

Эпидемиологический контроль заболеваемости клещевым энцефалитом с использованием технологии нейросетевого эпидемиологического прогнозирования в Республике Алтай

Алтайский государственный медицинский университет, г. Барнаул

Shirokostup S.V., Lukyanenko N.V., Saldan I.P., Balandovich B.A.

Epidemiological control of the incidence of tick-borne encephalitis using the technology of neural network epidemiological forecasting in the Republic of Altai

Резюме

В статье представлены результаты разработки технологии эпидемиологического прогнозирования заболеваемости клещевым энцефалитом в Республике Алтай на основе нейросетевых технологий. Описаны методы оптимизации мер эпидемиологического надзора за заболеваемостью, приведены расчеты перспективных объемов специфической и неспецифической профилактики для снижения заболеваемости до заданных значений. Осуществлено ранжирование территорий региона по степени потенциального риска заражения населения клещевыми инфекциями на основании проведенных в 2014-2017 гг. исследований видового состава клещей-переносчиков и штаммового состава возбудителей клещевых инфекций с построением картограмм.

Ключевые слова: клещевой энцефалит, природно-очаговые инфекции, прогнозирование, эпидемиологический контроль, эпидемиологический надзор, социально-гигиенический мониторинг

Summary

The article presents the results of developing a technology for epidemiological prediction of the incidence of tick-borne encephalitis in the Republic of Altai based on neural network technologies. Methods for optimizing the measures of epidemiological surveillance of incidence are described, calculations of the prospective volumes of specific and non-specific prophylaxis for reducing the incidence to specified values are presented. The territories of the region were ranked by the degree of potential risk of infection of the population with tick-borne infections on the basis of those conducted in 2014-2017. studies of the species composition of vector ticks and the strain composition of tick-borne pathogens with the construction of cartograms.

Key words: tick-borne encephalitis, natural focal infections, prognosis, epidemiological control, epidemiological surveillance, social and hygienic monitoring

Введение

Эпидемиологический контроль заболеваемости клещевым вирусным энцефалитом (КВЭ) и другими природно-очаговыми инфекциями базируется на результатах аналитической обработки информационных потоков системы эпидемиологического надзора и социально-гигиенического мониторинга [1, 2]. Республика Алтай является одним наиболее эндемичных регионов России по КВЭ с ежегодно регистрируемыми случаями болезни среди местного населения и туристов. Для обеспечения рационального планирования перспективных объемов мер специфической и неспецифической профилактики необ-

ходима точная система прогнозирования заболеваемости и числа пострадавших от присасывания клещей лиц [3, 4]. Анализ больших массивов данных о биотических и абиотических факторах, оказывающих влияние на формирование и активность очагов инфекции, с получением достоверных результатов возможен при использовании современных технологий эпидемиологического прогнозирования на основе нейросетевых моделей [5].

Необходимость технологий эпидемиологического прогнозирования определяется большим числом факторов различной природы, оказывающих влияние на формирование тенденций эпидемического процесса КВЭ [6,

7]. В эндемичных по данной инфекции регионах активность природных и антропогенных очагов во многом определяется факторами, учитываемыми в рамках социально-гигиенического мониторинга, включая социальные, биологические и климатические группы факторов [8]. Эпидемиологический надзор за КВЭ базируется на данных его информационной подсистемы, учитывающей факторы, не оцениваемые в ходе социально-гигиенического мониторинга: численность клещей на 1 км пути, пораженность клещей возбудителями инфекций, частота контакта населения с очагами инфекции, число пострадавших от присасывания клещей, превентивные специфические и неспецифические меры [9]. Объединение информационных потоков систем эпидемиологического надзора и социально-гигиенического мониторинга позволяют осуществить достоверный прогноз заболеваемости КВЭ и расчет необходимых перспективных объемов профилактических и противоэпидемических мероприятий [10].

Целью данного исследования являлась разработка мер оптимизации эпидемиологического контроля заболеваемости клещевым энцефалитом в Республике Алтай на основе технологий нейросетевого эпидемиологического прогнозирования.

Материалы и методы

В качестве материалов исследования использованы данные открытых статистических отчетов Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Министерства здравоохранения РФ, Федеральной службы статистики, Управления Роспотребнадзора по Республике Алтай. Данные о видовом разнообразии клещей-переносчиков и штаммовом составе возбудителей предоставлены Центральным НИИ эпидемиологии Роспотребнадзора, Алтайской противочумной станцией Роспотребнадзора. Обработка полученных данных, построение моделей нейронных сетей, визуализация результатов исследования осуществлялась в программе Statistica 13.0. Оценка пространственного распределения риска потенциальной опасности заражения населения клещевыми инфекциями проводилась с использованием ГИС-технологий программного комплекса ArcGIS.

Результаты и обсуждение

Системы эпидемиологического надзора и социально-гигиенического мониторинга характеризуются наличием четкой иерархической структуры, включающей федеральный, региональный и локальный уровни. Сложившаяся структура каждой из данных систем соответствует уровням организации государственного санитарно-эпидемиологического надзора. Современное федеральное законодательство имеет правовые нормы, которыми регламентируются цели и задачи каждой из систем, но отсутствует в достаточной степени четкая регламентация механизмов взаимодействия между ними. Эпидемиологический контроль заболеваемости клещевыми природно-очаговыми инфекциями базируется на данных

информационных потоков как эпидемиологического надзора, так и социально-гигиенического мониторинга, что определяет необходимость разработки алгоритмов консолидации и аналитической обработки данных, полученных из различных источников.

В рамках проведенного исследования объединение и анализ информационных потоков систем эпидемиологического надзора и социально-гигиенического мониторинга был осуществлен с применением нейросетевых технологий. Данный метод был выбран как наиболее современный и эффективный для обработки больших массивов данных в целях эпидемиологического прогнозирования уровней заболеваемости КВЭ населения эндемичных территорий Республики Алтай и вычисления перспективных показателей мер профилактики. В социально-гигиеническом мониторинге осуществлялся учет 25 биотических и абиотических факторов, оказывающих влияние на активность природных очагов и антропогенных очагов инфекции. Индикативным показателем активности очагов являлось число пострадавших лиц от присасывания клещей, коррелируемое с уровнем заболеваемости КВЭ населения региона ($r=0,34$; $p<0,001$).

Прогнозирование показателя числа пострадавших от присасывания клещей лиц осуществлялось посредством построения нейросетевой модели на выборке факторов за период с 1966 по 2014 гг. Расчет прогностических значений был проведен на период 2015-2017 гг., поскольку было необходимо проведение кросс-проверки полученных расчетных значений с реальными данными для оценки эффективности разработанной нейросетевой модели. Нейросетевая модель включала 23 природно-климатических и метеорологических фактора, а также факторы, характеризующие активность очагов инфекции – численность клещей на 1 км пути, среднегодовое число животных-прокормителей иксодовых клещей. Архитектурой сети был выбран многослойный перцептрон с размером контрольной выборки в 15%.

В ходе обучения нейронной сети были получены 5 моделей, из которых была выбрана нейронная сеть MLP 23-6-1 с наибольшим критерием производительности на контрольной выборке - 0,998145 и на обучающей выборке - 0,999238. Анализ глобальной чувствительности для оценки степени влияния каждого из включенных в нейронную сеть факторов позволил ранжировать их на 3 группы степени влияния:

- ведущие факторы: численность клещей на 1 км пути, число дней с осадками 1 мм и >, высота снежного покрова (см), влажность воздуха (%);

- факторы средней силы: сумма жидких осадков (мм), группа факторов температуры, включая такие, как температура на глубине почвы 20 см (°C), температура на глубине почвы 40 см (°C), минимальная температура (°C), температура поверхности почвы под снежным покровом (°C), температура оголенной поверхности почвы (°C).

- факторы низкой силы: сумма смешанных осадков (мм), среднемесячная температура (°C).

Эффективность разработанной модели нейронной

Таблица 1. Кросс-проверка вычисленных нейросетевой моделью MLP 23-6-1 прогностических и фактических показателей числа пострадавших от присасывания клещей лиц в Алтайском крае

Год	Фактический показатель	Прогностический показатель	Показатель относительной ошибки (±)
2015	3380	3399	0,006
2016	3722	3669	0,014
2017	3929	3512	0,119

сети оценки влияния факторов на показатель числа пострадавших от присасывания клещей лиц оценивалась в ходе кросс-проверки полученных прогностических значений и реальными за период 2015-2017 гг. В ходе кросс-проверки была выявлена средняя относительная ошибка $\pm 0,046$, показатель которой может быть признан приемлемым для данной нейросетевой модели и отражает возможность ее использования для проведения практических расчетов перспективных уровней показателя числа пострадавших от присасывания клещей лиц в Республике Алтай. Данные представлены в таблице 1.

На основании полученных результатов прогнозирования числа пострадавших лиц от присасывания клещей были рассчитаны перспективные объемы мер профилактики, которые являются механизмами для осуществления эпидемиологического контроля заболеваемости КВЭ в эндемичных районах Республики Алтай. Для оценки необходимого объема профилактических мероприятий был использован коэффициент эластичности, позволивший определить изменение одного показателя в случае изменения связанного с ним другого показателя на 1%.

Для акарицидных обработок территории, как основной меры неспецифической профилактики КВЭ, необходимой для снижения численности иксодовых клещей, вычисленный коэффициент корреляции был равен 0,3. Полученное расчетное значение коэффициента означало, что в случае увеличения площади акарицидных обработок будет отмечаться снижение численности клещей на 0,3%. Таким образом, снижение численности клещей на 1 км пути на 6% до 41,7 особи возможно при увеличении площади акарицидных обработок на 20% до 817,2 га в сравнении с 2017 годом.

Проведение аналогичных расчетов для показателя иммунопрофилактики КВЭ позволило определить, что для при росте числа пострадавших от присасывания клещей лиц на 1% будет необходимо увеличение прогнозируемого объема доз серопротекции на 1,03%. Учитывая прогноз увеличения числа пострадавших от присасывания клещей на 4,89% планируемый объем доз экстренной иммунопрофилактики должен быть увеличен на 5,04% до уровня в 2313 доз.

Рассчитанные в ходе нейросетевого моделирования прогностические объемы акарицидных обработок и экстренной иммунопрофилактики КВЭ использовались на следующем этапе исследования, в рамках которого была построена нейросетевая модель прогноза заболеваемости КВЭ с учетом скорректированных вычисленных объемов мер профилактики. Построенная нейросетевая

модель MLM 3-5-1 позволила установить, что для снижения уровня заболеваемости КВЭ населения Республики Алтай на 32,1% в сравнении с показателем 2017 года до $6,2 \pm 0,21$ 0/0000 ($p < 0,001$) необходимо увеличение площади акарицидных обработок на 20% до 817,2 га, экстренной иммунопрофилактики на 4,89% до 2313 доз, вакцинации против КВЭ на 10% до 28493 доз.

В период с 2014 по 2017 гг. на территории районов Республики Алтай проводились исследования распространенности клещей-переносчиков и возбудителей клещевых инфекций с детекцией геномного материала методом ПЦР. Отдельные исследования были проведены с участием Центрального НИИ эпидемиологии, Омского НИИ природно-очаговых инфекций, Алтайской противочумной станции, Алтайского государственного медицинского университета. Полученные данные были систематизированы для проведения ранжирования административных районов республики по степени потенциального риска заражения населения клещевыми инфекциями: очень высокий, высокий, средний. В рамках исследования анализировалось распространение таких возбудителей, как вирус клещевого энцефалита, вирус лихорадки Кемерово, *R. sibirica*, *R. raoultii*, *R. heilongjiangensis*, *R. tarasevich*, *Borellia burgdorferi* sl., *Borellia myiamotoi*, *Ehrlichia*, *Anaplasma phagocytophilum*.

Группа территорий Республики Алтай с очень высокой степенью риска заражения населения клещевыми инфекциями включала 4 района - Майминский, Чойский, Шибалинский и Турочакский. Эти районы характеризовались наличием ареалов обитания клещей родов *Ixodes*, *Dermacentor*, *Haemaphysalis*, а также выявлением таких инфекционных агентов, как вирус клещевого энцефалита, риккетсии (*R. heilongjiangensis*, *R. raoultii*, *R. sibirica*, *R. tarasevich*), *Anaplasma phagocytophilum*, *Ehrlichia* и *Borellia myiamotoi*. Группа районов с высокой степенью риска потенциальной эпидемической опасности заражения населения клещевыми инфекциями включала 4 района - Чемальский, Усть-Канский, Усть-Коксинский и Кош-Агачский. На территории данных районов были выявлены клещи родов *Ixodes*, *Dermacentor*, *Haemaphysalis*, а также возбудители - вирус клещевого энцефалита, риккетсий (*R. raoultii*, *R. sibirica*), *Anaplasma phagocytophilum*, *Ehrlichia* и *Borellia myiamotoi*. Группа районов со средней степенью риска потенциальной эпидемической опасности заражения включала 2 административных района - Улаганский, Онгудайский, на территории которых были выявлены клещи рода *Dermacentor*, пораженные возбудителями *R. raoultii*, *R. sibirica*. Данные представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Картограмма ранжирования административных районов Республики Алтай по степени потенциальной эпидемической опасности заражения населения клещевыми инфекциями в период с 2014 по 2017 гг.

Заключение

Разработка мероприятий по оптимизации системы эпидемиологического контроля заболеваемости КВЭ населения эндемичных территорий Республики Алтай включала в себя построение нейросетевых алгоритмов прогнозирования перспективных уровней заболеваемости и числа пострадавших от присасывания клещей лиц. В рамках построения нейронных сетей были консолидированы информационные потоки о ведущих факторах, оказывающих влияние на динамику эпидемического процесса КВЭ, систем социально-гигиенического мониторинга и эпидемиологического надзора.

В ходе исследования были определены меры по оптимизации эпидемиологического контроля заболеваемости КВЭ в Республики Алтай для снижения заболеваемости на 32,1% в сравнении с показателем 2017 года до $6,2 \pm 0,21$ 0/0000 0/0000 ($p < 0,001$). Комплекс мероприятий включал разработанные алгоритмы по изменению объема акарицидных обработок, числа доз экстренной иммунопрофилактики и вакцинации населения против КВЭ. Проведенная в рамках исследования оценка распространения по территории региона клещей родов *Ixodes*, *Dermacentor*, *Haemaphysalis* и инфекционных агентов – вирус клещевого энцефалита, риккетсии, *Anaplasma phagocytophilum*, *Ehrlichia*, *Borellia miyamotoi*, позволила ранжировать административный районы по степени потенциальной эпидемической опасности заражения населения клещевыми инфекциями. Полученные результаты использования нейросетевых и ГИС-технологий в работе санитарно-эпидемиологической службы позволят обеспечить повышение эффективности принятия управленческих решений в целях снижения заболеваемости КВЭ населения эндемичных территорий. ■

Широкоступ Сергей Васильевич – к.м.н., доцент кафедры эпидемиологии, микробиологии и вирусологии ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава России. **Лукьяненко Наталья Валентиновна** – д.м.н., профессор, профессор кафедры эпидемиологии, микробиологии и вирусологии ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава России. **Салдан Игорь Петрович** – д.м.н., профессор, ректор, заведующий кафедрой гигиены, основ экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава России. **Баландович Борис Анатольевич** – д.м.н., директор Института гигиены труда и промышленной экологии ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава России. Автор, ответственный за переписку — Широкоступ Сергей Васильевич, 656038, РФ, Алтайский край, Барнаул, проспект Ленина, 40, Тел.: (3852) 566869, Email: shirokostup@yandex.ru

Литература:

- Проворова В. В. и др. Эпидемиологические аспекты и вопросы профилактики клещевого энцефалита. *Journal of Siberian Medical Sciences*. 2019; 1: 15-20.
- Bogovič P. et al. Factors associated with severity of tick-borne encephalitis: A prospective observational study. *Travel medicine and infectious disease*. 2018; 26: 25-31.
- Аитов К. А. и др. Клещевой энцефалит в Восточной Сибири: этиология, молекулярная эпидемиология, особенности клинического течения. *Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение*. 2018; 3(26): 31-40.
- Riccardi N. et al. Tick-borne encephalitis in Europe: a brief update on epidemiology, diagnosis, prevention, and treatment. *European journal of internal medicine*. 2019; 1: 21-30.
- Hellenbrand W. et al. Epidemiology of Tick-Borne Encephalitis (TBE) in Germany, 2001–2018. *Pathogens*. 2019; 2(8): 42.
- Никитин А. Я. и др. Заболеваемость клещевым вирусным энцефалитом в субъектах Российской Федерации. Сообщение 2. Оценка соответствия данных прогноза и сезонного мониторинга фактической заболеваемости. *Проблемы особо опасных*

- инфекций. 2019; 2: 99-104.
7. *Beauté J. et al. Tick-borne encephalitis in Europe, 2012 to 2016. Eurosurveillance. 2018; 45: 55-61.*
 8. *Пеньевская Н. А., Рудаков Н. В., Рудакова С. А. Проблемные аспекты оценки эпидемиологической эффективности вакцинопрофилактики клещевого энцефалита. Эпидемиология и вакцинопрофилактика. 2018; 5(102): 78-88.*
 9. *Носков А. К. и др. Заболеваемость клещевым вирусным энцефалитом в субъектах Российской Федерации. Сообщение 1: Эпидемиологическая ситуация по клещевому вирусному энцефалиту в 2018 г. и прогноз на 2019 г. Проблемы особо опасных инфекций. 2019; 1: 74-80.*
 10. *Kuivanen S. et al. Fatal tick-borne encephalitis virus infections caused by Siberian and European subtypes, Finland, 2015. Emerging infectious diseases. 2018; 5(24): 946.*