этим пациентам в объёме 360° реконструкции, позволили достичь во всех случаях адекватного циркулярного спондилодеза [58].

По мнению С.О. Рябых и соавт., использование техники 360° реконструкции с удалением дуги порочного позвонка L_v и менинго-

радикулолизом позвонка S_1 , широким релизом в объёме «bone-disc-bone остеотомия» на уровне L_v-S_1 с изменением угла наклона крестца — ключевой фактор достижения мобилизации и радикальной коррекции параметров пояснично-тазового баланса при тяжёлых формах спондилолистеза у детей [46]. В то же время при выполнении циркулярного спондилодеза с редукцией значительно возрастает риск неврологических осложнений [59, 60].

Существует мнение, что расширенный объём оперативного вмешательства на структурах позвоночного столба, особенно у больных младших возрастных групп, чреват опасностью задержки роста детских позвонков [61]. Литературные данные опровергают эти суждения. Так, M. Ruf и соавт. ретроспективно оценили 19 клинических случаев использования 91 педикулярного винта у детей 1–2 лет, оперированных по поводу различных заболеваний позвоночника. В отдалённом периоде у одного ребёнка зафиксирована поломка одного из винтов, у двух детей — нарушения винтового соединения. Авторы делают вывод о том, что применение педикулярных винтов зачастую бывает единственным способом надёжной фиксации структур позвоночника, и их установка не оказывает влияния на рост позвонков [62].

С этими выводами согласны J. Li и соавт., имплантировавшие 74 педикулярных винта 16 детям в возрасте 1–4 лет. Послеоперационная КТ показала неадекватную установку 5 (6,75%) винтов, при этом медиальной мальпозиции не зарегистрировано ни в одном из случаев. Отдалённые результаты оперативного лечения в сроки от 3 до 7 лет удалось изучить у 7 пациентов. Во всех клинических наблюдениях зарегистрированы обычные форма и размеры позвонков [63].

A. Ranade и соавт. приводят опыт установки 88 педикулярных винтов диаметром 3,5–5,5 мм для грудных позвонков и диаметром 4–6 мм для поясничных позвонков 16 детям младше 8 лет. В 6 (6,81%) наблюдениях посредством послеоперационной КТ была зафиксирована мальпозиция металлоконструкций, в одном из описанных случаев — медиальная. Авторы публикации высказывают мнение о том, что педикулярные винты точно можно устанавливать у самых маленьких детей [64].

В подтверждение сказанному J. Stulik и соавт. сообщают о безопасной возможности введения пары винтов в зубовидный отросток позвонка C_{II} у детей годовалого возраста [65].

Анализ литературных источников, посвящённых спондилоптозу у детей, показывает,

что эта патология может быть диагностирована у детей первых лет жизни [1, 2, 66–68]. В этих случаях следует помнить, что хирургические вмешательства могут приводить, по мнению Ж. Дюбуссе, к катастрофическим последствиям, так как вероятно нарушение сбалансированного роста незрелого позвоночника и окружающих его структур. Автор убеждён, что в современной вертебрологии детского возраста главным является вопрос о том, когда и как начинать хирургическое лечение активно растущих детей с прогрессирующими деформациями позвоночника различной этиологии [69].

Изучение отделённых результатов лечения детей со спондилолистезом высокой степени показывает, и это парадоксально, что отсроченное хирургическое вмешательство, как правило, не приводит к серьёзным изменениям их качества жизни [59]. Так, канадские исследователи E. Bourassa-Moreau и соавт. проанализировали результаты лечения 34 детей, из которых 29 были оперированы по поводу спондилолистеза категории «high-grade». В ходе динамического исследования была использована анкета «Scoliosis Research Society (SRS)-22». Результаты анализа показали, что качество жизни пациентов, оперированных на позвоночнике и лечившихся консервативно, существенно ничем не различалось [70].

С этими выводами согласны китайские авторы X. Хуе и соавт., использовавшие в ходе аналогичного исследования той же категории пациентов «шкалу Newcastle-Ottawa» (NOS). Оказалось, что в группах оперированных и не оперированных детей статистически достоверной разницы в оценке критериев «шкалы NOS» не зарегистрировано [71]. Дети и подростки, кому оперативное лечение тяжёлых форм спондилолистеза приносит наибольшую пользу, имеют более низкие исходные показатели качества жизни, связанные со здоровьем [72].

Методы лечения, используемые в детской оперативной вертебрологии, «следуют» за развитием общей вертебральной хирургии [69]. В последнее время в связи с широким внедрением в клиническую медицину компьютерных и роботизированных технологий предпринимают успешные попытки разработки индивидуальных 3D-конструкций, используемых в педиатрической практике [73–75]. Так, М.А. Герасименко и соавт. в своей статье продемонстрировали первый положительный опыт 3D-проектирования и прототипирования в хирургическом лечении многоплоскостной деформации позвоночника, сформированной на фоне

заднего клиновидного полупозвонка L₁ у 6-летней девочки [76].

Американские авторы J. Parthasarathy и соавт. при оперативном лечении спондилоптоза у подростка применили индивидуально изготовленные на 3D-принтере композитные модели фиксаторов, разработанных с учётом особенностей позвоночно-тазового баланса конкретного пациента. В своей статье авторы описывают технологию рабочего процесса изготовления подобных изделий, иллюстрируют особенности их использования в клинической практике [77].

Заключение

Спондилоптоз у детей, подростков и лиц молодого возраста представляет собой проблему, актуальность которой определяется, прежде всего, нерешённостью вопросов лечебной тактики. Очевидно, что лечение заболевания должно быть оперативным. При этом единого мнения в отношении сроков проведения и объёма хирургических вмешательств на сегодняшний день не существует.

Нормализация нарушенного позвоночно-тазового баланса у детей со спондилоптозом — важнейшая задача проводимого лечения, и достичь её можно только путём использования техники 360° реконструкции поясничного отдела позвоночника и крестца. По мнению большинства авторов, дальнейшее совершенствование медицинских технологий позволит достигать лучших результатов хирургического лечения детей со спондилоптозом с минимальным риском неврологических осложнений при восстановленной анатомии позвоночника, таза и нижних конечностей, а их проспективный анализ позволит качественно изменить доказательность и силу рекомендаций по тактике лечения.

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов по представленной статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gressot LV, Mata JA, Luerssen TG, Jea A. Surgical treatment of congenital thoracolumbar spondyloptosis in a 2-year-old child with vertebral column resection and posteriorly circumferential reconstruction of the spine column: case report. *J Neurosurg Pediatr.* 2015;15(2):207–213. DOI: 10.3171/2014.9.PEDS14151.
2. Wild A, Jager M, Werner A, Euler J, Krauspe R. Treatment of congenital spondyloptosis in a patient for 18-months, follow-up 10-years. *Spine.* 2011;26(21):502–505. DOI: 10.1097/00007632-200111010-00021.

3. Lak AM, Abunimer AM, Rahimi A, Tafel I, Chi J, Lu Y, Groff M, Zaidi HA. Outcomes of minimally invasive versus open surgery for intermediate to high-grade spondylolisthesis: A 10-year retrospective, multicenter experience. *Spine*. 2020;45(20):1451–1458. DOI: 10.1097/BRS.0000000000003573.
4. Платунов В.В., Кравчуков И.В., Батрак Ю.М. Оценка результатов хирургического лечения истинного спондилолистеза. *Травматология и ортопедия России*. 2013;(2):159. [Platunov VV, Kravchukov IV, Batrak YuM. Evaluation of the results of surgical treatment of true spondylolisthesis. *Travmatologiya i ortopediya Rossii*. 2013;(2):159. (In Russ.)]
5. Виссарионов С.В., Мурашко В.В., Дроздецкий А.П., Крутелев Н.А., Белянчиков С.М. Современный подход к хирургическому лечению спондилолистеза у детей. *Хирургия позвоночника*. 2009;(3):56–63. [Vissarionov SV, Murashko VV, Drozhdetsky AP, Krutlev NA, Belyanchikov SM. The modern approach to surgical treatment of spondylolisthesis in children. *Hirurgiya pozvonochnika*. 2009;(3):56–63. (In Russ.)]
6. Крутько А.В., Сангинов А.Д., Гиерс М.В., Альшевская А.А., Москалёв А.В. Хирургическое лечение патологии нижнего поясничного отдела позвоночника у детей и подростков. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2018;6(4):37–47. [Krutko AV, Sanginov AD, Giers MV, Alshvetskaya AA, Moskalev AV. Surgical treatment of pathology of the lower lumbar spine in children and adolescents. *Pediatric orthopedics, traumatology and reconstructive surgery*. 2018;6(4):37–47. (In Russ.)] DOI: 10.17816/PTORS 6437-47.
7. Rivollier M, Marlier B, Kleiber JC, Eap C, Litre CF. Surgical treatment of high-grade spondylolisthesis. *J Orthop*. 2020;22:383–389. DOI: 10.1016/j.jor.2020.08.015.
8. Junge H, Kuhl P. Appearance and significance of neural symptoms in lumbar spondylolisthesis and indications for operative management. *Bruns Beitr Klin Chir*. 1956;193(1):39–58.
9. Meyerding HW. Spondylolisthesis, surgical fusion of lumbosacral portion of spinal column and interarticular facets; use of autogenous bone grafts for relief of disabling backache. *J Int Coll Surg*. 1956; 26(5 Part 1):566–591. PMID: 13367505.
10. Wiltze LL, Newman PH, McNab I. Classification of spondylolysis and spondylolisthesis. *Clin Orthop Relat Res*. 1976;117:23–29. DOI: 10.1097/00003086-197606000-00003.
11. Митбрейт И.М. *Спондилолистез*. М.: Медицина; 1978; 272 с. [Mitbrejt IM. *Spondilolistez*. (Spondylolisthesis.) Moscow: Medizina; 1978. 272 p. (In Russ.)]
12. Marchetti PG, Bartolozzi P. Classification of spondylolisthesis as a guideline for treatment. In: Bridwell KH, DeWald RI, editors. *The textbook of spinal surgery*. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott-Raven; 1997. p. 1211–1254.
13. Mac-Thiong JM, Labelle H. A proposal for a surgical classification of pediatric lumbosacral spondylolisthesis based on current literature. *Eur Spine J*. 2006;15:1425–1435. DOI: 10.1007/s00586-006-0101-4.
14. Vidal J, Marnaj T. Morphology and anteroposterior body equilibrium in spondylolisthesis L₅–S₁. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 1983;69(1):17–28. PMID: 6222428.
15. Ploumis A, Hantzidis P, Dimitriou C. High-grade dysplastic spondylolisthesis and spondyloptosis: Report of tree cases with surgical treatment and review of the literature. *Acta Orthop Belg*. 2005;71(6):750–757. PMID: 16459872.
16. Patel AJ, Vadivelu S, Desai SK, Jea A. Congenital hypoplasia or aplasia of the lumbosacral pedicle as an unusual cause of spondylolisthesis in the pediatric age group. *J Neurosurg Pediatr*. 2013;11(6):717–721. DOI: 10.3171/2013.3.PEDS12579.
17. Al-Sibay MW, Al-Havashka H. Spondyloptosis and multiple-level spondylolysis. *Eur Spine J*. 1999;8(1):75–77. DOI: 10.1007/s005860050130.
18. Yue W-M, Brodner W, Gaines RW. Abnormal spinal anatomy in 27 cases of surgically corrected spondyloptosis: Proximal sacral endplate damage as a possible cause of spondyloptosis. *Spine*. 2005;30(6):22–26. DOI: 10.1097/01.brs.0000155572.72287.92.
19. Min K, Liebscher T, Rothenfluh D. Sacral dome resection and single-stage posterior reduction in the treatment of high-grade high dysplastic spondylolisthesis in adolescents and young adults. *Eur J Spine*. 2012;21(6):785–791. DOI: 10.1007/s00586-011-1949-5.
20. Yamashita K, Higashino K, Sakai T, Takata Y, Nagamachi A, Sairyo K. Natural correction and adaptation of a severely deformed sacral dome in an adolescents with isthmic spondylolisthesis: A case report. *JBJS Case Connect*. 2017;7(2):e26. DOI: 10.2106/JBJS.CC.16.00117.
21. Gutman G, Silvestre C, Roussouly P. Sacral doming progression in developmental spondylolisthesis: a demonstrative case report with two different evolutions. *Eur J Spine*. 2014;23(2):288–295. DOI: 10.1007/s00586-014-3306-y.
22. Manabe H, Yamashita K, Higashino K, Morimoto M, Sugiura K, Ishihama Y, Tezuka F, Takata Y, Sakai T, Sairyo K. Bone formation during correction of vertebral rounding deformity in a rat model of pediatric spondylolisthesis. *Spine*. 2021;46(5):294–302. DOI: 10.1097/BRS.0000000000003779.
23. Curylo LJ, Edwards C, DeWald RW. Radiographic markers in spondyloptosis: implications for spondylolisthesis progression. *Spine*. 2002;27(18):2021–2025. DOI: 10.1097/00007632-200209150-00010.
24. Скрябин Е.Г. Спондилолиз и спондилолистез нижних поясничных позвонков у детей и подростков. *Гений ортопедии*. 2017;23(1):71–73. [Skriabin EG. Spondylolysis and isthmic spondylolisthesis of the lower lumbar vertebrae in children and adolescents. *Geniy ortopedii*. 2017;23(1):71–73. (In Russ.)] DOI: 10.18019/1028-4427-2017-23-1-71-73.
25. Kim HJ, Crowford CH 3rd, Ledonio C, Bess S, Larson AH, Gates M, Oetgen M, Sanders JO, Burton D. Current evidence regarding the diagnostic methods for pediatric lumbar spondylolisthesis: A report from the Scoliosis Research Society Evidence Based Medicine Committee. *Spine Deform*. 2018;6(2):185–188. DOI: 10.1016/j.jspd.2017.08.010.
26. Li Y, Hresko MT. Radiographic analysis of spondylolisthesis and sagittal spino-pelvic deformity. *J Am Acad Orthop Surg*. 2012;20(4):194–205. DOI: 10.5435/JAAOS-20-04-194.
27. Mossaad MM. Spondylolisthesis. *Res Rev Health Care Open Acc J*. 2020;5(4):512–521. DOI: 10.32474/RRHO AJ.2020.05.000219.
28. Rajasekaran S, Aiyer S, Kanna RM. High-grade spondylolisthesis: Pediatric and adults. In: *Lumbar spine online textbook*. Section 19. Chapter 4. <https://www.wheellessonline.com/issls/section-19-chapter-4-high-grade-spondylolisthesis-pediatric-and-adults/> (access date: 10.06.2021).
29. Cavanilles-Walker JM, Ballesteros C, Ubierna MT, Tomasi SO. Adult spinal deformity: Sagittal imbalance. *Int J Orthop*. 2014;1(3):64–72.
30. Макиров С.К., Юз А.А., Джахаф М.Т. Методика оценки параметров сагиттального позвоночно-тазового

- баланса. *Хирургия позвоночника*. 2015; 12(3):55–63. [Makirov SK, Yuz AA, Jahaf MT. Method of assessing the parameters of the sagittal spinal pelvic balance. *Hirurgiya pozvonochnika*. 2015;12(3):56–63. (In Russ.)] DOI: 10.14531/ss2015.3.55–63.
31. Бурцев А.В., Рябых С.О., Котельников А.О., Губин А.В. Клинические аспекты сагиттального баланса у взрослых. *Гений ортопедии*. 2017;23(2):228–235. [Burtsev AV, Ryabikh SO, Kotelnikov AO, Gubin AV. Clinical issues of the sagittal balance in adults. *Geniy ortopedii*. 2017;23(2):71–73. (In Russ.)] DOI: 10.18019/1028-4427-2017-23-2-228-235.
32. Ozer AF, Kaner T, Bozdoğan C. Sagittal balance in the spine. *Turk Neurosurg*. 2014; 24(1):13–19.
33. Mehdian SMH, Arun R, Jones A, Cole AA. Reduction of severe adolescent isthmic spondylolisthesis: a new technique. *Spine*. 2005;30(19):579–584. DOI: 10.1097/01.brs.0000181051.60960.32.
34. Vialle R, Ilharberborde B, Dauzage C, Guigui P. Intra and inter-observer reliability of determining degree of pelvic incidence in high-grade spondylolisthesis using a computer assisted method. *Eur J Spine*. 2006;15(10):1449–1453. DOI: 10.1007/s00586-006-0096-x.
35. *Диагностика и лечение спондилолистеза*. Клинические рекомендации Ассоциации травматологов-ортопедов России. М.; 2014. 36 с. [*Diagnostika i lechenie spondilolisteza*. Klinicheskie rekomendatsii Assotsiatsii travmatologov-ortopedov Rossii. (Diagnostics and treatment of spondylolisthesis. Clinical guidelines of the Association of Orthopedic Traumatologists of Russia.) Moscow; 2014. 36 p. (In Russ.)]
36. Virkki EN, Oksanen H, Diarbakerli E, Helenius L, Pape B, Pajulo O, Gerdhem P, Helenius I. Health-related quality of life outcomes of instrumented circumferential spinal fusion for pediatric spondylolisthesis: A comparison with age and sex matched healthy controls. *Spine*. 2020; 45(23):1572–1579. DOI: 10.1097/brs00000000000003681.
37. Grzegorzewski A, Kumar SJ. In situ posterolateral spine arthrodesis for grades III, IV and V spondylolisthesis in children and adolescents. *J Pediatr Orthop*. 2000;20(4):506–511. DOI: 10.097/00004694-200007000-00016.
38. Geiger F, Wirries A. Spondylolisthesis in the growing spine. *Orthopade*. 2019;48(6):494–502. DOI: 10.1007/s00132-019-03742-5.
39. Kunze KN, Lilly DT, Khan DM, Louis FK, Ferguson D, Basques BA, Nolte MT, Dewald CJ. High-grade spondylolisthesis an adults: current concepts of assessment and treatment. *Int J Spine Surg*. 2020;14(3):327–340. DOI: 10.14444/7044.
40. Lonner BS, Song EW, Scharf CL, Yao J. Reduction of high-grade isthmic and dysplastic spondylolisthesis in 5 adolescents. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*. 2007;36(7):367–373. PMID: 17694184.
41. Syal A, Shah YB, Desai CV, Chandani SP. L₅–S₁ spondyloptosis: Surgical treatment by two staged GAINES'S procedure: A case report. *IJSR*. 2014;7(3):1–4. DOI: 10.15373/22778179/July2014/170.
42. Nakamae T, Tanaka N, Nakanishi K, Kamei N, Hamasaki T, Izumi B, Fujioka Y, Ohta R, Ochi M. Surgical treatment of high-grade dysplastic spondylolisthesis using intraoperative electrophysiological monitoring: report of two cases and review of the literature. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2013;23(1):121–127. DOI: 10.1007/s00590-013-1199-9.
43. Poussa M, Remes V, Lamberg T, Tervahartiala P, Schlenzka D, Yrjonen T, Osterman K, Seitsalo S, Helenius I. Treatment of severe spondylolisthesis in adolescence with reduction or fusion in situ: long-term clinical, radiologic, and functional outcome. *Spine*. 2006;31(5):583–590. DOI: 10.1097/01.brs.0000201401.17944.f7.
44. Ofluoglu AE, Hergunsel OB, Baydin S, Gunaldi O, Emel E. L₅–S₁ spondyloptosis treated by a single-stage posterior approach: an alternative technoloque. *J Turk Spinal Surg*. 2013;24(3):237–242.
45. Schufflebarger HL, Geck MJ. High-grade isthmic dysplastic spondylolisthesis: monosegmental surgical treatment. *Spine*. 2005;30(6):42–48. DOI: 10.1097/01.brs.0000155583.55856.f9.
46. Рябых С.О., Савин Д.М., Филатов Е.Ю., Котельников А.О., Сайфутдинов М.С. Результаты хирургического лечения спондилолистеза тяжёлой степени (анализ моноцентральной когорты и обзор литературы). *Травматология и ортопедия России*. 2019;25(3):100–111. [Ryabikh SO, Savin DM, Filatov EYu, Kotelnikov AO, Sayfutdinov MS. Outcomes of Surgical Treatment of High-Grade Spondylolisthesis (Monocenter Cohort and Literature Review). *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2019;25(3):100–111. (In Russ.)] DOI: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-100-111.
47. Митбрэйт И.М., Глазырин Д.И. Передний спондилодез В.Д. Чаклина. *Хирургия позвоночника*. 2017;14(1):91–99. [Mitreit IM, Glazyrin DI. Chaklin's method of anterior spinal fusion. *Hirurgiya pozvonochnika*. 2017;14(1):91–99. (In Russ.)] DOI: 10.14531/ss2016.4.91-99.
48. Wiltse LL, Bateman JG, Hutchinson RH, Nelson WE. The paraspinal sacrospinalis-splitting approach to the lumbar spine. *J Bone Joint Surg Am*. 1968;50:919–926. DOI: 10.2106/00004623-196850050-00004.
49. Gaines RW, Nichols WK. Treatment of spondylolisthesis by two stage L₅ vertebrectomy and reduction of L₄ onto S₁. *Spine*. 1985;10(7):680–686. DOI: 10.1097/00007632-198509000-00015.
50. Gaines RW. L₅ vertebrectomy for the surgical treatment of spondyloptosis: Thirty cases in 25-years. *Spine*. 2005;30(6):66–70. DOI: 10.1097/01.brs.0000155577.19606.df.
51. Kalra K, Dhar S. A modified Gaines procedure for spondyloptosis. *J Bone Joint Surg Br*. 2010;92(11):1589–1591. DOI: 10.1302/0301-620X.92B11.24382.
52. *Клинический случай для обсуждения, представленный сотрудниками отделения патологии позвоночника ФГУ «ЦИТО им. Н.Н. Приорова Росмедтехнологий»*. http://spineinfo.ru/infocases/cases_19.html (дата обращения: 10.06.2021). [A clinical case for discussion presented by the staff of the Department of Spinal Pathology of the Federal State Institution “CITO named after N.N. Priorov of Rosmedtekhologii”. http://spineinfo.ru/infocases/cases/cases_19.html (access date: 10.06.2021). (In Russ.)]
53. Cotrel Y, Dubousset J. A new technic for segmental spinal osteosynthesis using the posterior approach. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 1984;70(6):489–494. PMID: 6239334.
54. Dubousset J. Treatment of spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents. *Clin Orthop Relat Res*. 1997;337:77–85. DOI: 10.1097/00003086-199704000-00010.
55. Афаунов А.А., Полюхович Э.М., Афаунов А.И., Шевченко А.В. Клинический случай хирургического лечения тяжёлого спондилоптоза. *Хирургия позвоночника*. 2008;(1):20–23. [Afaunov AA, Polyukhovich EM, Afaunov AI, Shevchenko AV. Surgical treatment of severe spondylolisthesis: clinical case report. *Hirurgiya pozvonochnika*. 2008;(1):20–23. (In Russ.)]

56. Виссарионов С.В., Мурашко В.В., Дроздецкий А.П., Гусева И.А., Качалова Е.Г. Результат хирургического лечения спондилоптоза L₅ позвонка. *Хирургия позвоночника*. 2008;(4):20–23. [Vissarionov SV, Murashko VV, Drozdetsky AP, Guseva IA, Kachalova EG. Results of surgical treatment of L₅ spondyloptosis. *Hirurgiya pozvonochnika*. 2008;(4):20–23. (In Russ.)]
57. Sudarchan PK, Suthar HR, Varma VK, Krishnan A, Hegde SK. Long-term experience with reduction technique in high-grade spondylolisthesis in the young. *Int J Spine Surg*. 2018;12(3):399–407. DOI: 10.14444/5047.
58. Molinari RW, Bridwell KH, Lenke LG, Baldus C. Anterior column support in surgery for high-grade, isthmic spondylolisthesis. *Clin Orthop Relat Res*. 2002;(394):109–120. DOI: 10.1097/00003086-200201000-00013.
59. Lundine KM, Lewis SJ, Al-Aubaidi Z, Alman B, Howard AW. Patient outcomes in the operative and nonoperative management of high-grade spondylolisthesis in children. *J Pediatr Orthop*. 2014;34(5):483–489. DOI: 10.1097/BPO000000000000133.
60. Martiniani M, Lamartina C, Specchia N. “In situ” fusion or reduction in high-grade high dysplastic developmental spondylolisthesis (HDSS). *Eur Spine J*. 2012;21(1):134–140. DOI: 10.1007/s00586-012-2230-2.
61. Xue X, Shen J, Zhang J, Li S, Wang Y, Qiu G. X-Ray assessment of the effect of pedicle screw on vertebral and spinal canal growth in children before the age of 7 years. *Eur Spine J*. 2014;23(3):520–529. DOI: 10.1007/s00586-013-3035-7.
62. Ruf M, Harms J. Pedicle screw in 1- and 2-year-old children: technique, complications, and effect on further growth. *Spine*. 2002;27(21):460–466. DOI: 10.1097/00007632-200211010-00019.
63. Li J, Lu G, Wang B, Wang X, Lu C, Kang Y. Pedicle screw implantation in the thoracic and lumbar spine of 1–4-year-old children: evaluating the safety and accuracy by a computer tomography follow-up. *J Spinal Disord Tech*. 2013;26(2):46–52. DOI: 10.1097/BSD.0b013e31825d5c87.
64. Ranade A, Samdani AF, Williams R, Barne K, McGrit MJ, Ramos G, Betz RR. Feasibility and accuracy of pedicle screw in children younger than eight years of age. *Spine*. 2009;34(26):2907–2911. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181b77af3.
65. Stulik J, Geri G, Salavcova L, Barna M, Fojtik P, Nanka O. Pediatric dens anatomy its implications for fracture treatment: an anatomical and radiological study. *Eur J Spine*. 2021;30(2):416–424. DOI: 10.1007/s00586-020-06490-9.
66. Tandon V, Kaul R, Chharba HS, Nanda A. Dysplastic L₅–S₁ spondyloptosis in a 3-year-old child: A case report and review of the literature. *Cas Rep Orthop*. 2017;7:1892502. DOI: 10.1155/2017/1892502.
67. Liu SB, De Beritto TV. Congenital cervical spondyloptosis in the neonate: A prenatal diagnosis. *Pediatr Ann*. 2020;49(7):313–318. DOI: 10.3928/19382359-20200629-01.
68. O'Donnell M, Lavelle WF, Sun MH. Spondylolisthesis with spondylolysis in a 17-month-old: a case report. *J Spine Surg*. 2017;3(4):689–692. DOI: 21037/jss.2017.08.18.
69. Дюбуссе Ж. Хирургия позвоночника у детей: прошлое настоящее и будущее. *Хирургия позвоночника*. 2021;18(1):78–85. [Dubousset J. Spine surgery in children: past, present and future. *Hirurgiya pozvonochnika*. 2021;18(1):78–85. (In Russ.)] DOI: 10.14531/ss2021.1.78-85.
70. Bourassa-Moreau E, Labelle H, Mac-Thiong JM. Radiological and clinical outcome of non surgical management for pediatric high grade spondylolisthesis. *Stud Health Technol Inform*. 2010;158:177–181. DOI: 10.3233/978-1-60750-573-0-177.
71. Xue X, Wei X, Li L. Surgical versus treatment for high-grade spondylolisthesis in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2016;95(11):3070. DOI: 10.1097/MD.0000000000003070.
72. Bourassa-Moreau E, Mac-Thiong JM, Joncas J, Parent S, Labelle H. Quality of life of patients with high-grade spondylolisthesis: minimum 2-year follow-up after surgical and nonsurgical treatments. *Spine*. 2013;13(7):770–774. DOI: 10.1016/j.spinee.2013.01.048.
73. Vaishya R, Patralekh MK, Vaish A, Agarwal AK, Vijay V. Publication trend and knowledge mapping in 3D printing in orthopedics. *J Clin Orthop Trauma*. 2018; 9(3):194–201. DOI: 10.1016/j.jcot.2018.07.006.
74. Hsu MR, Haleem MS, Hsu W. 3D printing applications in minimally invasive spine surgery. *Min Invas Surg*. 2018;4760769. DOI: 10.1155/2018/4760769.
75. Burnard JL, Parr WCH, Choy WJ, Walsh WR, Mobbs RJ. 3D-printed spine surgery implants: a systematic review of the efficacy and clinical safety profile of patient-specific and off-the-shelf devices. *Eur J Spine*. 2020;29(6):1248–1260. DOI: 10.1007/s00586-019-06236-2.
76. Герасименко М.А., Тесаков Д.К., Макаревич С.В., Тесакова Д.Д., Бобрик П.А., Криворот К.А., Сацкевич Д.Г., Пустовойтов К.В. 3D проектирование и прототипирование в хирургическом лечении врождённых деформаций позвоночника у детей. *Хирургия позвоночника*. 2021;18(1):24–30. [Gerasimenko MA, Tesakov DK, Makarevich SV, Tesakova DD, Bobrik PA, Krivorot KA, Satskevich DG, Pustavoitau KV. 3D design and prototyping in surgical treatment of congenital spine deformities in children: the first experience. *Hirurgiya pozvonochnika*. 2021;18(1):24–30. (In Russ.)] DOI: 10.14531/ss2021.1.24-30.
77. Parthasarathy J, Sribnick EA, Ho ML, Beebe A. Customised hybrid CT-MRI 3D-printed model for grade V spondylolisthesis in a adolescents. *BMJ Case Report*. 2021;14(3):239192. DOI: 10.1136/bcr-2020-23.

Сведения об авторе

Скрябин Евгений Геннадьевич, докт. мед. наук, проф., каф. травматологии и ортопедии, ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России; skryabineg@mail.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4128-6127>

Author details

Evgeny G. Skryabin, M.D., D. Sci., Prof., Department of Traumatology and Orthopedics, Tyumen State Medical University; skryabineg@mail.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4128-6127>