

Научная статья
УДК 004.891.3
doi: 10.17586/2713-1874-2022-2-63-71

ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОЕКТА ПО РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ МЕДИЦИНСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ КАРОТИДНЫХ ОПУХОЛЕЙ (ХЕМОДЕКТОМ)

Пётр Константинович Котенко¹, Екатерина Александровна Жабровец²

¹ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург, Россия, mil.med.kot@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0003-2017-4895>

²Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия, 243802@niuitmo.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0001-5504-165X>
Язык статьи – русский

Аннотация: Обоснован перечень необходимых мероприятий для достижения цели создания информационной технологии обнаружения опухолей каротидного тела, локализующихся в области шеи, определены роли и необходимый состав участников, произведена оценка рисков проекта, а также дано краткое описание технических аспектов результирующего инструмента. Процесс обнаружения опухолей каротидного тела, локализующихся в области шеи, является довольно трудоемкой задачей в силу редкости данного заболевания и, как следствие, недостаточного объема информации о данной патологии у врачей-специалистов. Появление программного средства, способного установить наличие у человека каротидной хемодектомы на ранней стадии её формирования окажет существенную помощь для оперативного реагирования и формирования эффективной методики лечения.

Ключевые слова: дискриминантный анализ, каротидная параганглиома, машинное обучение, медицинское программное обеспечение, опухоль каротидного тела, оценка рисков, парсинг медицинских данных, хемодектома

Ссылка для цитирования: Котенко П.К., Жабровец Е.А. Планирование проекта по разработке системы поддержки принятия медицинских решений при диагностике каротидных опухолей (хемодектом) // Экономика. Право. Инновации. 2022. № 2. С. 63–71. <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2022-2-63-71>.

PLANNING OF A PROJECT TO DEVELOP A MEDICAL DECISION SUPPORT SYSTEM FOR DIAGNOSING CAROTID BODY TUMORS (CHEMODEKTOMA)

Peter K. Kotenko¹, Ekaterina A. Zhabrovets²

¹The Nikiforov's NRCERM, Saint Petersburg, Russia, mil.med.kot@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0003-2017-4895>

²ITMO University, Saint Petersburg, Russia, 243802@niuitmo.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0001-5504-165X>
Article in Russian

Abstract: The list of activities which are necessary for development of information technology aiming to detect carotid body tumors, located in the neck area, has been substantiated; the roles of participants have been defined; the possible risks have been assessed; and a brief description of technical details of the result application has been provided. Detection of carotid body tumors, located in the neck area, is a quite laborious task due to the rarity of this disease and, respectively, the lack of information held by medical specialists. The introduction of the technology which would be capable to detect the persistence of carotid body tumor in the early stages would provide substantial assistance for doctors in terms of rapid response and creation of effective treatment methods.

Keywords: carotid body tumor, carotid paraganglioma, chemodektoma, discriminant analysis, machine learning, medical data parsing, medical software, risk assessment

For citation: Kotenko P.K., Zhabrovets E.A. Planning of a Project to Develop a Medical Decision Support System for Diagnosing Carotid Body Tumors (Chemodektoma). *Ekonomika. Pravo. Innovacii*. 2022. No. 2. pp. 63–71. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2022-2-63-71>.

Введение. Создание технологии (информационной системы) для диагностики у человека каротидной хемодектомы на ранней стадии её формирования посредством комплексного анализа данных о пациенте способно оказать существенную помощь в своевременной диагностике и формировании эффективной методики лечения с наименьшим риском развития последующих осложнений для пациентов, а также внести существенный вклад в расширение базы знаний о данном заболевании и повышение уровня компетентности врачей.

Каротидная хемодектома (опухоль каротидного гломуса, «Chemodectoma caroticum») – васкуляризируемая опухоль, происходящая из нехромаффинных параганглионарных клеток каротидного гломуса, локализованная чаще всего в области бифуркации сонной артерии, в большинстве случаев доброкачественная, медленно растущая.

По данным Sevilla Garsia M.A. et al. [1], частота заболевания составляет 1–2 случая на 100 тыс. населения.

Дружинин Д.С. и Пизова Н.В. [2] по результатам ультразвукового обследования 18 тыс. пациентов, направленных по разным причинам, пишут о выявлении двух случаев заболевания, подтвержденного ангиографически.

Согласно Georgiadis G.S. et al. [3] каротидная хемодектома составляет 65% в структуре всех параганглиом головы и шеи.

Малигнизация опухоли отмечена у 6–25% пациентов.

Диагностика опухолей каротидного тела, локализующихся в области шеи, является довольно сложной задачей. Согласно опубликованным исследованиям [4–6], ошибки их первичной диагностики колеблются в диапазоне 25–90%. Основными причинами данной ситуации служит относительная редкость заболевания (в мировой литературе к 2000 г. в общей сложности насчитывается около 1800 подтвержденных случаев) и, как следствие, недостаточный объем знаний о данной патологии у врачей первичного звена здравоохранения. При этом поздняя диагностика заболевания может привести к серьезным осложнениям, грозящим летальным исходом, поскольку новообразование вплотную прилегает к кровеносным сосудам и, как

правило, имеет тенденцию к росту, тем самым сдавливая и затрудняя полноценное функционирование трахеи, языкоглоточных нервов, щитовидной железы и проч.

Постановка задачи (цель исследования). Целью данного исследования является обоснование разработки программного средства для обнаружения каротидной хемодектомы на ранней стадии её формирования. Для этого необходимо составление подробного перечня этапов разработки, состава участников, оценка рисков реализации рассматриваемой технологии, а также определение характера исходных данных и потенциальных моделей машинного обучения для основы работы алгоритма распознавания.

Методика исследования. Планирование этапов разработки технологии осуществлено по принципу каскадной модели, подразумевающей последовательное выполнение шагов без учета возврата на предыдущую ступень работы [7]. В качестве подхода к постановке целей каждого этапа использован метод SMART [8]. Оценка рисков произведена с использованием инструмента матрицы рисков [9].

Определение технических особенностей разрабатываемого инструмента осуществлено на основании существующих исследований, посвященных решению задачи распознавания при помощи алгоритмов искусственного интеллекта [10] и статистическому анализу данных пациентов [11].

Полученные результаты.

Определение состава участников. Ядро команды проекта составлено из двух основных (руководителя-консультанта и разработчика-аналитика) и одного внешнего исполнителя (занимающегося валидацией промежуточных результатов, полученных в ходе исследования).

Привлечение внешнего исполнителя «врача-консультанта» осуществлено в целях проверки корректности полученных результатов с точки зрения медицины. Данный специалист должен иметь опыт работы с пациентами с диагностированной каротидной опухолью и быть врачом высшей квалификационной категории.

Сводная характеристика ролей участников проекта представлена в Таблице 1.

Таблица 1

Роли, функционал, занятость в проекте

Роль в проекте	Основные функции в рамках проекта	Кол-во, человек
Руководитель проекта, эксперт по вопросам технической и математической составляющих	Контроль всех касающихся проекта работ, координация остальных участников; консультирование, статистическая обработка и анализ данных, оценка работы итогового ПО	1
Разработчик ПО, Data Scientist	Программная реализация технологии детектирования в форме, удобной для конечного пользователя; сбор и предобработка данных о пациентах, разработка алгоритма детектирования и архитектуры модели распознавания	1
Врач-консультант	Проверка корректности полученных результатов с точки зрения медицины	1

Контрольные точки. По итогам работы было сформулировано два ключевых результата проектной деятельности:

1. Технология диагностики каротидных опухолей (хемодектом) на ранней стадии с использованием методов машинного обучения: подразумевает создание программного обеспечения, способного по предоставленным изображениям и медицинским данным о состоянии здоровья паци-

ента определить наличие у пациента рассматриваемого заболевания с точностью более 85%.

2. База данных маркеров каротидных опухолей (хемодектом) на ранней стадии – реляционная база данных с предобработанными и размеченными данными больных с каротидной опухолью.

Показатели результативности итоговых результатов приведены в Таблице 2.

Таблица 2

Показатели результативности проекта

Показатель	Единица измерения	Значение показателя результативности
Внесение разработки в реестр готовых тиражируемых технологических решений для российской промышленности	Количество зарегистрированных РИД в реестре агентства по технологическому развитию	1
Наличие публикации в издании уровня Q2, описывающих промежуточные/финальные результаты проекта	Количество опубликованных статей	1
Итоговая реляционная база данных содержит информацию о минимум 200 пациентах с подтвержденным наличием каротидной опухоли	Количество записей в БД	200

Срок реализации проекта – 18 месяцев.

Перечень необходимых мероприятий представлен в Таблице 3.

Таблица 3

Мероприятия и контрольные точки проекта

№№ пп	Мероприятие / контрольная точка	Длительность этапа, месяц	Ответственный	Характеристика мероприятия / контрольной точки
1	Формирование наборов данных для дальнейшего анализа и построения модели распознавания	3 мес.	руководитель, разработчик	Сбор информации как из открытых источников, так и мед.организаций; обработка полученного материала с последующим формированием датасетов и результирующей БД
1.1	<i>Сбор данных</i>	2 мес.	руководитель, разработчик	Сбор информации о пациентах с патологией из открытых источников / мед.организаций
1.2	<i>Предобработка данных</i>	1 мес.	разработчик	Предобработка исходных данных, формирование датасетов
2.	Выявление значимых относительно детектирования показателей	2 мес.	руководитель, разработчик, врач-консультант	Получение базы данных маркеров каротидных опухолей
2.1	Формирование перечня значимых показателей	2 мес.	руководитель, разработчик, врач-консультант	Получение базы данных маркеров каротидных опухолей
3.	Разработка архитектуры модели распознавания и ее дальнейшее обучение	5 мес.	руководитель, разработчик, врач-консультант	Формирование алгоритма распознавания, построение соответствующей модели и ее валидация
3.1	Построение модели распознавания	3 мес.	руководитель, разработчик	Подготовка дискриминантной модели
3.2	Валидация полученной модели	2 мес.	руководитель, разработчик, врач-консультант	Проверка работы модели на новых данных, получение экспертной оценки врача
4.	Разработка ПО для распознавания каротидной опухоли	6 мес.	разработчик	Подготовка программного средства для конечного пользователя
4.1	Проектирование приложения	3 мес.	разработчик	Подготовка макета функционала приложения
4.2	Программирование результирующего приложения	4 мес.	разработчик	Оформление модели распознавания в виде программного обеспечения
5	Патентная регистрация результата интеллектуальной деятельности	2 мес.	руководитель, разработчик	Подача заявки на патентную регистрацию полученного ПО и базы данных

Оценка рисков проекта. Основные риски связаны с ограниченным количеством данных для тренировочной выборки и проек-

тирования БД, обусловленным сравнительной редкостью заболевания. Матрица рисков представлена в Таблице 4.

Таблица 4

Матрица рисков

Описание риска	Возможные последствия наступления риска	Вероятность возникновения	Степень влияния (на сроки, бюджет, содержание проекта)	Стратегия реагирования на риск
Недостаточное количество данных	Статистическая недостоверность полученных результатов распознавания	высокая	высокая	Генерация синтетических образцов на основе имеющихся данных, более продуманное определение гиперпараметров модели
Несостоятельность дискриминантной функции	Высокая ошибка распознавания, низкая точность модели	средняя	высокая	Смена подхода к построению модели распознавания
Несопоставимость данных из различных источников (могут быть различия в фиксируемых показателях между странами и проч.)	Дисбаланс в данных, потенциальное упущение значимых факторов влияния на точность распознавания	высокая	низкая	Формирование модели, устойчивой к пропускам каких-либо признаков

Источники данных и технологии диагностики. В качестве исходных данных использована информация трех типов:

1. ДНК-последовательности;
2. Показатели из медицинских карт, заключений, эпикризов;
3. Изображения КТ и МРТ.

Для формирования датасета с ДНК-последовательностями использованы данные из открытых источников, в частности, опубликованные в рамках исследования по секвенированию экзона больных соответствующим заболеванием [11]. Извлечение не-

обходимой информации произведено при помощи Python-библиотек requests (для работы с HTTP) и BeautifulSoup (для работы с текстом веб-страницы). Результирующий набор данных сформирован при помощи библиотеки Pandas и имеет 12 признаков: пол, возраст и первые 10 ДНК-строк из общего числа (в зависимости от хода дальнейшей работы их количество может быть при необходимости увеличено). Общее число записей равно 84. Пример записи для одного пациента представлен на Рисунке 1.

```

sex                                female
age                                56
fasta1    GATGGNTGTGGGGTCAAGTACATCCCCAATCGTGGCCCTCTGGACA...
fasta2    TCAGANGGAACAAACTCCAGACGCGCCACCTTAAGAGCTGTAACAC...
fasta3    TACTTNCCAGTTTTTCTTTGATGAATAACTCTTACTTGAATAACAG...
fasta4    AGTAGNTGGGACTATAAGTGTGTGCCATGATGCCTGGCTCAATTTT...
fasta5    TGTTTNAATTCTCTTTTTCTAGCTGTGAGCATTGCATTCCCTTATTGG...
fasta6    CTCCTNCTTCTCGTCTTCAGCCGCTCCTCTCGCCGCCGCCTCCACA...
fasta7    AGGCANAGCCTTGACGGGCACAGCACCAGCCAGCCCCATACCCTGG...
fasta8    GATGGNTGTGGGGTCAAGTACATCCCCAATCGTGGCCCTCTGGACA...
fasta9    CAGAGNTAGTCTTTTCATTTGTCAACAAATGTCCACTAGTCTCTTA...
fasta10   TGCTGNATCACTCCATCGCAGGCTCTAAAGTATGTTACAGACAAT...
Name: 0, dtype: object
    
```

Рисунок 1 – Пример итоговой записи для одного пациента

Первичный анализ полученного датасета произведен по показателям «пол» и «возраст». Доля женщин составляет 77,6%, средний возраст всех пациентов равен 48,61 го-

дам. Графики соотношения полов и распределения пациентов по возрастам представлены на Рисунках 2 и 3 соответственно (построены при помощи библиотеки Plotly).

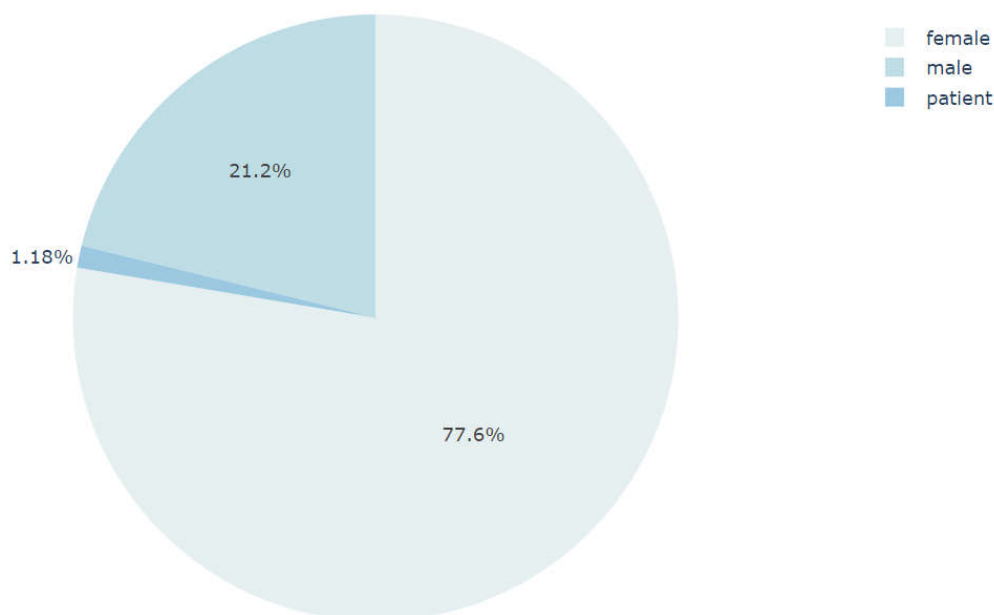


Рисунок 2 – График соотношения мужчин и женщин.
(Значение «patient» является выбросом – для двух пациентов пол не был указан)

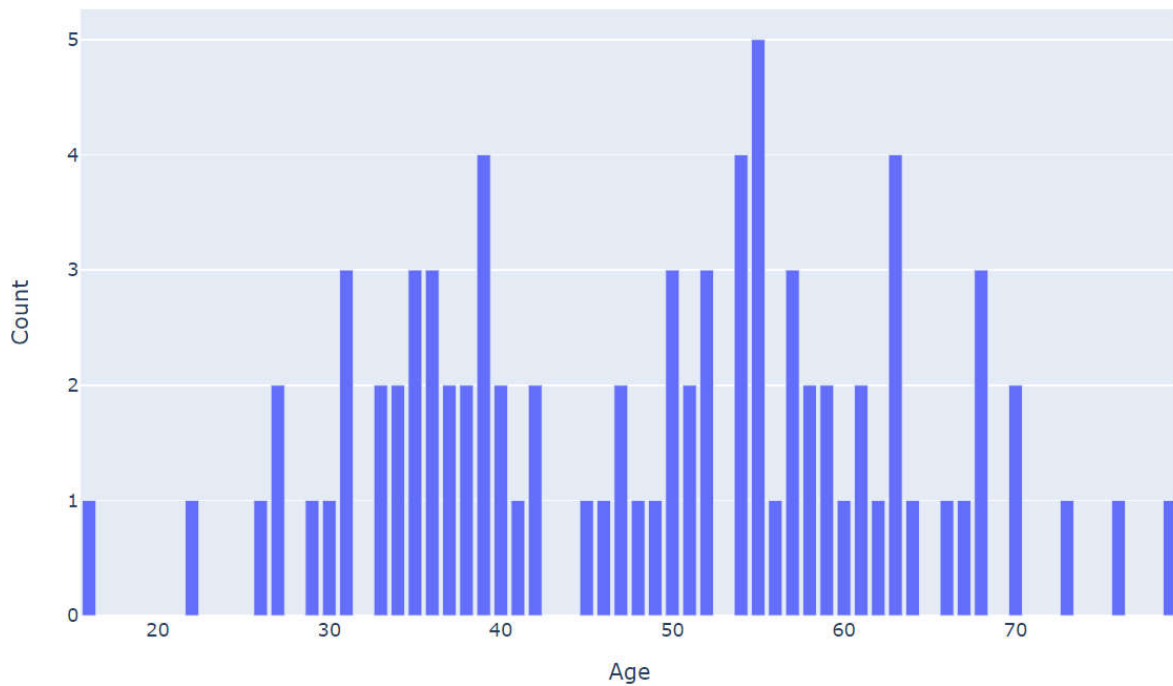


Рисунок 3 – График распределения пациентов по возрасту, лет

На этапе ознакомления с медицинскими картами и выписными эпикризами сформирован перечень признаков для дальнейшей статистической обработки на основании их информативности с точки зрения числовых показателей. Все признаки поделены на десять групп:

1. Общие сведения о пациенте: номер истории болезни, пол, дата рождения, дата поступления, дата выписки, число койко-дней.

2. Общие показатели, фиксируемые на момент поступления/выписки: масса тела, рост, вес, артериальное давление, частота дыхательных движений, температура, жалобы.

3. Информация, сопутствующая основному заболеванию: инвалидность, дата установления инвалидности, наличие хемотомы у кровных родственников, является ли опухоль односторонней или двусторонней и т.д.

4. Результаты лабораторных исследований (представляют собой количественные признаки, такие как количество базофилов, крупных тромбоцитов, гемоглобин и проч.).

5. Характеристика операционных вмешательств: вид и дата операции, осложнения, факт установки гастростомы.

6. Терапия: назначенное лекарство, дозировки, частота приема.

7. Результаты ультразвукового исследования: гиперваскуляризация (справа/слева/отсутствует), размер опухоли.

8. Результаты анализа биопсийного материала: текст заключения, наличие маркеров, идентифицирующих опухоль, таких как: синаптофизин, хромогранин и др.).

9. Результаты компьютерной томографии: размеры и локализация образования.

10. Результаты МРТ исследования (разница изображений T1 и T2, описанная текстом).

Признаки, относящиеся к общей характеристике, терапии, результатам лабораторных исследований извлекались из медицинских документов электронного формата при помощи регулярных выражений (например, извлекается фрагмент фиксированной длины, содержащий определенное слово). Информация, представленная в свободной форме (например, результаты компьютерной томографии, описанные в протоколе обследования), заносилась вручную. Так как файлы имеют расширение формата .doc и .docx, для работы с текстом была использована python-библиотека docx. Для манипуляций с регулярными выражениями применена библиотека re. Общее число переменных в итоговом датасете равно 54. Фрагмент перечня признаков представлен на Рисунке 4.

Data columns (total 54 columns):			
#	Column	Non-Null Count	Dtype
0	patient_id	0 non-null	int64
1	Пол	0 non-null	object
2	Дата рождения	0 non-null	datetime64[ns]
3	Дата поступления	0 non-null	datetime64[ns]
4	Дата выписки	0 non-null	datetime64[ns]
5	Число койко-дней	0 non-null	int64
6	Вес	0 non-null	float64
7	Рост	0 non-null	float64
8	АД	0 non-null	float64
9	ЧДД	0 non-null	int64
10	Температура	0 non-null	float64
11	Наследственность	0 non-null	bool
12	Дата установления инвалидности	0 non-null	datetime64[ns]
13	Базофилы	0 non-null	float64
14	Гематокрит	0 non-null	float64
15	Гемоглобин	0 non-null	float64
16	Лимфоциты	0 non-null	float64
17	Нормобласты	0 non-null	float64
18	Содержание крупных тромбоцитов	0 non-null	float64
19	Среднее содержание гемоглобина в эритроците	0 non-null	float64
20	Средний объем тромбоцита	0 non-null	float64
21	Средний объем эритроцита	0 non-null	float64
22	Средняя концентрация гемоглобина в эритроците	0 non-null	float64

Рисунок 4 – Фрагмент итогового перечня признаков

Для нахождения наиболее информативных с точки зрения предсказания признаков запланировано применение дискриминантного анализа. Так как регистрируемое в рамках последних число показателей довольно велико (они включают результаты лабораторных исследований), необходимо выполнить снижение размерности методом главных компонент таким образом, чтобы доля объясненной дисперсии была выше 65%.

Работа с изображениями на данном этапе под вопросом, так как расшифровка информации на снимках описана в соответствующих текстовых заключениях. Однако не исключается будущее задействование сверточных нейронных сетей, в основе которых лежат принципы построения таких архитектур, как U-Net и Res-Net [10].

Основной результат исследовательской работы представляет собой программный продукт, подразумевающий также наличие

пользовательского интерфейса. На финальной стадии планируется разработка desktop-приложения, сообщаемого с серверной базой по принципу модели удаленного доступа.

Выводы, направления дальнейших исследований. По результатам работы сформулированы основные этапы и критерии достижения итогов проекта разработки технологии детектирования каротидных опухолей, проведена оценка рисков реализации, определен технологический базис будущего программного средства.

Дальнейшие действия будут направлены на увеличение размеров наборов данных, реализацию технической части проекта, связанной с разработкой алгоритма распознавания, а также проектированием и разработкой прототипа с интегрированной моделью классификации для возможности использования со стороны конечных пользователей (врачей).

Список источников

1. Sevilla Garcia M.A., Llorente Pendas J.L., Rodrigo Tapia J.P. et al. Head and Neck paragangliomas: Revision of 89 Cases in 73 Patients // *Acta Otorrinolaringol Esp.* 2007. № 58 (3). С. 94–100. (In Eng.).
2. Дружинин Д.С., Пизова Н.В. Каротидная хемодектома: дифференциальная диагностика по данным ультразвукового исследования // *Опухо-*

References

1. Sevilla Garcia M.A., Llorente Pendas J.L., Rodrigo Tapia J.P. et al. Head and Neck paragangliomas: Revision of 89 Cases in 73 Patients. *Acta Otorrinolaringol Esp.* 2007. No. 58 (3). pp. 94–100.
2. Druzhinin D.S., Pizova N.V. Carotid Chemodectoma: Differential Diagnosis According to Ultrasound Data. *Opucholi golovy i shei.* 2012. No. 1.

- ли головы и шеи. 2012. № 1. С. 46–50. DOI: 10.17650/2222-1468-2012-0-1-46-50
3. Georgiadis G.S., Lazarides M.K., Tsalkidis A., Argyropoulou P., Giatromanolaki A. Carotid Body Tumor in a 13-year-old Child: Case Report and Review of the Literature // *J Vasc Surg.* 2008. № 47 (4) С. 874–880. (In Eng.).
4. Amato B., Bianco T, Compagna R., Siano M., Esposito G., Buffone G., Serra R., de Franciscis S. Surgical Resection of Carotid Body Paragangliomas: 10 Years of Experience // *Am J Surg.* 2014. № 207 (2). С. 293–298. (In Eng.). DOI: 10.1016/j.amjsurg.2013.06.002.
5. Газимагомедов З.И. Параганглиомы шеи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://heart-master.com/wp-content/uploads/2015/06/2015_01_56-65.pdf
6. Пинский С.Б., Дворниченко В.В., Репета О.Р. Редкое наблюдение множественной злокачественной параганглиомы шеи // *Сибирский медицинский журнал (Иркутск).* 2009. № 3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/redkoe-nablyudenie-mnozhestvennoy-zlokachestvennoy-paragangliomy-shei>
7. Waterfall: методология разработки // *QE evolution* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://qaevolution.ru/metodologiya-menedzhment/waterfall/>
8. Цели по SMART: подробный обзор // *PowerBranding* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://powerbranding.ru/marketing-strategy/smart-celi/?ysclid=14v9xdj22x328242753>
9. Новожилов Е.О. Принципы построения матриц рисков // *Надежность.* 2015. № 3. С. 73–86.
10. Zhou T., Tan T., Pan X., Tang H., Li J. Fully Automatic Deep Learning Trained on Limited Data for Carotid Artery Segmentation from Large Image Volumes // *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery.* 2020. № 11 (1). С. 67–83. (In Eng.). DOI: 10.21037/qims-20-286
11. Snezhkina A.V. et al. Exome Analysis of Carotid Body Tumor // *BMC Medical Genomics.* 2018. № 11 (Suppl 1). С. 5–19. (In Eng.). DOI: 10.1186/s12920-018-0327-0
- pp. 46–50. (In Russ.). DOI: 10.17650/2222-1468-2012-0-1-46-50
3. Georgiadis G.S., Lazarides M.K., Tsalkidis A., Argyropoulou P., Giatromanolaki A. Carotid Body Tumor in a 13-year-old Child: Case Report and Review of the Literature. *J Vasc Surg.* 2008. No. 47 (4) pp. 874–880.
4. Amato B., Bianco T, Compagna R., Siano M., Esposito G., Buffone G., Serra R., de Franciscis S. Surgical Resection of Carotid Body Paragangliomas: 10 Years of Experience. *Am J Surg.* 2014. No. 207 (2). pp. 293–298. DOI: 10.1016/j.amjsurg.2013.06.002.
5. Gazigomedov Z.I. Neck Paraganglioms. Available at: http://heart-master.com/wp-content/uploads/2015/06/2015_01_56-65.pdf (In Russ.).
6. Pinskiy S.B., Dvornichenko V.V., Repeta O.R. Rare Sighting of Multiple Malignant Neck Paraganglioma. *Sibirskiy medicinskiy zhurnal (Irkutsk).* 2009. No. 3. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/redkoe-nablyudenie-mnozhestvennoy-zlokachestvennoy-paragangliomy-shei> (In Russ.).
7. Waterfall Development Methodology. *QE evolution.* Available at: <https://qaevolution.ru/metodologiya-menedzhment/waterfall/> (In Russ.).
8. SMART Goals: a Detailed Review. *PowerBranding.* Available at: <http://powerbranding.ru/marketing-strategy/smart-celi/?ysclid=14v9xdj22x328242753> (In Russ.).
9. Novozhilov E.O. Risk Matrix Creation Principles. *Nadezhnost.* 2015. No. 3. pp. 73–86. (In Russ.).
10. Zhou T., Tan T., Pan X., Tang H., Li J. Fully Automatic Deep Learning Trained on Limited Data for Carotid Artery Segmentation from Large Image Volumes. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery.* 2020. No. 11 (1). pp. 67–83 DOI: 10.21037/qims-20-286
11. Snezhkina A.V. et al. Exome Analysis of Carotid Body Tumor. *BMC Medical Genomics.* 2018. No. 11 (Suppl 1). pp. 5–19. DOI: 10.1186/s12920-018-0327-0