



## Оценка опорной функции позвоночника при инфекционных спондилитах с применением алгоритмов искусственного интеллекта

Е.О. ПЕРЕЦМАНАС<sup>1</sup>, В.Н. БРЫЛЬ<sup>2</sup>, Ю.Ю. ЩЕПЕТЕВА<sup>1</sup>, А.А. БЕЗЗУБОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр фтизиопульмонологии и инфекционных заболеваний» МЗ РФ, Москва, РФ

<sup>2</sup> ООО НТЦ «Электроника», Москва, РФ

РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** разработать с использованием алгоритмов искусственного интеллекта методику оценки опорной функции позвоночника при инфекционном спондилите по данным параметров сагиттального баланса и сегментарной нестабильности.

**Материалы и методы.** Проведено ретроспективное исследование 249 пациентов с инфекционным спондилитом, госпитализированных в ФГБУ «НМИЦ ФПИ» МЗ РФ в период с 2020 по 2022 гг. Этиология воспалительного процесса в позвоночнике определялась при микробиологическом и патоморфологическом исследованиях биологического материала из очага деструкции в позвоночнике.

**Результаты.** Выделены группы пациентов с туберкулезным спондилитом ( $n = 114$ ) и неспецифическим спондилитом ( $n=135$ ). В группах прослежена частота неврологических осложнений и выраженность деструктивного процесса по классификации Pola и по шкале Asia-IMSOP, проведен статистический и корреляционный анализ параметров патологической нестабильности позвоночных сегментов и глобального сагиттального баланса. Тяжелые типы нарушения опорной функции с учетом суммарных данных отклонений сагиттального баланса и сегментарной нестабильности диагностированы у 45,7%. Разработана классификация, в которой детализированы и конкретизированы с использованием математических параметров виды и степени нарушения опорной функции с учетом данных как глобального сагиттального баланса, так и сегментарных нарушений.

**Ключевые слова:** спондилит, сагиттальный баланс, туберкулез, позвоночник, искусственный интеллект.

**Для цитирования:** Перецманас Е.О., Брыль В.Н., Щепетева Ю.Ю., Беззубов А.А. Оценка опорной функции позвоночника при инфекционных спондилитах с применением алгоритмов искусственного интеллекта // Туберкулёз и болезни лёгких. – 2025. – Т. 103, № 2. – С. 44–52. <http://doi.org/10.58838/2075-1230-2025-103-2-44-52>

## Assessment of Spinal Support Function in Infectious Spondylitis by Artificial Intelligence Algorithms

Е.О. PERETSMANAS<sup>1</sup>, V.N. BRYL<sup>2</sup>, YU.YU. SCHEPETEVA<sup>1</sup>, A.A. BEZZUBOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National Medical Research Center of Phthisiopulmonology and Infectious Diseases, Russian Ministry of Health, Moscow, Russia

<sup>2</sup> ООО NTC Elektronika, Moscow, Russia

ABSTRACT

**The objective:** using artificial intelligence algorithms to develop a method for assessing the support function of the spine in infectious spondylitis based on sagittal balance and segmental instability parameters.

**Subjects and Methods.** 249 patients with infectious spondylitis were included in a retrospective study, all of them were admitted to National Medical Research Center of Phthisiopulmonology and Infectious Diseases from 2020 to 2022. The etiology of the spinal inflammation was determined by microbiologic and pathomorphologic tests of biological specimens from the focus of spinal destruction.

**Results.** Patients were divided into the groups of those with tuberculous spondylitis ( $n=114$ ) and those with non-specific spondylitis ( $n= 35$ ). The frequency of neurological complications and severity of destruction according to Pola classification and Asia-IMSOP scale were assessed in the groups; statistical and correlation analysis of the parameters of pathologic instability of vertebral segments and global sagittal balance was performed. Severe types of support dysfunction taking into account the summarized data of sagittal balance deviations and segmental instability, were diagnosed in 45.7%. A classification has been developed that details and specifies using mathematical parameters, types and degrees of impairment of the support function, taking into account both global sagittal balance data and segmental disorders.

**Key words:** spondylitis, sagittal balance, tuberculosis, spine, artificial intelligence.

**For citation:** Peretsmanas E.O., Bryl V.N., Schepeteva Yu.Yu., Bezzubov A.A. Assessment of spinal support function in infectious spondylitis by artificial intelligence algorithms. *Tuberculosis and Lung Diseases*, 2025, vol. 103, no. 2, pp. 44–52. (In Russ.) <http://doi.org/10.58838/2075-1230-2025-103-2-44-52>

Для корреспонденции:  
Перецманас Евгений Оркович  
E-mail: peretsmanas58@mail.ru

Correspondence:  
Evgeniy O. Peretsmanas  
Email: peretsmanas58@mail.ru

## Введение

Частота инфекционных спондилитов по данным на 2018 г. составляет 1,0-2,5 случая на 100 тыс. населения; в структуре гнойно-воспалительных заболеваний скелета – 4-8%. От 5,8 до 14,6% случаев заболеваний осложняются сепсисом; 1,2-8,0% – приводят к летальным исходам [4]. При прогнозировании исходов ИС рядом авторов доказана значимая роль параметров сагиттального баланса позвоночного столба [1, 3, 5, 7, 8]. Показано, что нарушение у пациента опорной функции позвоночника коррелирует с наличием болевого синдрома, приводящего его к инвалидности, и является основным фактором при определении качества жизни [6]. Общая оценка состояния всего позвоночника и измерение параметров сагиттального баланса позволяют определить степень коррекции, которую необходимо провести во время операции [10]. Тактика лечения, кроме эрадикации инфекционного процесса и стабилизации пораженного сегмента (сегментов) позвоночника, должна дополняться этапом хирургической коррекции для восстановления опорной функции позвоночника [2].

На наш взгляд, показатели только глобального сагиттального баланса не полностью отражают картину нарушения опорной функции позвоночника, поэтому мы предлагаем учитывать и важные параметры локальной сегментарной нестабильности, определяемые по соотношению угловых и трансляционных показателей позвоночно-двигательных сегментов. Учитывая параметры глобального сагиттального баланса и сегментарной нестабильности, возможно создать более эффективную диагностическую тактику определения нарушений опорной функции и, соответственно, персонализированную программу лечения пациента.

## Цель исследования

Разработать с использованием алгоритмов искусственного интеллекта методику оценки опорной функции позвоночника при инфекционном спондилите по данным параметров сагиттального баланса и сегментарной нестабильности.

## Материалы и методы

Проведено ретроспективное исследование 249 пациентов с инфекционным спондилитом, госпи-

тализированных в ФГБУ «НМИЦ ФПИ» МЗ РФ в период с 2020 по 2022 гг. Исходные данные взяты из истории болезни пациентов. Этиология воспалительного процесса в позвоночнике определялась по данным микробиологического исследования биологического материала, полученного в результате трепанобиопсии очага деструкции в позвоночнике.

Критерии включения пациентов в исследование: возраст 18-80 лет; для больных ВИЧ-инфекцией – документированный факт приема антиретровирусной терапии. Критерии невключения в исследование: септическое состояние; наличие декомпенсированных заболеваний; наличие глубоких (4 степени) трофических поражений кожных покровов; неоднократное прерывание противотуберкулезной химиотерапии или отрыв от лечения.

Для достижения поставленной цели в программе для ЭВМ «Медицинская информационная платформа BravMed» (Свидетельство о регистрации № 202368146 от 13.10.2023 г.) сформирована база данных, содержащая результаты лучевого, клинико – эпидемиологического и инструментального обследования пациентов. Для анализа опорной функции позвоночника в базу включен ряд показателей опорной функции, на основании которых проведено машинное обучение анализирующей программы: смещение позвонка, наклон позвонка, угол наклона таза, угол наклона крестца, сагиттальная вертикальная ось, угол грудного кифоза. Машинное обучение проводилось методом построения дерева принятия решения (автор метода Джон Баланс <https://intertechnology.livejournal.com/4372.html>). Дерево решений (Decision Tree) – это модель машинного обучения, которая представляет собой дерево с узлами и листьями. Узлы дерева представляют собой решения, которые необходимо принимать, а листья – конечные результаты. В задачах классификации каждый лист дерева соответствует определенному классу, а в задачах регрессии – числовому значению. Основная задача алгоритма заключается в построении бинарного дерева, в котором каждый внутренний узел представляет собой условие и признаки, а листья – конечный результат работы алгоритма (например, принадлежность к определенному классу). Построение дерева происходит по следующему алгоритму:

- выбирается признак, по которому происходит разделение выборки;

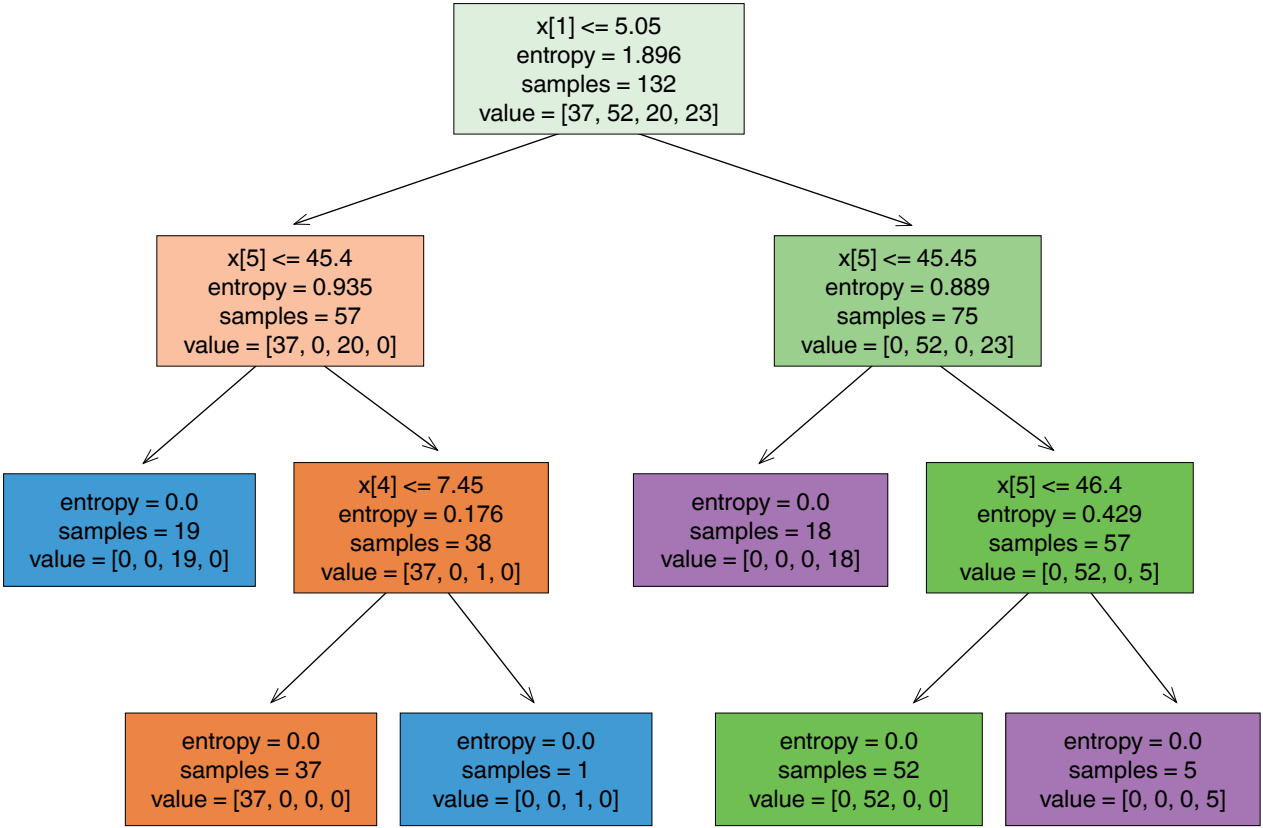
- выбирается пороговое значение для этого признака;
- выборка разделяется на две подвыборки: объекты, у которых значение признака меньше или равно порогу, и объекты, у которых значение признака больше порога;
- для каждой из двух полученных подвыборок рекурсивно повторяются шаги 1-3, пока не будет достигнут критерий останова (например, глубина дерева, количество объектов в листе и т.д.);
- в листе дерева выводится ответ – класс или значение целевой переменной.

Выбор признака для разделения может происходить по различным критериям, например, критерию информативности {Gini impurity или энтропии (Entropy)}. Эти критерии оценивают «чистоту» подвыборок, которые получаются после разделения, и на основании этого выбираются наилучший признак и пороговое значение. После построения дерева можно использовать его для классификации

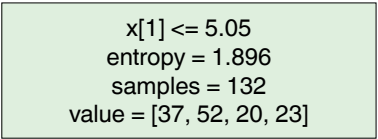
или регрессии новых объектов, просто проходя по дереву от корня до листа и возвращая значение, которое находится в листе.

Дерево решений – это один из наиболее простых и интерпретируемых алгоритмов машинного обучения, который может быть использован для диагностики заболеваний. График дерева решений для определения типа нарушения опорной функции в нашем исследовании приведен на рис. 1

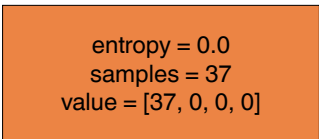
В процессе проведения машинного обучения получены следующие показатели (расчет производится встроенными алгоритмами из библиотеки Python – программы ИИ): точность на тренировочных данных – 99,23%, на тестовых данных – 98,18%, что означает устойчивое предсказание. При помощи разработанного программного продукта проведен анализ базы знаний. Импорт данных с параметрами опорной функции был осуществлен в рамках данного исследования в формате XLS. Для оценки значимости параметров, регистрируемых в базе



**Рис. 1.** График дерева решений для определения типа нарушения опорной функции: узлы дерева – прямоугольники, имеющие дальнейшее деление; листья дерева – прямоугольники без дальнейшего деления при  $entropy=0$   
**Fig. 1.** Decision tree plot for determining the type of violation of the support function: tree nodes – rectangles with further division; tree leaves – rectangles without further division at  $entropy=0$



**Рис. 2.** Узел дерева принятия решения  
**Fig. 2.** Decision tree node



**Рис. 3.** Лист дерева принятия решения  
**Fig. 3.** Decision tree leaf

Таблица 1. Описание узла дерева принятия решений

Table 1. Description of the decision tree node

| Название показателей                                                               | Расшифровка показателей                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| X[1] <= 5.05                                                                       | Условие для параметра X[1].<br>Значения параметров были взяты из исходных данных:<br>X[1] – P1 – смещение позвонка;<br>X[2] – P2 – наклон позвонка;<br>X[3] – PT – угол наклона таза;<br>X[4] – SS – угол наклона крестца;<br>X[5] – SVA – сагиттальная вертикальная ось;<br>X[6] – TK – угол грудного кифоза.<br>Если значение показателя <= 5.05, то переход на левую ветвь принятия решения, если больше – на правую ветвь дерева.                                                                                                          |
| entropy = 1.896                                                                    | Значение показателя энтропии*. Для корня дерева значение показателя энтропии имеет максимальное значение, то есть максимальная неопределенность в данных. Для листьев деревьев энтропия равняется нулю, то есть максимальная определенность.                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| samples = 132                                                                      | Количество элементов данных (пациентов в выборке), которые обрабатываются данным условием.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| value = [37, 52, 20, 23]                                                           | Распределение пациентов по типам сагиттального баланса (всего 4 типа): 1 тип – 37 пациентов; 2 тип – 52 пациента; 3 тип – 20 пациентов; 4 тип – 23 пациента.<br>В результате применения условия исходные данные на данном узле будут разделены следующим образом:<br>- если значение X[1] <= 5.05, то в выборку попадут 57 пациентов, которые распределены следующим образом:<br>value = [37, 0, 20, 0];<br>- если значение X[1] > 5.05, то в выборку попадут 75 пациентов, которые распределены следующим образом:<br>value = [0, 52, 0, 23]. |
| Работа остальных узлов дерева принятия решений осуществляется аналогичным образом. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

Таблица 2. Описание листа дерева принятия решений

Table 2. Description of the decision tree leaf

| Название показателей                                                                  | Расшифровка показателей                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| entropy = 0.0                                                                         | Значение показателя энтропии*. Для листьев деревьев энтропия равняется нулю, то есть максимальная определенность.                                                                                                   |
| samples = 37                                                                          | Количество пациентов, которые относятся к данному листу**. Листы деревьев являются группами пациентов в соответствии с типами сагиттального баланса. Данный лист дерева соответствует 1 типу сагиттального баланса. |
| value = [37, 0, 0, 0]                                                                 | Распределение пациентов по типам сагиттального баланса.<br>Из всей выборки пациентов в данном листе остаются только пациенты данного типа.                                                                          |
| Результат остальных листьев дерева принятия решений определяется аналогичным образом. |                                                                                                                                                                                                                     |

\* Энтропия (entropy) в дереве решений означает однородность. Если данные полностью однородны, она равна 0; если данные разделены (50-50%), энтропия равна 1. Прирост информации – величина обратная энтропии. Таким образом, чем выше прирост информации, тем меньше энтропия, меньше неучтенных данных и правильнее решение. Формирование дерева принятия решения начинается с узла, который имеет максимальную энтропию. На каждом уровне понижается энтропия принятия решения, то есть конкретизируется тип сагиттального баланса пациентов;

\*\* Samples – количество элементов выборки (пациентов), которые находятся в конкретном узле дерева. После разбивки проверяется количество элементов выборки, находящихся как в левой, так и в правой дочерних вершинах

\* Entropy in a decision tree means homogeneity. If the data is completely homogeneous, it equals 0; if the data is divided (50-50%), entropy equals 1. Information gain is the inverse of entropy. Thus, the higher the information gain, the lower the entropy, the less unaccounted for data, and the more correct the solution. The formation of the decision tree starts with the node that has the maximum entropy. At each level, the entropy of decision making is lowered, i.e., the type of sagittal balance of patients is specified;

\*\* Samples are the number of sampling elements (patients) that are in a particular node of the tree. After breakdown, the number of sample elements located in both left and right daughter nodes is checked

знаний, кроме показателей опорной функции, были выделены установленные нами несколько статистически значимых факторов, определяющих течение заболевания и прогноз исхода: инфекционный агент, наличие ВИЧ-инфекции, минеральная плотность костной ткани, наличие неврологических осложнений.

Согласно верифицированному по данным микробиологического и патоморфологического исследованиям диагнозу, выделены группы пациентов с туберкулезным спондилитом ( $n = 114$ ) и неспецифическим спондилитом ( $n=135$ ). В выделенных

группах прослежена частота неврологических осложнений и выраженность деструктивного процесса по классификации Pola [9] и по шкале Asia-IMSOP и проведены статистический и корреляционный анализы параметров патологической нестабильности позвоночных сегментов и глобального сагиттального баланса. Статистическую обработку данных проводили с помощью программы StattTeh v2.8.0, используя непараметрические критерии  $\chi^2$  Пирсона, U-критерий Манна – Уитни. Значимыми считали различия при доверительном интервале, равном 95%, не включавшем в себя единицу ( $p=0,05$ ).

Результаты исследования

Распределение пациентов по степени деструкции и наличию вертебро-неврального конфликта представлено на табл. 3.

Таблица 3. Распределение пациентов по степени деструкции и наличию вертебро-неврального конфликта по классификации Pola, 2017 г.

Table 3. Distribution of patients by degree of destruction and presence of vertebro-neural conflict according to Pola, 2017.

| Классификация по Pola, 2017 г. | Неспецифические спондилиты, n=135 |       | Туберкулезные спондилиты, n=114 |       | $\chi^2; p$     |
|--------------------------------|-----------------------------------|-------|---------------------------------|-------|-----------------|
|                                | абс.                              | %     | абс.                            | %     |                 |
| A1                             | 0                                 |       | 0                               |       | 17,345; p<0,001 |
| A2                             | 2                                 |       | 0                               |       |                 |
| A3                             | 12                                |       | 2                               |       |                 |
| A4                             | 6                                 |       | 0                               |       |                 |
| ТИП А                          | 20                                | 14,81 | 2                               | 1,76  | 3,105; p=0,079  |
| B1                             | 11                                |       | 8                               |       |                 |
| B2                             | 16                                |       | 12                              |       |                 |
| B3                             | 21                                |       | 32                              |       |                 |
| ТИП В                          | 48                                | 35,56 | 52                              | 46,61 | 0,249; p=0,619  |
| C1                             | 10                                |       | 3                               |       |                 |
| C2                             | 17                                |       | 2                               |       |                 |
| C3                             | 11                                |       | 2                               |       |                 |
| C4                             | 29                                |       | 53                              |       |                 |
| ТИП С                          | 67                                | 49,62 | 60                              | 52,63 |                 |

У 2 пациентов выявлены внутрикостные множественные очаги гранулематозного воспаления без вовлечения межпозвонковых дисков. У 1 пациента выявлен изолированный туберкулезный эпидурит без костной деструкции (С3 по Pola). Пациенты с неврологическим дефицитом оценивались по шкале Asia-IMSOP (табл. 4).

Таблица 4. Неврологический дефицит у пациентов по группам

Table 4. Neurological deficit in the patients by groups

| ASIA-IMSOP | Неспецифические спондилиты, n=135 |       | Туберкулезные спондилиты, n=114 |       | $\chi^2; p$     |
|------------|-----------------------------------|-------|---------------------------------|-------|-----------------|
|            | абс                               | %     | абс                             | %     |                 |
| A          | 77                                | 57,04 | 57                              | 50,00 | 1,203; p=0,273  |
| B          | 11                                | 8,15  | 26                              | 22,81 | 13,432; p<0,001 |
| C          | 19                                | 14,07 | 16                              | 14,04 | 0; p=1,000      |
| D          | 22                                | 16,30 | 9                               | 7,89  | 3,980; p=0,0047 |
| E          | 6                                 | 4,44  | 4                               | 3,51  | 0,137; p=0,712  |

Как видно из табл. 2, неврологический дефицит был более выражен у пациентов с неспецифической этиологией поражения. Грубый неврологический дефицит с глубоким нижним парапарезом (D, E по Frankel) наблюдался у 28 из 135 пациентов с неспецифическим ИС и у 13 из 114 пациентов – с туберкулезным ИС, ( $\chi^2 = 3,918, p=0,048$ ). Для исследования параметров сагиттального баланса использовались результаты постуральной рентгенографии. Распределение пациентов по уровню поражения представлено на рис. 4.

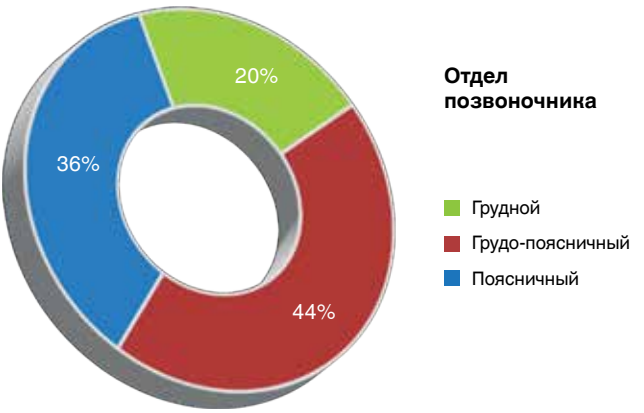


Рис. 4. Распределение пациентов по уровню поражения

Fig. 4. Distribution of patients by lesion severity

По результатам анализа параметров сагиттального баланса у пациентов с инфекционным спондилитом позвоночного столба у 73% выявлены отклонения параметров. Изолированная оценка параметров сагиттального баланса не позволяет выявить сегментарную нестабильность с патологической подвижностью и возможность компенсации изменения сагиттального профиля при спондилитических деформациях. Для оценки нестабильности пораженного сегмента и выявления его патологической подвижности нами разработан алгоритм лучевой диагностики сегментарной нестабильности.

У пациентов с инфекционным спондилитом, как правило, вертикализация затруднена из-за болевого синдрома, поэтому функциональная рентгенография не может быть выполнена. В то же время положение стоя в нейтральной позе на небольшой промежуток времени при условии отсутствия грубого неврологического дефицита, как правило, возможно. Этим пациентам для первичной диагностики выполнялись КТ или МРТ-исследование. Сравнивая изменение угловых и трансляционных параметров в положении лежа (КТ, МРТ) и стоя (постуральная рентгенография), проводилась оценка патологической подвижности пораженного отдела позвоночника. Оценка нарушения опорной функции по суммированным

Таблица 5. Частота встречаемости типов нарушения опорной функции позвоночника у пациентов с туберкулезным и неспецифическим спондилитом

Table 5. Incidence of types of spinal support dysfunction in patients with tuberculous and nonspecific spondylitis

| Типы | Всего        | Неспецифический спондилит, n=135 |       | Туберкулезный спондилит, n= 114 |       | χ²; p            |
|------|--------------|----------------------------------|-------|---------------------------------|-------|------------------|
|      | абс. (%)     | абс                              | %     | абс                             | %     |                  |
| I    | 64 (25,70%)  | 59                               | 43,5  | 5                               | 4,11  | 15,398 (p<0,001) |
| II   | 108 (43,37%) | 49                               | 36,47 | 59                              | 52,05 | 3,877 (p=0,049)  |
| III  | 46 (18,47%)  | 10                               | 7,06  | 36                              | 31,51 | 15,664 (p<0,001) |
| IV   | 31 (12,44%)  | 17                               | 12,94 | 14                              | 12,33 | 0,013 (p=0,909)  |

данным сегментарных параметров и глобального сагиттального баланса проводилась с использованием искусственного интеллекта программы для ЭВМ «Медицинская информационная платформа BravMed».

На основании комплексного анализа исследуемых параметров с применением статистической и корреляционной обработки и методов машинного обучения нами разработана собственная классификация типов нарушения опорной функции позвоночника, включающая 4 типа нарушений опорной функции позвоночника у пациентов с инфекционным спондилитом.

**I тип:** без нарушения сагиттального баланса и без патологической подвижности пораженного сегмента.

**II тип:** без нарушения сагиттального баланса с патологической нестабильностью пораженного

сегмента (>5° ангуляционное; >3 мм трансляционное смещение).

**III тип:** с нарушенным сагиттальным балансом и фиксированным пораженным сегментом.

**IV тип:** с нарушенным сагиттальным балансом и патологической подвижностью.

С учетом этиологии процесса распределение пациентов по типам нарушения опорной функции представлено в табл 5.

Исходя из данных таблицы, в нашей выборке у пациентов с неспецифическим спондилитом чаще встречаются стабильные поражения (I тип). При туберкулезных спондилитах достоверно чаще встречаются фиксированные деформации (III тип), что обусловлено медленным течением этой инфекции. Визуализация исследования опорной функции по разработанной схеме показана на клиническом примере (рис. 5).

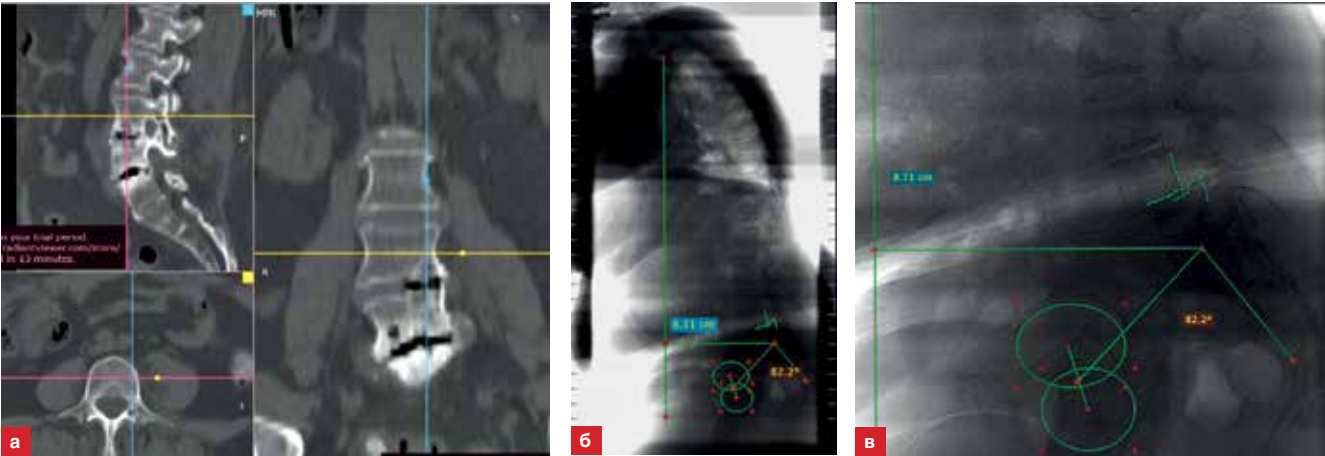
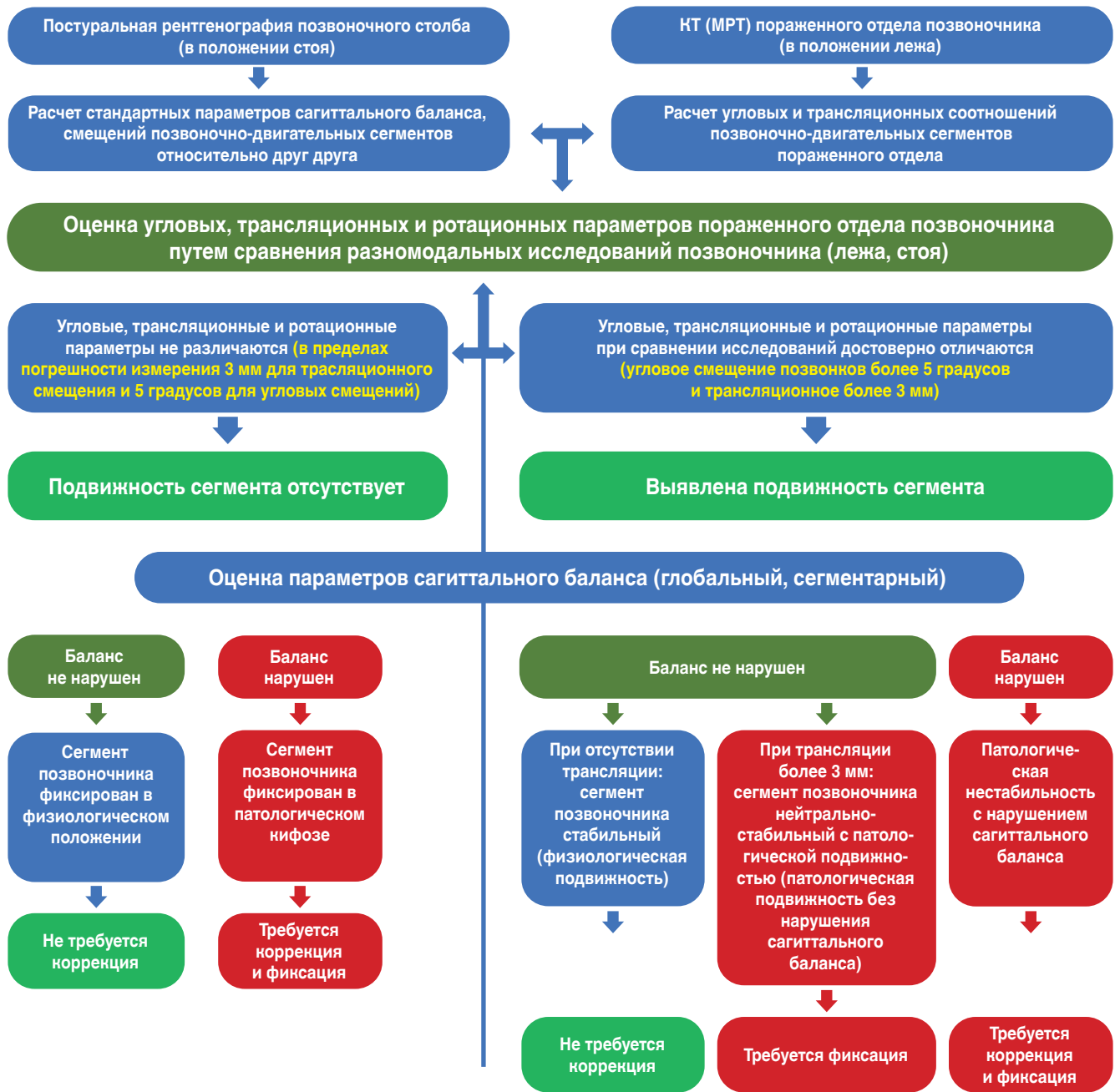


Рис. 5. Пациент Ч., 1956 г.р. Неспецифический спондилит L3-4-5. При постуральной рентгенографии позвоночника отмечается нарастание трансляции L4 позвонка, антеспондилолистеза II степени с признаками нестабильности (B3 по Pola). При КТ-исследовании данных за патологическое смещение не выявлено (а – КТ пояснично-крестцового отдела; б – постуральная рентгенография с признаками нарушения сагиттального баланса; в – постуральная рентгенография поясничного отдела с признаками сегментарной нестабильности)

Fig. 5. Patient Ch., born in 1956 Non-specific spondylololiscitis L3-4-5. Postural radiography of the spine showed increasing translation of the L4 vertebra, grade II antespondylolisthesis with signs of instability (B3 according to Pola). No evidence of pathologic displacement was found on CT examination (a – CT of the lumbosacral region; b – postural radiography with signs of sagittal balance disturbance; c – postural radiography of the lumbar region with signs of segmental instability)



**Рис. 6.** Схема-алгоритм ведения пациентов с применением комбинированного лучевого метода диагностики сегментарной нестабильности при заболеваниях позвоночника  
**Fig. 6.** Algorithm for management of patients with combined radiologic diagnosis of segmental instability in spinal diseases

На основании полученных данных нами предложена схема – алгоритм тактики ведения пациентов с применением комбинированного лучевого метода диагностики сегментарной нестабильности и сагиттального баланса (Патент № 2023503064/49 от 23.06.2023) (рис. 6).

Каждый тип нарушения, согласно этой схеме, требует определенной тактики лечения.

При I типе показана хирургическая коррекция, при отсутствии неврологических нарушений – показаний к ней нет. При II типе имеются показания к фиксации пораженного сегмента

с применением задних инструментальных конструкций и вентрального корпородеза. Пациенты с нарушением сагиттального профиля в результате сегментарного кифоза (III и IV типы) требуют коррекции с выполнением остеотомии пораженного сегмента.

Заключение

По результатам анализа параметров сагиттального баланса у пациентов с инфекционным спондилитом у 73% выявлены отклонения параметров

от нормальных величин. У 28 из 135 ( $\chi^2 = 3,918$ ;  $p=0,048$ ) пациентов нарушение опорной функции позвоночника с неспецифическим спондилитом сопровождалось более выраженным неврологическим дефицитом с глубоким нижним парапарезом (D, E по Frankel) при меньших деструкциях позвонков в отличие от туберкулезного спондилита.

В результате анализа сформированной в ходе исследования базы данных с применением алгоритмов искусственного интеллекта классифицированы 4 типа нарушений опорной функции позвоночника у пациентов с инфекционным спондилитом. Тяжелые типы нарушения опорной функции с учетом суммарных данных отклонений сагиттального баланса и сегментарной неста-

бильности диагностированы у 45,7% включенных в исследование пациентов. В отличие от наиболее широко используемой в практике вертебрологии классификации Pola E. [9], в которой выделяются понятия нестабильности позвоночника в целом, в разработанной и примененной в нашем исследовании классификации детализированы и конкретизированы с использованием математических параметров виды и степени нарушений опорной функции с учетом данных как глобального сагиттального баланса, так и сегментарных нарушений. Полученный результат позволяет с высокой точностью оценить опорную функцию позвоночника и выработать персонализированную тактику лечения.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare there is no conflict of interest.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бурлаков С.В., Вишневецкий А.А. Неэффективное одноэтапное хирургическое лечение распространенного туберкулезного спондилита: клинический случай и обзор литературы // Хирургия позвоночника. – 2018. – Т. 15. – № 1. – С. 71-78.
2. Жук Д.М., Никулина А.А. Разработка системы эффективного анализа сагиттального позвоночно-тазового баланса. – МГТУ им. Н.В. Баумана; Москва, 2015.
3. Крутько А.В. Сагиттальный баланс. Гармония в формулах. – НИИТО им. Я.Л. Цивьяна; Новосибирск, 2016.
4. Мушкин А.Ю., Вишневецкий А.А., Перецманас Е.О., Базаров А.Ю., Басанкин И.В. Инфекционные поражения позвоночника: проект национальных клинических рекомендаций // Хирургия позвоночника. – 2019. – Т. 16, № 4. – С. 63-76. <https://doi.org/10.14531/ss2019.4.63-76>
5. Николаев Д.Г., Мушкин А.Ю., Малярова Е.Ю. Грубое нарушение баланса позвоночника как ведущая жалоба при туберкулезном спондилите (клиническое наблюдение и перспективные вопросы) // Туберкулез и болезни легких. – 2015. – № 6. – С. 107-107.
6. Стрельникова А.В., Михайлов В.П., Шелякина О.В., Самохин А.Г., Крутько А.В., Жеребцов С.В. Постуральный баланс после декомпрессио-стабилизирующих операций у пациентов с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями поясничного отдела позвоночника // Хирургия позвоночника. – 2015. – Т. 12. – № 4. – С. 63-69.
7. Guo S., Zhu K., Zhang S., et al. Percutaneous pedicle screw fixation alone versus debridement and fusion surgery for the treatment of early spinal tuberculosis: a retrospective cohort study // Medical science monitor: international medical journal of experimental and clinical research. – 2019. – № 25. – P. 1549-1557.
8. Ke W., Wang B., Hua W., Lu S., Li X., Yang C., et al. Biomechanical Evaluation of the Sacral Slope on the Adjacent Segment in Transforaminal Lumbar Interbody Fusion: A Finite Element Analysis // World Neurosurgery. – 2020. – № 133. – P. e84-e88.
9. Pola E., Autore G., Formica V.M., Pambianco V., Colangelo D., Cauda R., Fantoni M. New classification for the treatment of pyogenic spondylodiscitis: validation study on a population of 250 patients with a follow-up of 2 years // Eur Spine J. – 2017. – № 26, Suppl 4. – P. 479-488. <https://doi.org/10.1007/s00586-017-5043-5>
10. Takahashi T., Kainth D., Marette S., Polly D. Alphabet Soup: Sagittal Balance Correction Osteotomies of the Spine-What Radiologists Should Know // AJNR Am J Neuroradiol. – 2018. – Vol. 39, № 4. – P. 606-611. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A5444>

#### REFERENCES

1. Burlakov S.V., Vishnevskiy A.A. Ineffective one-stage surgical treatment of disseminated tuberculous spondylitis: a clinical case and literature review. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika)*, 2018, vol. 15, no. 1, pp. 71-78. (In Russ.)
2. Zhuk D.M., Nikulina A.A. *Razrabotka sistemy effektivnogo analiza sagittalnogo pozvonochno-tazovogo balansa*. [Development of the effective system for analysis of sagittal spinopelvic balance]. MG TU Im. N.V. Bauman Publ., Moscow, 2015.
3. Krutko A.V. *Sagittalnyy balans. Garmoniya v formulakh*. [Sagittal balance. Harmony in formulas]. NIITO Im. Ya.L. Tsviyana Publ., Novosibirsk, 2016.
4. Mushkin A.Yu., Vishnevskiy A.A., Peretsmanas E.O., Bazarov A.Yu., Basankin I.V. Infectious lesions of the spine: draft national clinical guidelines. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika)*, 2019, vol. 16, no. 4, pp. 63-76. (In Russ.) <https://doi.org/10.14531/ss2019.4.63-76>
5. Nikolaev D.G., Mushkin A.Yu., Malyarova E.Yu. Severe disorder of the spinal balance as the main complaint in tuberculous spondylitis (clinical monitoring and perspective questions). *Tuberculosis and Lung Diseases*, 2015, no. 6, pp. 107-107. (In Russ.)
6. Strelnikova A.V., Mikhaylov V.P., Shelyakina O.V., Samokhin A.G., Krutko A.V., Zhrebtsov S.V. Postural balance after surgical decompression and stabilization in patients with degenerative dystrophic diseases of the lumbar spine. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika)*, 2015, vol. 12, no. 4, pp. 63-69. (In Russ.)
7. Guo S., Zhu K., Zhang S. et al. Percutaneous pedicle screw fixation alone versus debridement and fusion surgery for the treatment of early spinal tuberculosis: a retrospective cohort study. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 2019, no. 25, pp. 1549-1557.
8. Ke W., Wang B., Hua W., Lu S., Li X., Yang C. et al. Biomechanical evaluation of the sacral slope on the adjacent segment in transforaminal lumbar interbody fusion: a finite element analysis. *World Neurosurgery*, 2020, no. 133, pp. e84-e88.
9. Pola E., Autore G., Formica V.M., Pambianco V., Colangelo D., Cauda R., Fantoni M. New classification for the treatment of pyogenic spondylodiscitis: validation study on a population of 250 patients with a follow-up of 2 years. *Eur. Spine J.*, 2017, no. 26, suppl. 4, pp. 479-488. <https://doi.org/10.1007/s00586-017-5043-5>
10. Takahashi T., Kainth D., Marette S., Polly D. Alphabet soup: sagittal balance correction osteotomies of the spine-what radiologists should know. *AJNR. Am. J. Neuroradiol.*, 2018, vol. 39, no. 4, pp. 606-611. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A5444>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский  
центр фтизиопульмонологии и инфекционных болезней»  
МЗ РФ  
127473, Москва, ул. Достоевского, д. 4, к. 2  
Тел. +7 (495) 631-15-15

**Перецманас Евгений Оркович**

Д. м. н., руководитель научного отдела костно-суставной  
патологии

**Щепетева Юлия Юрьевна**

Врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики

**Беззубов Александр Александрович**

Врач-нейрохирург отделения туберкулеза внелегочных  
локализаций

ООО НТЦ «Электроника»

125212, Москва, Ленинградское ш., д. 22, пом. 3/1  
Тел. +7 (910) 404-08-08

**Брыль Владимир Николаевич**

К. т. н., технический директор

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

National Medical Research Center of Phthisiopulmonology  
and Infectious Diseases, Russian Ministry of Health  
4 Build. 2 Dostoevsky St., Moscow, 127473  
Тел. +7 (495) 631-15-15

**Evgeniy O. Peretsmanas**

Doctor of Medical Sciences,  
Head of Research Department  
of Osteoarticular Pathology

**Yulia Yu. Schepeteva**

X-ray Doctor of X-ray Diagnostic Department

**Aleksandr A. Bezzubov**

Neurosurgeon of Extrapulmonary  
Tuberculosis Department

ООО NTC Elektronika

Office 3/1, 22, Leningradskoye Ave., Moscow, 125212  
Phone: +7 (910) 404-08-08

**Vladimir N. Bryl**

Candidate of Technical Sciences, Technical Director

Поступила 10.11.2024

Submitted as of 10.11.2024