**Полное описание работы**

Первые случаи COVID-19 в Красноярском крае зафиксированы 16 марта 2020 года. На данном этапе имеющийся опыт других стран и регионов Российской Федерации по борьбе с данным заболеванием показал, что эффективная борьба с данной пандемией может осуществляться только на основе объективных и взвешенных оценок развития эпидемической ситуации. В связи с этим оперативным штабом по борьбе с коронавирусом в Красноярском крае было принято решение о создании на базе лаборатории медицинской кибернетики и управления в здравоохранении ФГБОУ ВО КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого Минздрава России аналитической группы по прогнозированию развития эпидемической ситуации по COVID-19.

Цель: формирование системы прогнозирования развития эпидемической ситуации по COVID-19.

Основными показателями достижения цели проекта являлась оценка совпадения прогнозируемого значения числа больных и их фактического значения, а также достижение минимального времени, необходимого на формирование прогноза.

Задачи:

1. Формирование методологии прогнозирования развития эпидемической ситуации, учитывающей историю динамики численности заболевших и уровень возможных ограничительных мероприятий;
2. Оценка результативности вакцинации на территории Красноярского края и влияния ее темпов на развитие эпидемической ситуации;
3. Формирование итоговой методологии прогнозирования развития эпидемической ситуации с учетом вакцинации населения Красноярского края.

Уже 24 марта 2020 года был сформирован первый прогноз развития эпидемической ситуации, а за весь период пандемии сформировано более 20 промежуточных прогнозов.

По результатам прогноза оценивались:

– дата, на которую наступит пик пандемии;

– длительность пандемии;

– даты, на которые будут исчерпаны имеющиеся коечный фонд и фонд аппаратов ИВЛ;

– численность населения, которое будет нуждаться в медицинской помощи в пик пандемии.

Основной ресурс, необходимый для реализации данного проекта, – информационный. Для этого совместно с КМИАЦ Красноярского края было выстроено взаимодействие по оперативному обмену информацией об эпидемической ситуации и вакцинации на территории Красноярского края.

Необходимо отметить, что в процессе прогнозирования рассматривались различные варианты уровня ограничительных мероприятий. Результаты проведения подобных прогнозов на территории Красноярского края были опубликованы в журнале Сибирское медицинское обозрение (Наркевич А.Н., Шадрин К.В., Виноградов К.А. Моделирование распространения коронавирусной инфекции на территории города Красноярска // Сибирское медицинское обозрение. – 2020. – №2. – С.111-116.).

Также для определения жесткости ограничительных мероприятий и для введения данных мероприятий была построена тепловая карта (*см. Тепловая карта для определения жесткости ограничительных мер.jpg*). Параметр «Жесткость карантина» – относительная величина, описывающая интенсивность введенных ограничительных мер и изменяющаяся от 0 до 1. Если жесткость карантина равна 0, это означает, что все контакты между людьми прекращены. При жесткости карантина равной 1 – все контакты имеют максимальную интенсивность. При определении оптимального уровня ограничительных мер было необходимо соблюсти два условия: 1) накопить наибольший популяционный (коллективный) иммунитет, но не допустить большого числа болеющих на момент пика, чтобы не превысить возможности коечного фонда; 2) максимально отодвинуть момент возникновения пика заболеваемости от момента первого заболевшего для создания временного запаса с целью подготовки дополнительного коечного фонда и оборудования.

Согласно результатам моделирования было обнаружено, что введение слишком ранних ограничительных мер, а также установление чрезмерно жестких ограничительных мер («жесткость карантина» близка к 0, т.е. контактов между людьми практически нет) приведет к невозможности накопления популяционного (коллективного) иммунитета в Красноярском крае. В свою очередь, недостаточные ограничительные меры, введенные на любом этапе развития эпидемического процесса, приведут к стремительному возрастанию численности болеющих в регионе, а численность болеющих на момент пика превысит существующие на тот момент возможности коечного фонда в учреждениях системы здравоохранения Красноярского края.

В итоге было определено наиболее оптимальное соотношение между возможными числом заболевших и длительностью эпидемического процесса (*см. Тепловая карта для определения жесткости ограничительных мер.jpg*). Интенсивность ограничительных мер, которые необходимо было ввести на территории Красноярского края – 0,4-0,5, что соответствует снижению контактов между людьми на 50-60%. Оптимальное время введения ограничительных мер – 9-30 день от начала пандемии. Важно отметить, что ограничительные меры, призванные сократить интенсивность контактов между людьми на территории Красноярского края были введены на 14 день от начала пандемии. Кроме того, спрогнозированное в конце марта 2020 года на основе минимального количества начальных данных число болеющих на момент пика пандемии лишь на 6% отличалось от фактического числа больных на момент пика пандемии. Пик заболеваемости наступил в начале ноября 2020 года.

На момент окончания июля 2021 года аналитической группой была накоплена информация о результативности вакцинации населения Красноярского края. Результаты оценки такой информации были опубликованы в журнале Экология человека (Миронова А.А., Наркевич А.Н., Шестерня П.А. Результативность вакцинации против новой коронавирусной инфекции (COVID-19) в Красноярском крае // Экология человека. – 2021. – №10. – С.13-20.). Использование данной информации в прогностических моделях позволило учитывать темпы вакцинации населения при оценке развития эпидемической ситуации.

Уже имеющаяся модель для прогнозирования развития пандемии была усовершенствована. В нее были добавлены управляющие параметры, с помощью которых можно было исследовать влияние темпов вакцинации на развитие эпидемического процесса. Оценивали длительность пандемии, день наступления пика, а также количество выявленных случаев заболевания на момент пика. Целью в данном случае являлось определение наиболее оптимального темпа проведения вакцинации населения.

Было получено, что вакцинация населения на уровне 3000 человек/день (что соответствовало уже существующему на тот момент темпу вакцинации) в сравнении с отсутствием вакцинации приведет к:

– сокращению длительности пандемии в 4 раза;

– наступлению пика заболевших в очередную «волну» пандемии на 5 месяцев раньше;

– снижению количества выявленных случаев заболевания в момент пика очередной «волны» в 2 раза.

При этом было выявлено, что увеличение темпа вакцинации не приводит к значительному изменению основных показателей эпидемического процесса, поэтому увеличивать темп вакцинации необходимости не было.

Таким образом, сформированная на уровне Красноярского края прогностическая система позволила в период пандемии COVID-19 оценивать необходимый коечный фонд и являлась системой поддержки в принятии управленческих решений в отношении борьбы с пандемией COVID-19 на территории региона.

За период работы аналитической группы было рассмотрено более 100 вариантов комбинаций уровня ограничительных мероприятий и темпов вакцинации, сформировано более 20 промежуточных прогнозов развития эпидемической ситуации на различных этапах пандемии. В ходе реализации проекта максимальный срок формирования прогноза составил 5 дней на момент начала проекта и 2 дня в период его штатной реализации. В зависимости от этапа реализации проекта отклонение прогнозируемого значения числа больных и их фактического значения составило от 1% до 6%.

Таким образом, в процессе реализации проекта:

1. Была сформирована методология прогнозирования развития эпидемической ситуации на основании обыкновенных дифференциальных уравнений. Их использование является возможным способом описания распространения эпидемии на основе минимального количества начальных данных, а также позволяет учитывать большое количество дополнительных параметров, среди которых уровень возможных ограничительных мероприятий, темп вакцинации и др.
2. Проведена оценка результативности вакцинации на территории Красноярского края и влияния ее темпов на развитие эпидемической ситуации. Установлено, что проведение вакцинации является необходимым условием сохранения контроля над распространением пандемии. Пороговое значение темпа вакцинации населения равно 3000 человек/день. В сравнении с отсутствием вакцинации такой темп приводит к значительному сокращению длительности пандемии, сокращению длительности эпидемического процесса на территории Красноярского края, а также к снижению количества выявленных случаев заболевания в момент пика очередной «волны» пандемии. Увеличение темпа вакцинации не приводит к значительному изменению основных показателей эпидемического процесса, поэтому в его повышении нет необходимости. Это позволит избежать неэффективного расходования финансовых ресурсов на закупку вакцины и рабочее время медицинского персонала.
3. Сформирована итоговая методология прогнозирования развития эпидемической ситуации с учетом вакцинации населения Красноярского края, суть которой состоит в использовании математического аппарата дифференциальных уравнений для построения модели, позволяющей с высокой точностью прогнозировать число заболевших на любой срок пандемии, учитывая введенные ограничительные меры и темп вакцинации. Высокая точность прогнозирования была достигнута за счет отлаженного многостороннего информационного взаимодействия между Министерством здравоохранения Красноярского края, КМИАЦ Красноярского края и ФГБОУ ВО КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого Минздрава России по оперативному обмену информацией об эпидемической ситуации и вакцинации на территории региона. В результате прогностическая модель непрерывно и оперативно изменялась для того, чтобы учесть новые факторы, влияющие на распространение эпидемического процесса.