

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ОПРЕДЕЛЕНИИ СТЕПЕНИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ

Ермолина Т. А.<sup>1</sup>, Шишова А. В.<sup>1</sup>, Рогалев К. К.<sup>3</sup>, Мартынова Н. А.<sup>2</sup>, Родионов Г. Г.<sup>3</sup>, Басова Л. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГОУ ВПО Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, Архангельск, e-mail: t.ermolina@narfu.ru;

<sup>2</sup>ГОУ ВПО Северный государственный медицинский университет, Архангельск;

<sup>3</sup>ФГБУ «Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А. М. Никифорова» МЧС России, Санкт-Петербург

**В статье представлен способ математической интерпретации иммунологических показателей крови у медицинских работников. Использовалась комплексная оценка возможности развития заболеваний не только на основе качественных данных, напрямую связанных с гендерными признаками и профессиональной деятельностью (профессия, профиль отделения, работа с аппаратурой), но и количественных данных – возраст, стаж работы, иммунологические показатели, отражающие уровень иммунной защиты обследуемых. Показано, что работа в отделе лучевой диагностики повышает вероятность возникновения заболевания на 48 %, что в разы больше, чем у сотрудников хирургического отделения. Наибольшее влияние на вероятность возникновения хронического заболевания у медицинских работников в убывающем порядке оказывают следующие факторы: профильность отделения, наличие заболеваний, категория работника, гендерные признаки. Набор производственных факторов, действующих на медицинских работников, зависит от профессиональной принадлежности.**

Ключевые слова: медицинские работники, хронические заболевания, иммунологические показатели, моделирование, производственные факторы, кластерный анализ.

## MATHEMATICAL MODELING IN DETERMINING THE EXTENT OF THE IMPACT OF OCCUPATIONAL FACTORS ON MEDICAL WORKERS

Ermolina T. A.<sup>1</sup>, Shishova A. V.<sup>1</sup>, Rogalev K. K.<sup>3</sup>, Martynova N. A.<sup>2</sup>, Rodionov G. G.<sup>3</sup>, Basova L. A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk, e-mail: t.ermolina@narfu.ru;

<sup>2</sup>Northern state medical University, Arkhangelsk;

<sup>3</sup>All-Russian center of emergency and radiation medicine named after A. M. Nikiforov, MES of Russia, St. Petersburg

**The paper presents a method of mathematical interpretation of immunological parameters of blood in health care workers. Used a comprehensive assessment of the possibility of development of diseases not only on the basis of qualitative data directly related to gender traits and professional activities (occupation, profile, Department, work with equipment), but also quantitative data – age, length of service, immunologic indicators that reflect the level of immune protection of the subject. It is shown that the work in the department of radiation diagnosis increases the likelihood of the disease by 48 %, which is several times more than the employees of the surgical department. The greatest influence on the risk of chronic diseases in health care workers in descending order by the following factors: the profile department, the presence of diseases, the employee category, gender. A set of production factors acting on health workers, depends on professional affiliation.**

Keywords: medical workers, chronic diseases, immunological parameters, modeling, production factors, cluster analysis.

Оценка состояния здоровья человека обычно осуществляется с целью исключения или выявления хронических заболеваний. Обычно оценивается динамика изменения состояния здоровья за определенный промежуток времени, что также является отражением динамики течения хронического заболевания. Состояние здоровья человека оценивается при введении ряда ограничений для некоторых профессий, т. е. при проведении целевых медицинских

осмотров для исключения хронических заболеваний, препятствующих возможности работы по данной профессии [1].

По нашему мнению, оценку состояния здоровья необходимо проводить не на стадии выявления уже клинически развившегося хронического заболевания, а на начальной стадии болезни. Такой подход целесообразен в связи с тем, что начальные расстройства обратимы, а комплекс своевременно проведенных профилактических и лечебных мероприятий может предотвратить развитие хронического заболевания.

В настоящее время в медико-биологических исследованиях стало широко использоваться математическое моделирование [3]. Модельный подход во многом позволяет систематизировать направления научных исследований и прогнозировать воздействие на биологические показатели многих, в том числе и производственных факторов [2, 4, 5].

**Цель исследования.** Выявление зависимости наличия хронических заболеваний у медицинских работников от набора факторов, связанных с их индивидуальными особенностями: полом, возрастом, стажем работы, профессией и количественными изменениями иммунологических показателей для ранней диагностики хронических заболеваний.

#### **Материал и методы исследования**

Было проведено обследование медицинских работников различных отделений ЛПУ для изучения содержания фенотипов Т- и В-лимфоцитов, а также активности фагоцитарной защиты. Определялись общее содержание лимфоцитов, моноцитов, нейтрофилов в мазках крови, а также лейкограмма для последующей оценки концентраций фенотипов лимфоцитов. Субпопуляции лимфоцитов (CD3<sup>+</sup>, CD20<sup>+</sup>, CD4<sup>+</sup>, CD8<sup>+</sup>, CD16<sup>+</sup>, CD25<sup>+</sup>, CD71<sup>+</sup>, HLA-DR<sup>+</sup>, CD95<sup>+</sup>) определялись методом непрямой иммунопероксидазной реакции с использованием моноклональных антител производства НЦП «МедБиоСпектр» (РФ). Фагоцитарная активность нейтрофилов определялась с помощью тест-набора химической компании «Раекомплекс» (РФ). С целью выявления наиболее важных факторов, оказывающих влияние на уровень иммунной защиты медицинских работников, нами был проведен анализ многомерных данных с использованием программы SPSS.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Были построены регрессионные модели: бинарная логит-модель и модель множественного выбора, позволяющая решить вопрос о вероятности возникновения конкретной группы заболеваний у медицинских работников (табл. 1).

Таблица 1

Независимые категориальные факторы логит-модели

Фактор	Уровни факторов
$X_1$ – отделение	1 – отделение лучевой диагностики, 0 – хирургические отделения
$X_2$ – должность	1 – врачи, 0 – средний медицинский персонал
$X_3$ – пол	1 – мужской, 0 – женский
$X_5$ – работа с аппаратурой	1 – работает с аппаратурой, 0 – не работает с аппаратурой

В исследовании использовалась комплексная оценка возможности развития заболеваний не только на основе качественных данных, напрямую связанных с гендерными признаками и профессиональной деятельностью (профессия, профиль отделения, работа с аппаратурой), но и количественных данных – возраст, стаж работы, иммунологические показатели, отражающие уровень иммунной защиты обследуемых (табл. 2).

Таблица 2

Факторы, характеризующие количественными данными

Фактор	Показатель	Фактор	Показатель
$X_4$	количество заболеваний	$X_{14}$	CD25 <sup>+</sup> , абс. · 10 <sup>9</sup> кл./л
$X_6$	возраст	$X_{15}$	CD71 <sup>+</sup> , абс. · 10 <sup>9</sup> кл./л
$X_7$	стаж работы	$X_{16}$	HLA-DR <sup>+</sup> , абс. · 10 <sup>9</sup> кл./л
$X_8$	лейкоциты, абс. · 10 <sup>9</sup> кл./л	$X_{17}$	CD16 <sup>+</sup> , абс. · 10 <sup>9</sup> кл./л
$X_9$	лимфоциты, абс. · 10 <sup>9</sup> кл./л	$X_{18}$	CD95 <sup>+</sup> , абс. · 10 <sup>9</sup> кл./л
$X_{10}$	CD3 <sup>+</sup> , абс. · 10 <sup>9</sup> кл./л	$X_{19}$	моноциты, абс. · 10 <sup>9</sup> кл./л
$X_{11}$	CD4 <sup>+</sup> , абс. · 10 <sup>9</sup> кл./л	$X_{20}$	нейтрофильные лейкоциты, абс. · 10 <sup>9</sup> кл./л
$X_{12}$	CD8 <sup>+</sup> , абс. · 10 <sup>9</sup> кл./л	$X_{21}$	фагоцитарное число
$X_{13}$	CD10 <sup>+</sup> , абс. · 10 <sup>9</sup> кл./л	$X_{22}$	эозинофильные лейкоциты, %

Примечание: Показатели  $X_{10}$ - $X_{22}$  отражают уровень иммунной защиты.

Построенная бинарная логит-модель при  $Y = 1$  определяла у обследуемого вероятность заболевания  $P(Y = 1)$ , а при  $Y = 0$  – вероятность быть здоровым  $P(Y = 0)$ .

Логит-модель, построенная в SPSS для 22 независимых переменных  $X_1, \dots, X_m$ , имеет вид:

$$P(Y = 1 | X_1, \dots, X_m) = \frac{e^{\hat{Y}}}{1 + e^{\hat{Y}}} = \frac{1}{1 + e^{-\hat{Y}}}, m = 22, \quad (1)$$

где  $m$  – число факторов;

$\hat{Y}$  – линейная комбинация факторов (линейное уравнение регрессии):

$$\hat{Y} = a_0 + a_1 X_1 + \dots + a_m X_m. \quad (2)$$

При построении модели были определены параметры  $a_0, a_1, \dots, a_m$ , с помощью которых можно предсказать, будет ли подвержен заболеваниям какой-либо сотрудник, не включённый в выборку (например, только поступивший на работу). Определив значения факторов  $X_1, \dots, X_{22}$ , которые характеризуют индивидуальные особенности работника, по формуле (2) находим линейную комбинацию  $\hat{Y}$ , а далее – значение логит-регрессии (1).

Например, медсестра в возрасте 25 лет, поступившая на работу в отделение лучевой диагностики, имея 2-х летний стаж работы и определённый набор иммунологических показателей, согласно модели (1) имеет возможность приобрести заболевание с вероятностью 40,9 %, поскольку пороговое значение вероятности в модели составляет 50 %, вероятность возникновения заболевания на этом году жизни равна нулю.

Если предположить, что значения факторов, кроме возраста и стажа, для данного сотрудника не изменятся в следующем году, то можно получить новое значение  $P(Y = 1)$ . Так, в нашем примере, для  $X_6 = 26$  и  $X_7 = 3$  при прежних значениях остальных факторов, получим:  $P(Y = 1) = 41,0$  %, следовательно, и через год данный сотрудник при указанных условиях не приобретёт заболевание. Оставив в модели (1) наименее коррелированные факторы, согласно полученной в SPSS матрице парных коэффициентов корреляции, найдём параметры новой логит-регрессии (табл. 3).

Таблица 3

Результаты анализа данных (метод принудительного включения переменных в модель)

$j$	Переменные	B	Станд. ошибка	Вальд	ст. св.	Exp(B)
1	отделение (1)	4,079	2,331	3,061	1	59,060
2	должность (1)	1,885	1,546	1,487	1	6,587
3	пол (1)	-1,404	1,953	0,517	1	0,246
4	количество заболеваний	3,727	0,926	16,219	1	41,570
5	работа с аппаратурой (1)	-1,874	1,793	1,093	1	0,153
6	стаж	-0,032	0,056	0,330	1	0,968

7	лейкоциты	-1,390	1,282	1,174	1	0,249
8	CD3 <sup>+</sup>	4,090	3,188	1,646	1	59,762
9	CD8 <sup>+</sup>	1,099	3,639	0,091	1	3,002
10	CD71 <sup>+</sup>	1,563	2,416	0,418	1	4,773
11	CD95 <sup>+</sup>	-0,502	3,006	0,028	1	0,605
12	моноциты	1,335	2,865	0,217	1	3,801
13	нейтрофильные лейкоциты	0,761	1,319	0,333	1	2,141
14	фагоцитарное число	-0,046	0,160	0,083	1	0,955
15	эозинофильные лейкоциты	0,251	0,224	1,253	1	1,286
0	константа	-3,877	3,288	1,389	1	0,021

Примечание: 1) в столбце «В» – коэффициенты  $a_j$  уравнения регрессии, полученного с помощью (1) и (2),  $j = 0, 1, 2, \dots, 15$ ;

2) в столбце «Вальд» – значения статистики Вальда  $V_j, \left( \sqrt{V_j} \approx \frac{a_j}{s_j} \right)$ , где величина  $s_j$  – мера изменчивости значений коэффициентов  $a_j$ , то есть стандартная ошибка. С помощью значения статистики Вальда можно определить значимость коэффициентов  $a_j$ : чем больше  $V_j$ , тем  $a_j$  более значим;

3) в столбце «ст. св.» – число степеней свободы (для категориальных переменных оно равно числу категорий минус один, для количественных переменных равно единице);

4) в столбце «Exp(B)» – величина  $e^{a_j}$ , которая показывает, во сколько раз изменится шанс заболеть при изменении значения соответствующего фактора на единицу).

Количественные факторы, включённые в новую модель: количество заболеваний, стаж, лейкоциты, CD3<sup>+</sup>, CD8<sup>+</sup>, CD71<sup>+</sup>, CD95<sup>+</sup>, моноциты, нейтрофильные лейкоциты, фагоцитарное число, эозинофильные лейкоциты. Атрибутивные факторы модели: отделение, должность, пол, работа с аппаратурой. В новой модели число наблюдений примерно в 6 раз превышает число факторов ( $96/15 = 6,4$ ), что служит хорошей предпосылкой улучшения качества модели.

Линейная регрессия (2) с учётом значений, полученных в столбце «В», примет вид:

$$\hat{Y} = -3,877 + 4,079X_1 + 1,885X_2 - 1,404X_3 + \dots + 0,761X_{13} - 0,046X_{14} + 0,251X_{15} \quad (3)$$

где  $X_1$  – индикаторная переменная «Отделение (1)» имеет два значения (0 и 1) и определяет принадлежность сотрудника к отделу лучевой диагностики:  $X_1=1$ , если сотрудник работает в указанном отделении, а если не работает,  $X_1=0$ . Аналогично,  $X_2$  – индикаторная переменная «Должность (1)»;  $X_3$  – «Пол (1)»;  $X_5$  – «Работа с аппаратурой (1)». Переменные  $X_4$ ,  $X_6$  и  $X_7$  – соответственно «количество заболеваний», «возраст» и «стаж работы в отделении».

### **Выводы**

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее значимым параметром по критерию Вальда является  $a_4$  – коэффициент при факторе «количество заболеваний». Общий процент корректно полученных ответов равен 97,9 %, все значения в столбце «ExpV» значимы, находятся в 95 % доверительном интервале, оценивающем этот параметр.

Определив параметры модели, получили, что работа в отделе лучевой диагностики повышает вероятность заболевания на 47,4 %, в то время как у сотрудников хирургического отделения – только на 1,1 %. Наличие заболеваний у медицинских работников отдела лучевой диагностики и у сотрудников хирургического отделения повышают вероятность приобретения новых на 31,3 %, в то же время вероятность возникновения заболеваний у здоровых сотрудников составляет 1,1 %.

Кроме того, вероятность возникновения заболевания у врачебного персонала увеличивается на 14,6 %, в то время как вероятность заболевания у среднего медицинского персонала составляет всего 1,1 %. При этом вероятность заболевания у женщин составляет 1,1 %, что в 2,8 раза выше, чем у мужчин (0,4 %).

В то же время не выявлено существенного влияния на процесс возникновения заболеваний таких факторов, как возраст, стаж работы в отделении и стаж работы с аппаратурой. Так, с увеличением возраста работника на 1 год (согласно модели), вероятность заболеть повышается на 0,1 %.

Таким образом, наибольшее влияние на вероятность возникновения хронического заболевания у медицинских работников в убывающем порядке оказывают следующие факторы: профильность отделения, наличие заболеваний, категория работника, гендерные признаки.

Набор производственных факторов, действующих на медицинских работников, безусловно, зависит от профессиональной принадлежности. Следовательно, и вероятность возникновения хронических заболеваний у медицинских работников по полученным данным зависит в первую очередь от воздействия производственных факторов.

### **Список литературы**

1. Калужский А. Д. О необходимости и возможности количественной оценки уровня здоровья человека / А. Д. Калужский // Врач и информ. технологии. – 2009. – № 5. – С. 49–55.
2. Многомерный статистический анализ в экономических задачах: компьютерное моделирование в SPSS: учеб. пособие / под ред. И. В. Орловой. – М.: Вузовский учебник, 2009. – 310 с.
3. Токмачев М. С. Здоровье населения региона: модели и управление // Проблемы управления. – 2010. – № 6. – С. 45–52.
4. Фаткуллина И. Б. Дискриминантный анализ как метод проведения дифференциальной диагностики артериальной гипертензии при беременности / И. Б. Фаткуллина, Н. В. Протопопова, И. М. Михалевич // Вестн. новых мед. технологий. – 2011. – № 1. – С. 134–135.
5. Шаркевич И. В. Теоретико-системный подход к оценке уровня состояния здоровья. Модель здоровья // Теория и практика физической культуры. – 2000. – № 1. – С. 2–4.