

*Л.В. Калинина¹, П.Ф. Чернавин², И.А. Черняев³,
Н. П. Чернавин², Ю.П. Чугаев³*

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ТУБЕРКУЛЕЗНОГО САНАТОРИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

¹ФГБОУ «Туберкулезный санаторий «Голубая бухта» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Геленджик, Российская Федерация;

²ФГАОУ ВО «Уральский Федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Российская Федерация;

³ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Резюме. Лечение в санатории является важным этапом в организации медицинской реабилитации больных туберкулезом. Помощь в решении этого вопроса может оказать использование методов машинного обучения (МО) для назначения лечебных процедур. В статье представлен авторский подход к решению этого вопроса с использованием реальных данных из санатория по реабилитации больных туберкулезом. **Целью исследования** было определить наиболее подходящие методы МО для назначения 37 реабилитационных процедур. **Материалы и методы.** Расчеты проводились на основе 18 качественных и 25 количественных характеристик, учитываемых при поступлении в санаторий. Были использованы основные классические методы МО: категориальный бустинг, дерево решений, случайный лес, наивный байесовский метод, линейное разделение множеств для категориальных признаков. Общая выборка была разделена на обучающую и тестовую выборки в пропорции 80/20%. Поскольку классы были несбалансированными, оценка качества решения проводилась с использованием метрической площади под кривой ROC (AUC ROC). Необходимо было определить, какие методы и для каких процедур показатель AUC ROC будет иметь значение более 0,75 на обучающих и тестовых образцах. **Результаты.** При назначении процедур на основе категориальных признаков наивный байесовский метод показал наилучшие результаты для 8 процедур, случайный лес – для 7, категориальное повышение – для 4, дерево решений – для 1, линейное разделение – для 11. Что касается количественных характеристик: наивный байесовский метод показал наилучшие результаты для 2 процедур, случайный лес – для 3 и линейное разделение – для 29. Дерево решений и метод ближайшего соседа не показали надлежащих результатов ни для одной процедуры. В анализе, основанном на категориальных признаках, показатель AUC ROC не превышал 0,75 ни для одного из методов ML. При анализе на основе количественных характеристик ситуация была аналогичной для четырех процедур. Для построения компьютерной системы (КС) на основе этих процедур использовался ансамблевый подход. Если у большинства методов показатель AUC ROC был больше 0,7, то процедура была назначена. Основываясь на найденных решающих правилах, КС была построена в виде таблиц MS Excel. Персоналу необходимо было ввести категориальные и количественные характеристики пациента при поступлении в санаторий, а КС рекомендует список медицинских процедур, которые должны быть назначены конкретному пациенту. Врач имеет право как отменить, так и назначить дополнительные процедуры. Результаты КС легко интерпретируются и удобны для восприятия практикующими врачами, поскольку они активно участвовали в его создании и все методы МО имели хорошие визуальные интерпретации, которые демонстрировались и объяснялись практикующим врачам. **Вывод:** КС прост в использовании и обслуживании. Последовательность и методы анализа данных не привязаны к профилю конкретного санатория. Подход тиражируется, требуется лишь незначительная корректировка системы на основе исходных данных конкретного санатория,

определяемых спецификой профиля медицинского учреждения.

Ключевые слова: машинное обучение, задачи классификации, метод комитетов, туберкулез, санаторий, физиотерапия

Конфликт интересов отсутствует.

Контактная информация автора, ответственного за переписку:

Черняев Игорь Анатольевич

obluborg@yandex.ru

Дата поступления: 29.05.2024

Образец цитирования: Калинина Л.В., Чернавин П.Ф., Черняев И.А., Чернавин Н.П., Чугаев Ю.П. Опыт разработки автоматизированной системы поддержки принятия врачебных решений в условиях туберкулезного санатория, полученных при использовании технологий машинного обучения. [Электронный ресурс] Вестник уральской медицинской академической науки. 2024, Том 21, № 5, с. 621–638, DOI: 10.22138/2500-0918-2024-21-5-621-638

Введение

Восстановительное лечение в условиях противотуберкулезного санатория является важной составляющей в организации медицинской реабилитации больных туберкулезом [1]. Использование естественных и модифицированных лечебных факторов — кумысолечения, физиотерапии, лечебного питания и активного двигательного режима позволяют повысить эффективность оздоровления и ускорить процесс реабилитации пациентов¹. В санатории принято направлять пациентов после окончания интенсивной фазы основного курса химиотерапии для проведения фазы продолжения в условиях строгой контролируемости терапии, а также после хирургического вмешательства по поводу туберкулеза различных локализаций. В настоящее время в ведении органов управления здравоохранением субъектов Российской Федерации находится 63 санатория на 9766 коек для взрослых больных туберкулезом и 143 санатория на 17126 коек для детей и подростков. Сеть санаториев федерального подчинения Минздрава России насчитывает 13 санаториев на 3270 коек для взрослых и 3 детских санатория на 910 коек. Ежегодно санаторное лечение получают более 48 тысяч взрослых и 62 тысяч детей, больных туберкулезом².

Целью санаторного этапа лечения взрослых больных является закрепление достигнутого в условиях стационара эффекта, восстановление трудоспособности человека и достижения минимальных посттуберкулезных изменений в органах [2]. Санаторный этап в меньшей степени ориентирован на антибактериальную терапию, а в большей на мобилизацию собственных ресурсов организма [2-6]. Все вышеперечисленные частные проблемы во многом решаются применением методов электро- и магнитотерапии и наиболее эффективными и доступными в практике являются процедуры УВЧ, КВЧ пульсирующие токи, магнитное поле, электрофорез и ингаляции [3-16]. В их пользу – опыт применения названных технологий, экономичность и доступность [6, 17-23]. Опыт работы санаторного учреждения свидетельствует, что 89% пациентов получали вышеназванные процедуры в комплексе оздоровительных мероприятий. Известно, что в санатории фтизиатрического профиля поступают пациенты и с сопутствующей патологией [2, 12].

В санатории «Голубая бухта» в среднем на одного пациента приходилось по 3,1 заболевания или патологического состояния, требующих лечения и/или коррекции. В условиях полиморбидности, короткого периода пребывания в санатории (около 30 суток), невозможности детальной диагностики врач вынужден назначать эмпирическую патогенетическую терапию, которая в ряде ситуаций оказывает эффект, а в ряде ситуаций – нет. Полиморбидность и связанная с ней полипрагмазия исключают возможность анализа – какие технологии оздоровления следует считать приоритетными и/или

¹ Приказ Министерства здравоохранения от 17 марта 2004 г. №124 «О совершенствовании организации санаторно-курортной помощи больным в туберкулезных санаториях» [Электронный ресурс] URL: <https://base.garant.ru/4179969/> (Доступ 24.06.2023 г.)

² Приказ Министерства здравоохранения от 17 марта 2004 г. №124 «О совершенствовании организации санаторно-курортной помощи больным в туберкулезных санаториях» [Электронный ресурс] URL : <https://base.garant.ru/4179969/> (Доступ 24.06.2023 г.)

малозффективными и ненужными. Авторы, применив при анализе клинического материала технологии машинного обучения, определили наиболее эффективные процедуры в комплексе оздоровления пациентов, что позволило разработать индивидуальные траектории оздоровления, а на их основании предложить автоматизированную систему поддержки принимаемых врачами решений [24-26].

Целью данного исследования была разработка автоматизированной системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) на основании результатов анализа эффективности последовательного и сочетанного применения ранее известных и новых методов специфического физического воздействия на организм больного туберкулезом, исходя из его анамнеза и текущего состояния.

Материал и методы

Базой исследования послужило ФБГУЗ «Туберкулезный санаторий «Голубая бухта» Министерства здравоохранения РФ, расположенный в г. Геленджике Краснодарского края. В качестве исходных использовались данные когорты пациентов (n=450), проходивших лечение в учреждении здравоохранения, оказывающего специализированную медицинскую помощь по профилю «фтизиатрия». В качестве единицы наблюдения был принят случай оказания помощи и для каждого пациента была оформлена карта исследования авторской разработки, включающая 211 формализованных характеристик пациента, в том числе: пол, возраст и другие медико-социальные характеристики, жалобы, данные анамнеза заболевания и анамнеза жизни, результаты осмотра, объективные данные методов лабораторной, лучевой и функциональной диагностик, оценки психоэмоционального состояния до и после проведенного лечения. Данные карт вносились в компьютерную базу данных исследования собственной разработки. В процессе лечения каждому пациенту назначается комплекс из 1-18 процедур (медиана – 6) из общего перечня, состоящего из 104 доступных методов лечения. После исключения специфических и редко используемых процедур были оставлены 38 наиболее часто применяемых процедур, каждая из которых назначалась не менее 5% пациентов. Список данных процедур приведен в Таблице 1.

Таблица 1
Процедуры примененные у пациентов санатория
Table 1
Procedures used in patients of the sanatorium

№	Название процедуры Name of the procedure
1	Ароматерапия Aromatherapy
2	Галокамера Halocamera
3	Галотерапия Halotherapy
4	Дарсонваль Darsonval
5	Ингаляции Inhalations
6	Криотерапия Cryotherapy
7	Лазеролечение Laser treatment
8	Лечебная физкультура (ЛФК) Physical therapy (PT)
9	Магнитотерапия Magnetic Therapy
10	Оксигенотерапия Oxygen therapy

№	Название процедуры Name of the procedure
11	Синусоидальные модулированные токи с новокаином Sinusoidal modulated currents with novocaine
12	Сухие углекислые ванны Dry carbon dioxide baths
13	Теплолечение Thermal therapy
14	Лечение токами ультравысокой частоты (УВЧ) Treatment with ultra-high frequency currents UHF
15	Фитотерапия Herbal medicine
16	Цветотерапия Color therapy
17	Электролечение Electrotherapy
18	Электрофорез Electrophoresis
19	Аэрозольтерапия Aerosol therapy
20	Магнитотурботрон Magnetoturbotron
21	Квантерра Quanterra
22	Кислородный коктейль Oxygen cocktail
23	Магнитолазерная терапия Magnetic laser therapy
24	Ультрафонофорез Ultraphonophoresis
25	Магнитотерапия полимаг 02 Magnetotherapy polymag 02
26	Ручной массаж Manual massage
27	Ультрафонофорез с гидрокортизоном Ultraphonophoresis with hydrocortisone

Для дальнейшего анализа были определены 43 входных признака, в том числе 18 категориальных (пол, группа диспансерного учета, наличие вредных условий труда в прошлом, перенесенные заболевания, алкоголизация и т.п.) и 25 количественных (возраст, давление, пульс, показатели биохимии крови и т.п.) (Таблицы 2 и 3), а все категориальные признаки преобразованы в числовой формат (Таблицы 2).

Таблица 2
Категориальные признаки
Table 2
Categorical features

№	Наименование признака Name of the feature	Шкала значений категориального признака The scale of values of the categorical feature
1	Вредные условия труд Harmful working conditions	есть – 1, нет – 0 yes – 1, no – 0
2	Сезон лечения Treatment Season	1 – весна, 2 – лето, 3 – осень, 4 – зима 1 – spring, 2 – summer, 3 – autumn, 4 – winter
3	Самооценка здоровья Self-assessment of health	1 – очень хорошее, 2 – хорошее, 3 – удовлетворительное, 4 – неудовлетворительное, 5 – крайне неудовлетворительное 1 – very good, 2 – good, 3 – satisfactory, 4 – unsatisfactory, 5 – extremely unsatisfactory
4	Повод для поездки The reason for the trip	1 – оздоровительное лечение, 2 – основной курс лечения, 3 – противорецидивное лечение 1 – wellness treatment, 2 – basic course of treatment, 3 – anti-relapse treatment
5	Материально-бытовые условия жизни пациен- та, психологическое положение в семье The material and living conditions of the patient's life, the psychological situation in the family	1 – спокойное, 2 – неврозы, 3 – скандалы 1 – calm, 2 – neuroses, 3 – scandals
6	Жилищные условия Housing conditions	1 – благоустроенная квартира, 2 – неблагоустроенное жильё, 3 – аварийное жильё, 4 – общежитие, 5 – личный дом, 6 – съемное жильё, 7 – БОМЖ, 8 – прочее 1 – comfortable apartment, 2 – unsettled housing, 3 – emergency housing, 4- dormitory, 5 – private house, 6 – rented housing, 7 – homeless, 8 – other
7	Питание Nutrition	1 – достаточно хорошее, 2 – удовлетворительное, 3 – недостаточное 1 – good enough, 2 – satisfactory, 3 – insufficient
8	Алкоголизация Alcohol consumption	1 – нет, 2 – изредка, 3 – регулярно 1 – no, 2 – occasionally, 3 – regularly
9	Климат в территории проживания The climate in the territory of residence	1 – равнинный, 2 – степной, 3 – горный, 4 – морской, 5 – тундра, 6 – районы крайнего севера, 7 – не указано 1 – plain, 2 – steppe, 3 – mountain, 4 – sea, 5 – tundra, 6 – regions of the far north, 7 – not specified
10	Наследственные заболевания Hereditary diseases	1 – да, 0 – нет 1 – yes, 0 – no
11	Гепатит С Hepatitis C	1 – да, 0 – нет 1 – yes, 0 – no
12	ВИЧ-инфекция HIV infection	1 – да, 0 – нет 1 – yes, 0 – no
13	Результат пробы при поступлении в санаторий The result of the sample upon admission to the sanatorium	1 – неизвестен, 2 – отрицательный, 3 – папула, 4 – не проводилась, 5 – гиперемия 1 – unknown, 2 – negative, 3 – papule, 4 – was not performed, 5 – hyperemia
14	Жалобы Complaints	1 – да, 0 – нет 1 – yes, 0 – no
15	Группа диспансерного наблюдения (ГДН) The group of dispensary observation	1, 2, 3, 4 1, 2, 3, 4
16	Артериальное давление при поступлении The blood pressure at admission	1 – нормальное, 2 – повышенное, 3 – пониженное 1 – normal, 2 – elevated, 3 – lowered

№	Наименование признака Name of the feature	Шкала значений категориального признака The scale of values of the categorical feature
17	Частота сердечных сокращений при поступлении Heart rate at admission	1 – нормальное, 2 – повышенное, 3 – пониженное 1 – normal, 2 – elevated, 3 – lowered d
18	Частота дыхания при поступлении Respiratory rate upon admission	1 – нормальное, 2 – повышенное, 3 – пониженное 1 – normal, 2 – elevated, 3 – lowered
19	Глюкоза Glucose	ммоль/л mmol/L
20	Амилаза Amylase	Ед/л Unit/L
21	С-реактивный белок C-reactive protein	мг/л mg/L
22	Железо Iron	ммоль/л mmol/L
23	Трансферрин Transferrin	г/л g/L
24	Холестерин Cholesterol	ммоль/л mmol/L
25	Триглицериды Triglycerides	ммоль/л mmol/L

Таблица 3
Количественные признаки
Table 3
Quantitative features

№	Наименование признака Name of the feature	Единицы измерения Units of measurement
1	Возраст Age	полных лет total years
2	Жизненная емкость легких Vital capacity of the lungs	л L
3	Объем форсированного выдоха (ОФВ1) Forced expiratory volume in one second (FEV1)	л L
4	Сатурация Saturation	% %
5	Аспаратаминотрансфераза Aspartate Aminotransferase	Ед/л Unit/L
6	Аланинаминотрансфераза Alanine Aminotransferase	Ед/л Unit/L
7	Щелочная фосфатаза Alkaline phosphatase	Ед/л Unit/L
8	Билирубин общий Total Bilirubin	мкмоль/л mkmol/L
9	Билирубин прямой Direct Bilirubin	мкмоль/л mkmol/L
10	Альбумин Albumin	мкмоль/л mkmol/L
11	Креатинин Creatinine	мкмоль/л mkmol/L
12	Общий белок Total protein	г/л g/L
13	Мочевая кислота Uric acid	мкмоль/л mkmol/L

№	Наименование признака Name of the feature	Единицы измерения Units of measurement
14	Мочевина Urea	ммоль/л mmol/L
15	Кальций Calcium	ммоль/л mmol/L
16	Хлориды Chloride	ммоль/л mmol/L
17	Калий Potassium	ммоль/л mmol/L
18	Натрий Sodium	ммоль/л mmol/L
19	Глюкоза Glucose	ммоль/л mmol/L
20	Амилаза Amylase	Ед/л Unit/L
21	С-реактивный белок C-reactive protein	мг/л mg/L
22	Железо Iron	ммоль/л mmol/L
23	Трансферрин Transferrin	г/л g/L
24	Холестерин Cholesterol	ммоль/л mmol/L
25	Триглицериды Triglycerides	ммоль/л mmol/L

Генеральная выборка разбита на обучающую и тестовую в пропорции 80/20% пациентов с заведомо известными результатами реабилитации с целью формирования решающих правил выбора персонализированного перечня методик реабилитации по индивидуальным характеристикам пациента. После обучения системы проведено тестирование нескольких методов машинного обучения с целью выбора наиболее эффективного. Применены основные классические методы МО: категориальный бустинг, дерево решений, случайный лес, наивный байесовский метод — для категориальных признаков; линейное разделение (ЛР), метод ближайших соседей, наивный байесовский метод (НБ), дерево решений, случайный лес (ЛЕС) — для количественных признаков. По каждой процедуре решена отдельная задача классификаций, то есть множество наблюдений по каждой процедуре разбито на два класса: те пациенты, у которых данная процедура вызывала эффект и те, у кого нет. Подлежали решению 76 задач классификации (2 вида признаков, 38 процедур). Критерием оценки качества служило значение площади под ROC кривой (AUC ROC), измеряемое в долях единицы, в качестве порогового значения было принято 0,75. То есть метод в 75% случаев должен был распознавать результат применения методики реабилитации у пациента. Обученные системы определяли наличие результата от применения процедуры лечения в ее сочетании с другими процедурами по динамике категориальных и количественных переменных в сопоставлении с характеристиками пациента. Сформированные решающие правила встраивались в прототип системы поддержки принятия решений для выбора персонализированного перечня методик по персональным характеристикам пациента с целью построения индивидуальной траектории реабилитации.

Результаты

В результате решения задач классификации по обучающей и тестовой выборкам пациентов представлены в Таблице 4.

Таблица 4
Значения AUC ROC по процедурам в зависимости от используемого метода МО
Table 4
AUC ROC values by procedures depending on the ML method used

Наименование процедуры Name of the procedure	Количественные признаки Quantitative features			Категориальные признаки Categorical features	
	ЛР/LS*	НБ/НВ**	ЛЕС/RF***	НБ/НВ**	ЛЕС/RF***
Ароматерапия Aromatherapy	0,702	0,569	0,497	0,551	0,555
Галокамера Halocamera	0,672	0,501	0,652	0,728	0,669
Галотерапия Halotherapy	0,736	0,586	0,765	0,715	0,845
Дарсонваль Darsonval	0,732	0,487	0,546	0,486	0,575
Ингаляции Inhalations	0,794	0,472	0,677	0,811	0,811
Криотерапия Cryotherapy	0,812	0,498	0,454	0,527	0,442
Лазеролечение Laser treatment	0,771	0,489	0,511	0,534	0,575
ЛФК Physical therapy	0,755	0,768	0,729	0,818	0,887
Магнитотерапия Magnetic Therapy	0,658	0,52	0,513	0,788	0,703
Оксигенотерапия Oxygen therapy	0,734	0,69	0,674	0,664	0,67
Синусоидальные модулированные токи с новокаином Sinusoidal modulated currents with novocaine	0,837	0,306	0,587	0,563	0,539
Сухие углекислые ванны Dry carbon dioxide baths	0,722	0,572	0,623	0,511	0,622
Теплолечение Thermal therapy	0,719	0,531	0,575	0,583	0,631
УВЧ UHF	0,788	0,568	0,524	0,831	0,617
Фитотерапия Herbal medicine	0,69	0,53	0,633	0,750	0,848
Цветотерапия Color therapy	0,721	0,579	0,599	0,728	0,714
Электролечение Electrotherapy	0,794	0,595	0,587	0,598	0,774
Электрофорез Electrophoresis	0,845	0,643	0,604	0,550	0,628
Аэрозольтерапия Aerosol therapy	0,75	0,455	0,621	0,622	0,673
Магнитотурботрон Magnetoturbotron	0,726	0,584	0,485	0,653	0,659
Квантера Quanterra	0,8	0,644	0,59	0,439	0,441
Кислородный коктейль Oxygen cocktail	0,907	0,834	0,783	0,96	0,892

Наименование процедуры Name of the procedure	Количественные признаки Quantitative features			Категориальные признаки Categorical features	
	ЛР/LS*	НБ/NB**	ЛЕС/RF***	НБ/NB**	ЛЕС/RF***
Магнитолазерная терапия Magnetic laser therapy	0,844	0,556	0,606	0,782	0,733
Ультрафонофорез Ultraphonophoresis	0,819	0,505	0,609	0,527	0,718
Магнитотерапия полимаг 02 Magnetotherapy polymag 02	0,805	0,409	0,516	0,677	0,538
Ручной массаж Manual massage	0,806	0,353	0,692	0,687	0,634
Ультрафонофорез с гидрокортизоном Ultraphonophoresis with hydrocortisone	0,805	0,447	0,497	0,659	0,571

Примечание. * – ЛР линейное разделение; ** – НБ наивный байесовский метод; *** – ЛЕС случайный лес

Note. * – LS Linear separation; ** – NB Naive Bayesian; *** – RF Random forest

Сравнительная характеристика результатов применения методов МО представлена в Таблице 5.

Таблица 5

Количество процедур с метрикой AUC ROC более 0.75 при анализе на основе категориальных и количественных признаков

Table 5

The number of procedures with an AUC ROC metric of more than 0.75 in the analysis based on categorical and quantitative features

Метод Method	Анализ на основе категориальных признаков Analysis based on categorical features	Анализ на основе количественных признаков Analysis based on quantitative features
Категориальный бустинг Categorical boosting	4	Не применялся Not used
Дерево решений Decision tree	1	0
Случайный лес Random Forest	7	3
Наивный байесовский Naive Bayesian	8	2
Ближайших соседей Nearest neighbors	Не применялся Not used	0
Линейное разделение с максимизацией площади по ROC Linear separation with area maximization by ROC	Не применялся Not used	20

Как следует из данных Таблицы 5, наилучшие результаты распознавания изменения для количественных признаков показал метод линейного разделения. Для улучшения идентификации качественных показателей предпринята попытка улучшить их за счет построения ансамблей на основе линейных разделителей. Такого рода ансамбли принято называть комитетными конструкциями. Наиболее полное развитие данный подход получил в научных школах Журавлева Ю.И и Мазурова В.Д [27-29], в которых развивались теоретические основы метода комитетов и оригинальные алгоритмы для решения таких задач. Авторы данной статьи применили данный подход для решения различных задач, в том числе и для медицинской диагностики. В данном случае, использование комитетов с различной логикой, существенного улучшения качества решающих правил не дало. Поэтому для построения СППВР для количественных признаков был выбран метод линейного разделения множеств

как наиболее простой и имеющий хорошие качественные показатели. Для категориальных признаков наилучшие результаты дали наивный байесовский метод и случайный лес. Причем все процедуры, которые имели высокие метрики при использовании категориального бустинга, также имели лучшие метрики при использовании метода случайного леса. Поэтому метод категориального бустинга был исключен из дальнейшего рассмотрения. По ряду процедур значение AUC ROC по всем методам не превысила планку 0,75. При построении компьютерной системы по этим процедурам использовался ансамблевый подход: если все методы, имеющие метрику AUC ROC более 0,51, голосовали за использование данной процедуры, то она назначалась. То есть применялась логика комитета единогласия.

На основе найденных решающих правил (РП) в виде таблиц Excel была построена компьютерная система. Выбор Excel определялся тем, что большинство персонала обладало навыками работы в этой среде. Исходные данные пациента вводились в таблицы, аналогичные Таблице 2 и Таблице 3. После ввода выдавались рекомендации Таблица 6.

Таблица 6
Пример сопоставления выдачи рекомендаций СППВР и назначений врача
Table 6

Example of a comparison of the issuance of recommendations of the Computer System appointments and doctor's appointments

Наименование процедуры Name of the procedure	Рекомендация системы Computer System appointments	Назначение врача Doctor's appointments	Оценка расхождения рекомендаций Assessment of the discrepancy in recommendations
Ароматерапия Aromatherapy	1	1	0
Галокамера Halocamera	0	0	0
Галотерапия Halotherapy	0	0	0
Дарсонваль Darsonval	1	0	-1
Ингаляции Inhalations	1	1	0
Криотерапия Cryotherapy	1	1	0
Лазеролечение Laser treatment	0	0	0
ЛФК Physical therapy	0	1	+1
Магнитотерапия Magnetic Therapy	0	0	0
Оксигенотерапия Oxygen therapy	1	1	0
Синусоидальные модулированные токи с новокаином Sinusoidal modulated currents with novocaine	0	0	0
Сухие углекислые ванны Dry carbon dioxide baths	1	1	0
Теплолечение Thermal therapy	0	0	0
Ультравысокие частоты (УВЧ) Ultra High Frequency (UHF)	1	1	0

Наименование процедуры Name of the procedure	Рекомендация системы Computer System appointments	Назначение врача Doctor's appointments	Оценка расхождения рекомендаций Assessment of the discrepancy in recommendations
Фитотерапия Herbal medicine	1	1	0
Цветотерапия Color therapy	0	0	0
Электролечение Electrotherapy	0	0	0
Электрофорез Electrophoresis	1	1	0
Аэрозольтерапия Aerosol therapy	1	1	0
Магнитотурботрон Magnetoturbotron	0	0	0
Квантерра Quanterra	0	0	0
Кислородный коктейль Oxygen cocktail	1	1	0
Магнитолазерная терапия Magnetic laser therapy	1	1	0
Ультрафонофорез Ultraphonophoresis	0	0	0
Магнитотерапия полимаг 02 Magnetotherapy polymag 02	0	0	0
Ручной массаж Manual massage	1	1	0
Ультрафонофорез с гидрокортизоном Ultraphonophoresis with hydrocortisone	0	0	0

Первоначально выдаются назначения врача, совпадающие с назначением системы. Однако у врача есть право как отменить назначение (заменить 1 на 0), так и назначить процедуру (заменить 0 на 1). Назначения системы, врача и изменения назначений автоматически сохраняются в базе данных, что необходимо для дальнейшего анализа результатов назначений. Опытная эксплуатация системы, проведенная в ФГБУ «Туберкулезный санаторий «Голубая бухта» Минздрава России, показала, что в 70% случаев назначения системы совпадали с назначением врачей. По мнению практических специалистов СППВР работоспособна и является хорошим помощником при назначении процедур. Случаи несовпадения назначений СППВР и врачей регулярно анализируются и соответствующие изменения вносятся в СППВР.

Выводы

1. Деятельность врача туберкулезного санатория протекает в условиях множественных неопределенностей, заключающихся в неполной и часто недостоверной информации о пациенте, невозможности топической диагностики сопутствующей патологии, что приводит к назначению эмпирического оздоровления и невозможности однозначной индикации факторов, приведших к оздоровительному эффекту.

2. Анализ результатов применения методов машинного обучения на клиническом материале позволил выявить из них наиболее пригодные для исследования категориальных и количественных признаков в условиях поставленной задачи.

3. Примененные методы машинного обучения при анализе категориальных и количественных признаков патологии позволяют выявить, какие из проведенных процедур оказывают или не оказы-

вают клинический эффект.

4. Технологии искусственного интеллекта позволили из многих используемых для оздоровления факторов выделить доминантные, что дает врачу возможность конструировать индивидуализированную траекторию реабилитации, основываясь на объективных данных.

5. Полученные результаты позволили заложить основу для разработки автоматизированной системы поддержки принятия врачебных решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клинические рекомендации «Туберкулез у взрослых» /Общероссийская общественная организация «Российское общество фтизиатров», Национальная ассоциация некоммерческих организаций фтизиатров «Ассоциация фтизиатров» 2022 151с. 62-63 [Электронный ресурс] URL: https://sr.minzdrav.gov.ru/recomend/16_2 (Доступ 24.06.2023 г.)

2. Баласанянц Г.С. Концепция развития фтизиатрической санаторной помощи больным туберкулезом в Российской Федерации Медицинский альянс научно-практический журнал. – СПб, 2013. - №4. – стр.79-83.

3. Физиотерапия при туберкулезе: метод. рекомендации / А.В. Машанская [и др.]. – Иркутск: РИО ГБОУ ДПО ИГМАПО, 2014. – 28 с. Скачано с официального сайта кафедры физиотерапии и курортологии ИГМАПО - <http://medAngara.ru>

4. Щеколдин П.И. Общие принципы применения физических факторов в комплексной терапии туберкулеза // Доктор Лэндинг, 1996. №2. С.43-46.

5. Клячкин Л.М., Малявин А.Г., Пономаренко Г.Н. и др. Физические методы лечения в пульмонологии. С-Петербург, 1997. 315 с.

6. Ерохин В. В. О некоторых механизмах патогенеза туберкулеза / Проблемы туберкулеза. – 2009. –№11. –С.3–8.

7. Парфенова Т.А. Опыт использования в противотуберкулезных учреждениях аллержена туберкулезного рекомбинантного для диагностики туберкулезной инфекции /Туберкулез и болезни лёгких, 2016, том 94, № 9, с. 49-52

8. Ерохин В. В., Ловачева О.В., Лепеха Л.Н., Васильева И.А., Багдасарян Т.Р., Розенберг О.А. Комплексное лечение деструктивного туберкулеза легких с использованием препарата природного сурфактанта «сурфактант-БЛ». Методические рекомендации. – М., 2010. – 22 с.

9. Méndez-Samperio P. Immunotherapy for human TB: evidence for adjuvant activities of some host defense peptides against TB./Immunotherapy, 2014;6(4):363-5. doi: 10.2217/imt.14.8. 144.

10. Wang M, Guan X, Chi Y, Robinson N, Liu JP. Chinese herbal medicine as adjuvant treatment to chemotherapy for multidrug-resistant tuberculosis (MDR-TB): A systematic review of randomised clinical trials. /Tuberculosis (Edinb.) 2015 Mar 18. pii: S1472- 9792(14)20598-1.

11. Johnston JC, Campbell JR, Menzies D. Effect of Intermittency on Treatment Outcomes in Pulmonary Tuberculosis: An Updated Systematic Review and Metaanalysis. In Infect Dis. 2017 May 1;64(9):1211-1220. doi: 10.1093/cid/cix121

12. Васильева Г.Ю. Повышение эффективности комплексного лечения деструктивного туберкулеза легких с применением иммуномодулятора Бестим: автореферат дисс. канд. мед. наук / СПб. – 2004. – 22 с.

13. Sarin P, Duffy J, Mughal Z, Hedayat E, Manaseki-Holland S. Vitamin D and tuberculosis: review and association in three rural provinces of Afghanistan// Int J Tuberc Lung Dis. 2016;20(3):383-8

14. Zittermann A, Pilz S, Hoffmann H, März W. Vitamin D and airway infections: a European perspective.//Eur J Med Res. 2016; 24;21:14.

15. Григорьев Ю.Г. Противофиброзная электромагнитная и лазерная терапия во фтизиатрии//Туберкулез и социально значимые заболевания № 4_2018 С.68-74

16. Ломаченков В.Д., Стрелис А.К. Физиотерапия при туберкулезе легких Москва «Медицина», 2000, 64 с. с.2

17. Чуйкова А.Г. Влияние переменного магнитного поля и препарата метилурацил на результаты комплексного лечения больных туберкулезом легких с сопутствующей ВИЧ-инфекцией: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. – М., 2017 – 24 с.

18. Хоменко А.Г., Чуканов В.И., Новикова Л.Н. Эффективность лечения больных туберкулезом

легких химиопрепаратами в сочетании с электромагнитным излучением крайне высокой частоты // Пробл. туберкулеза. – 1994 – № 4 – С. 2-4.

19. Пономаренко Г.Н. Актуальные вопросы физиотерапии: Избранные лекции. – СПб., 2010 – 238 с.

20. Техника и методики физиотерапевтических процедур (справочник) / Под ред. В.М. Боголюбова. – М.: БИНОМ, 2016 – 464 с.

21. Левченко Г.И. Физиотерапия в лечении туберкулеза легких // Военно-медицинский журнал 2002.-N 5.-С.49-51.

22. Сысоев П.Г., Суворова А.О., Ладыгина А.В., Опаец А.О. Применение электрофореза в комплексном лечении туберкулеза легких // Синергия наук. 2018. № 21. – С. 215-218. – [Электронный ресурс] URL: <http://synergy-journal.ru/archive/article1910> (Доступ 24.06.2023 г.)

23. Физиотерапия при туберкулезе: метод. рекомендации / А.В. Машанская [и др.]. – Иркутск: РИО ГБОУ ДПО ИГМАПО, 2014. – 28 с. Скачано с официального сайта кафедры физиотерапии и курортологии ИГМАПО - <http://medAngara.ru>

24. Пальцев М. А., Белушкина Н. Н., Чабан Е.А.. «4П-медицина как новая модель здравоохранения в Российской Федерации»// ОРГЗДРАВ: Новости. Мнения. Обучение. Вестник ВШОУЗ, № 2 (2), 2015, С. 48-54.

25. Hood L., Balling R., Auffray C. Revolutionizing medicine in the 21st century through systems approaches // Biotechnol. J. 2012. Vol. 7 (8). P. 992–1001

26. Санаторий с искусственным интеллектом. Что придумали ученые в Крыму?/ Пресс-служба Корпорации развития Республики Крым 04 января 2022. Официальный сайт [Электронный ресурс] URL: <https://invest-in-crimea.ru/news/sanatoriy-s-iskusstvennym-intellektom-chto-pridumali-uchenye-v-krymu> (Доступ 24.06.2023 г.)

27. Журавлёв Ю.И. Избранные научные труды. М.: Магистр, 1998.

28. Мазуров Вл. Д. Математические методы распознавания образов. Свердловск: Издво УрГУ, 1982

29. Мазуров В.Д. Метод комитетов в задачах оптимизации и классификации / В.Д. Мазуров. – М.: Наука, 1990. – 248 с.

Авторы

Калинина Людмила Васильевна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Туберкулезный санаторий «Голубая бухта» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Заместитель директора

Геленджик, Российская Федерация, Краснодарский край

ivanovagolubayabuhta@yandex.ru

ORCID: 0009-0007-4895-8997

Чернавин Павел Фёдорович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский Федеральный университет им. Первого Президента России

Б.Н. Ельцина»

К. э. н., доцент кафедры «Аналитика больших данных и методы видеоанализа

Екатеринбург, Российская Федерация

chernavin.p.f.@gmail.com

ORCID 0000-0003-3214-3906

SPIN-код: 6370-8103

Scopus author ID 57218454535

Черняев Игорь Анатольевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Старший преподаватель кафедры Общественного здоровья и здравоохранения

Екатеринбург, Российская Федерация
obltuborg@yandex.ru
ORCID 0000-0002-2439-7087
SPIN-код 3988-9353
Scopus author ID 55258618000

Чернавин Николай Павлович
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Уральский Федеральный университет им. Первого Президента России
Б.Н. Ельцина»
Ассистент кафедры «Аналитика больших данных и методы видеоанализа»
Екатеринбург, Российская Федерация
ch_k@mail.ru
ORCID: 0000-0002-2093-9715
SPIN-код: 5722-9436
Scopus author ID 57218449514

Чугаев Юрий Петрович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Россий-
ской Федерации
Д. м. н., профессор, профессор кафедры Фтизиатрии и пульмонологии
Екатеринбург, Российская Федерация
doctorchygaev@mail.ru
ORCID 0000-0003-0030-674X
SPIN-код: 7325-4293
Scopus author ID 36820448800
Scopus author ID 57220920977

*L.V. Kalinina¹, P.F. Chernavin², I. A. Cherniaev³,
N. P. Chernavin², Yu. P. Chugaev³*

EXPERIENCE IN DEVELOPING AN AUTOMATED SYSTEM TO SUPPORT MEDICAL DECISION-MAKING IN A TUBERCULOSIS SANATORIUM, OBTAINED USING MACHINE LEARNING TECHNOLOGIES

¹The Federal Tuberculosis Sanatorium “Golubaya Buhta”

of the Ministry of Health of the Russian Federation, Gelendzhik, Russian Federation;

²Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Ural Federal University
named after the first President of Russia B.N. Yeltsin", Yekaterinburg, Russian Federation;

³ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ural State Medical
University" of the Ministry of Health of the Russian Federation,

Yekaterinburg, Russian Federation

Abstract. Treatment at Sanatorium is an important stage in the organization of medical rehabilitation of patients with tuberculosis. Help in solving this issue can be provided by the use of machine learning (ML) methods for prescribing treatment procedures. The article presents the author's approach to solving this issue using real data from a sanatorium for the rehabilitation of patients with tuberculosis. Calculations were carried out on the basis of 18 qualitative and 25 quantitative characteristics taken into account upon admission to the sanatorium. *The aim of the study* was to identify the most suitable ML methods for prescribing 37 rehabilitation procedures. The basic classical ML methods were used: categorical boosting, decision tree,

random forest, naive Bayesian method, linear separation of sets were used for categorical features. The general sample was divided into training and test samples in the proportion of 80/20%. Since the classes were unbalanced, the assessment of the quality of the solution was carried out using the metric area under the ROC curve (AUC ROC). It was necessary to determine which methods and for which procedures the AUC ROC metric will have more than 0.75 on training and test samples. When assigning procedures based on categorical features, the naive Bayesian method showed the best results for 8 procedures, random forest for 7, categorical boosting for 4, decision tree for 1, linear separation for 11. For quantitative features: the naive Bayesian method showed the best results for 2 procedures, a random forest for 3, and linear separation for 29. The decision tree and the nearest neighbor method did not show proper results for any procedure. Linear separation method showed the best results. In the analysis based on categorical features, the AUC ROC metric did not exceed the 0.75 bar for any of the ML methods. When analyzing on the basis of quantitative characteristics, the situation was similar for four procedures. An ensemble approach was used to build a computer system (CS) based on these procedures. If most of the methods had an AUC ROC metric of more than 0.7, then the procedure was assigned and not otherwise assigned. Based on the found Decisive Rules, the CS was built in the form of MS Excel tables. The staff needed to enter the categorical and quantitative characteristics of the patient upon admission to the Sanatorium and the CS recommends list of medical procedures should be prescribed to a particular patient. The doctor has the right both to cancel the appointment and to prescribe additional procedures. The results of the CS are well interpreted and convenient for medical practitioners to perceive, since they actively participated in its creation, and all the methods of ML had good visual interpretations, that demonstrated and explained to practitioners. **Conclusion:** CS is easy to use and maintain. The sequence and methods of data analysis are not tied to the profile of a particular sanatorium. The approach is replicated, only a minor adjustment of the system is required based on the initial data of a particular sanatorium, determined by the specifics of the profile of the medical institution.

Keywords: machine learning, classification tasks, committee method, tuberculosis, sanatorium, physical therapy

There is no conflict of interest.

Contact details of the corresponding author:

Igor A. Cherniaev

obluborg@yandex.ru

Received: 29.05.2024

For citation: Kalinina L.V., Chernavin P.F., Cherniaev I.A., Chernavin N.P., Chugaev Yu.P. Experience in developing an automated system to support medical decision-making in a tuberculosis sanatorium, obtained using machine learning technologies. [Online] Vestn. Ural. Med. Akad. Nauki. = Journal of Ural Medical Academic Science. 2024, Vol. 21, no. 5, pp. 621–638. DOI: 10.22138/2500-0918-2024-21-5-621-638 (In Russ)

REFERENCES

1. Clinical guidelines «Tuberculosis in adults» =Klinicheskie rekomendacii «Tuberkulez u vzroslyh»= All-Russian public organization "Russian Society of Phthisiologists", National Association of non-profit organizations of phthisiologists "Association of Phthisiologists" =Obshherossijskaja obshhestvennaja organizacija «Rossijskoe obshhestvo ftiziatrov», Nacional'naja asociacija nekommercheskih organizacij ftiziatrov «Associacija ftiziatrov», 2022 151 p. [Online]. Available at: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/16_2 (Accessed 24.06.2023) (In Russ.).
2. Balasanyants G.S. The concept of the development of phthisiological sanatorium care for tuberculosis patients in the Russian Federation= Konceptcija razvitija ftiziatricheskoj sanatornoj pomoshhi bol'nym tuberkulezom v Rossijskoj Federacii = Medical Alliance scientific and practical journal= Medicinskij al'jans, 2013. - No.4. – pp. 79-83 (In Russ.).
3. Physical therapy for tuberculosis: a methods guidelines = Fizioterapija pri tuberkuljoze: metod. rekomendacii / Irkutsk: Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education is a branch of the

Russian Medical Academy of Continuing Professional Education of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2014. – 28 p. Downloaded from the official website of the Department of Physiotherapy and Balneology [Online]. Available at: <http://medAngara.ru> (Accessed 24.06.2023) (In Russ.).

4. Shhekoldin P.I. General principles of the use of physical factors in the complex therapy of tuberculosis = Obshhie principy primeneniya fizicheskikh faktorov v kompleksnoj terapii tuberkuleza // Doctor Landing =Doktor Ljending, 1996. №2. pp. 43-46 (In Russ.).

5. Klyachkin L.M., Malyavin A.G., Ponomarenko G.N., et al. Physical methods of treatment in pulmonology = Fizicheskie metody lechenija v pul'monologii. St. Petersburg, 1997. 315 p. (In Russ.).

6. Erokhin V. V. On some mechanisms of tuberculosis pathogenesis = O nekotoryh mehanizmah patogenez tuberkuleza / Tuberculosis problems = Problemy tuberkuleza. - 2009. –No.11. –pp.3-8.

7. Parfenova, T.. (2016). Experience of using recombinant allergen of mycobacterium tuberculosis for diagnostics of tuberculous infection. Tuberculosis and Lung Diseases. 94. 49-52. DOI: 10.21292/2075-1230-2016-94-9-49-52. (In Russ.).

8. Ерохин В. В., Ловачева О.В., Лепеха Л.Н., Васильева И.А., Багдасарян Т.Р., Розенберг О.А. Комплексное лечение деструктивного туберкулеза легких с использованием препарата природного сурфактанта «сурфактант-БЛ». Методические рекомендации. – М., 2010. – 22с. Erokhin V. V., Lovacheva O.V., Lepexha L.N., Vasilyeva I.A., Bagdasaryan T.R., Rosenberg O.A. Complex treatment of destructive pulmonary tuberculosis using the preparation of natural surfactant "surfactant-BL" = Kompleksnoe lechenie destruktivnogo tuberkuleza legkih s ispol'zovaniem preparata prirodnogo surfaktanta «surfaktant-BL». Methodological guidelines = Metodicheskie rekomendacii... – М., 2010. – 22с. (In Russ.).

9. Méndez-Samperio P. Immunotherapy for human TB: evidence for adjuvant activities of some host defense peptides against TB./Immunotherapy, 2014;6(4):363-5. DOI: 10.2217/imt.14.8. 144.

10. Wang M, Guan X, Chi Y, Robinson N, Liu JP. Chinese herbal medicine as adjuvant treatment to chemotherapy for multidrug-resistant tuberculosis (MDR-TB): A systematic review of randomised clinical trials. /Tuberculosis (Edinb.) 2015 Mar 18. pii: S1472- 9792(14)20598-1.

11. Johnston JC, Campbell JR, Menzies D. Effect of Intermittency on Treatment Outcomes in Pulmonary Tuberculosis: An Updated Systematic Review and Metaanalysis. In Infect Dis. 2017 May 1;64(9):1211-1220. DOI: 10.1093/cid/cix121

12. Vasilyeva G.Yu. Improving the effectiveness of complex treatment of destructive pulmonary tuberculosis using the immunomodulator = Povyshenie jeffektivnosti kompleksnogo lechenija destruktivnogo tuberkuleza legkih s primeneniem immunomoduljatora Bestim: abstract of dissertation of the Candidate of Medical Sciences = avtoreferat diss. kand. med. nauk / St. Petersburg. – 2004. – 22с. (In Russ.).

13. Sarin P, Duffy J, Mughal Z, Hedayat E, Manaseki-Holland S. Vitamin D and tuberculosis: review and association in three rural provinces of Afghanistan// Int J Tuberc Lung Dis. 2016;20(3):383-8

14. Zittermann A, Pilz S, Hoffmann H, März W. Vitamin D and airway infections: a European perspective.//Eur J Med Res. 2016; 24;21:14. DOI: 10.1186/s40001-016-0208-y

15. Grigoriev Yu.G. Antifibrous electromagnetic and laser therapy in phthiology = Protivofibroznaja jelektromagnitnaja i lazernaja terapija vo ftiziatrii //Tuberculosis and socially significant diseases = Tuberkuljoz i social'no znachimye zabojevanija No. 4, 2018 pp.68-74 (In Russ.).

16. Lomachenkov V.D., Strelis A.K. Physiotherapy for pulmonary tuberculosis = Fizioterapija pri tuberkuleze legkih Moscow "Medicine", 2000, 64 p. p.2 (In Russ.).

17. Chuikova A.G. The influence of an alternating magnetic field and the drug methyluracil on the results of complex treatment of patients with pulmonary tuberculosis with concomitant HIV infection = Vlijanie peremennogo magnitnogo polja i preparata metiluracil na rezul'taty kompleksnogo lechenija bol'nyh tuberkulezom legkih s soputstvujushhej VICH-infekciej: Abstract of the dissertation of the Candidate of Medical sciences = Avtoref. dis. ... kand. med. nauk. – М., 2017 – 24 p. (In Russ.).

18. Khomenko A.G., Chukanov V.I., Novikova L.N. The effectiveness of treatment of patients with pulmonary tuberculosis with chemotherapy drugs in combination with electromagnetic radiation of extremely high frequency = Jeffektivnost' lechenija bol'nyh tuberkulezom legkih himiopreparatami v sochetanii s jelektromagnitnym izlucheniem krajne vysokoj chastity// Problems of tuberculosis = Probl. tuberkuleza. – 1994 – № 4 –pp . 2-4. (In Russ.).

19. Ponomarenko G. N. Topical issues of physiotherapy: Selected lectures = Aktual'nye voprosy

fizioterapii: Izbrannye lekci. – SPb., 2010 – 238 p. (In Russ.).

20. Technique and methodology of physiotherapy procedures (handbook) = Tehnika i metodiki fizioterapevticheskikh procedur (spravochnik) / Edited by N. V.M. Bogolyubov = Pod red. V.M. Bogoljubova. – M.: BINOM, 2016-464 p. (In Russ.).

21. Levchenko G.I. Physiotherapy in the treatment of pulmonary tuberculosis = Fizioterapija v lechenii tuberkuleza legkih // Military Medical Journal = Voenno-medicinskij zhurnal 2002.-N 5.-S.49-51. (In Russ.).

22. Sysoev P.G., Suvorova A.O., Ladjagina A.V., Opaec A.O. The use of electrophoresis in the complex treatment of pulmonary tuberculosis = Primenenie jelektroforeza v kompleksnom lechenii tuberkuleza legkih // Synergy of Sciences = Sinergija nauk. 2018. № 21. – pp. 215-218. [Online]. Available at: URL: <http://synergy-journal.ru/archive/article1910> (Accessed 06/24/2023) (Accessed 24.06.2023) (In Russ.).

23. Physical therapy for tuberculosis: a methods guidelines = Fizioterapija pri tuberkuljoze: metod. rekomendacii / Irkutsk: Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education is a branch of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2014. – 28 p. Downloaded from the official website of the Department of Physiotherapy and Balneology [Online]. Available at: <http://medAngara.ru> (Accessed 24.06.2023) (In Russ.).

24. Paltsev M. A., Belushkina N. N., Chaban E.A. "4P-medicine as a new model of healthcare in the Russian Federation" // Scientific and practical peer-reviewed journal «HEALTHCARE MANAGEMENT: news, views, education» = Nauchno-prakticheskij recenziruemyj zhurnal «ORGZDRAV: novosti, mnenija, obuchenie» No. 2 (2), 2015, pp. 48-54. (In Russ.).

25. Hood L., Balling R., Auffray C. Revolutionizing medicine in the 21st century through systems approaches // Biotechnol. J. 2012. Vol. 7 (8). P. 992–1001

26. Sanatorium with artificial intelligence. What did scientists come up with in Crimea? = Sanatorij s iskusstvennym intellektom. Chto pridumali uchenye v Krymu? / Press Service of the Development Corporation of the Republic of Crimea on January 04, 2022. Official website = Press-sluzhba Korporacii razvitija Respubliki Krym 04 janvarja 2022. Oficial'nyj sajt [Online] Available at: <https://invest-in-crimea.ru/news/sanatoriy-s-iskusstvennym-intellektom-chto-pridumali-uchenye-v-krymu> (Accessed 06/24/2023) (In Russ.).

27. Zhuravlev Yu.I. Selected scientific works = Izbrannye nauchnye trudy. M.: Magistr, 1998, 416 p. (In Russ.).

28. Mazurov V. D. Mathematical methods of pattern recognition = Matematicheskie metody raspoznavanija obrazov, Izdvo UrGU, Sverdlovsk, 1982, 83 p. (In Russ.).

29. Mazurov V.D. Method of committees in optimization and classification problems = Metod komitetov v zadachah optimizacii i klassifikacii / M.: Nauka, 1990. – 248 p. (In Russ.).

Authors

Ludmila V. Kalinina

The Federal Tuberculosis sanatorium "Golubaya Buhta" of the Ministry of Health of the Russian Federation
Deputy director

ivanovagolubayabuhta@yandex.ru

ORCID: 0009-0007-4895-8997

Gelendzhik, Krasnodarsky krai, Russian Federation

Pavel F. Chernavin

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin"

PhD, Associate Professor

chernavin.p.f@gmail.com

ORCID: 0000-0003-3214-3906

SPIN: 6370-8103

Yekaterinburg, Russian Federation

Igor A. Cherniaev
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ural State Medical University" of
the Ministry of Health of the Russian Federation
Senior Lecturer, Department of Public Health
obltuborg@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-2439-7087
SPIN: 3988-9353
Yekaterinburg, Russian Federation

Nikolay P. Chernavin
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Ural Federal University named
after the first President of Russia B.N. Yeltsin"
Assistant Professor of Big Data Analytics and Video Analysis Methods
ch_k@mail.ru
ORCID: 0000-0003-3214-3906
SPIN: 5722-9436
Yekaterinburg, Russian Federation

Yuri P. Chugaev
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ural State Medical University" of
the Ministry of Health of the Russian Federation
Doctor of Sciences (Medicine), Professor, Department of Infection Diseases, phthiziology and pulmonology
doctorchugaev@mail.ru
ORCID 0000-0003-0030-674X
SPIN: 7325-4293
Yekaterinburg, Russian Federation