

УДК 616.831—001:681.3(075.5)

## Математическое моделирование развития острого черепно-мозгового травматизма городского населения с помощью искусственного нейросетевого программирования

Семисалов С.Я.

Донецкий государственный медицинский университет им. М.Горького,  
г. Донецк, Украина

*Ключевые слова:* черепно-мозговая травма, клинико-эпидемиологическое исследование, математическое моделирование.

Важность изучения развития черепно-мозгового травматизма (ЧМТ) ввиду его неуклонного роста, приводящего к значительным материальным затратам, потере здоровья пострадавших и значительной летальности, не подлежит сомнению [1].

Для более рационального и эффективного использования сил и средств медицинской службы, а также улучшения качества и эффективности оказания помощи больным этой категории необходимо прогнозирование развития этого процесса [2,5].

ЧМТ, как и любая другая динамическая сложная вероятностная система, являясь объектом управления, позволяет с помощью математического моделирования более объективно и достоверно изучать процессы ее порождающие, динамику развития и факторы, влияющие на ее течение [3, 4].

Целью работы явилось изучение возможности математико-вычислительного моделирования ЧМТ и краткосрочного прогнозирования развития этого процесса.

*Материал и методы.* Проведено выборочное исследование ЧМТ взрослого населения г. Донецка, обращавшегося за медицинской помощью в Областной нейрохирургический центр в 1996—2000 г. Всю полученную информацию вводили в специализированную компьютерную медицинскую систему «Медик—ЧМТ», где она подвергалась необходимой статистической обработке. За первые 4 года изучили 9267 случаев ЧМТ, а в 2000 г. — 3051. В качестве программно-вычислительных средств краткосрочного прогнозирования развития ЧМТ использовали модель ЧМТ, разработанную на основе искусственных нейронных сетей Донецкого государственного политехнического университета (кафедра ПМИИ).

*Результаты исследования.* Как видно из табл.1, дающей представление о покварталь-

ной динамике развития ОЧМТ в зависимости от характера травмы, наблюдается значительный рост травматизма, причем 78,6 % составляет так называемый бытовой травматизм, который и определяет в основном динамику роста. Из года в год прослеживается закономерность отношения частоты травм мужчин и женщин (в среднем за 4 года оно составило 2,3 : 1). Обращает на себя внимание тот факт, что соотношение частоты бытовой травмы с дорожно-транспортной и производственной из года в год практически не изменяется и составляет 1 : 0,1 : 0,05.

Для оптимизации условий управления ЧМТ, то есть рационального использования имеющихся ресурсов, времени, материальных затрат при оказании наиболее эффективной медицинской помощи пострадавшим, была разработана математическая программно-вычислительная модель. Математическое моделирование ОЧМТ имеет целью создание таких программно-вычислительных средств, с помощью которых возможно воспроизведение функциональных, динамических, социальных и иных многофакторных связей внутри изучаемой системы. Учитывая то, что ЧМТ представляет собой в основном систему стохастического типа, в основу модели был положен принцип искусственных нейронных сетей, позволяющий реализовывать любые заданные логические функции, то есть обрабатывать неоднородную информацию.

Данные содержат информацию, собираемую поквартально, о количестве ЧМТ в зависимости от их характера. Задача прогнозирования состояла в том, чтобы предсказать число ЧМТ на каждый квартал 2000 г., корректируя искусственную нейронную сеть по результатам прогнозирования.

Прогнозирование осуществляли на основе нейросетевых вычислений, представляющих но-

Таблица 1. Хронодинамика острой черепно-мозговой травмы в зависимости от ее характера в г. Донецке за 1996—1999 гг.

Квартал	Характер травмы												Суммарная итоговая			Динамика, %
	Бытовая			ДТП			Производственная			Прочие			Мужчины	Женщины	Мужчины и женщины	
	Мужчины	Женщины	Мужчины и женщины	Мужчины	Женщины	Мужчины и женщины	Мужчины	Женщины	Мужчины и женщины	Мужчины	Женщины	Мужчины и женщины				
I	252	120	372	22	12	34	22	6	28	45	7	52	341	145	486	23,6
II	328	100	428	19	14	33	19	2	21	45	5	50	411	121	532	25,8
III	256	111	367	47	23	70	12	2	14	52	8	60	367	144	511	24,8
IV	265	118	384	36	20	56	20	11	31	51	11	62	373	160	533	25,8
Итого за 1996 г.	1102	449	1551	124	69	193	73	21	94	193	31	224	1492	570	2062	100
Структура, %	53,4	21,8	75,2	6,0	3,4	9,4	3,5	1,0	4,5	9,4	1,5	10,9	72,3	27,7	100	—
I	234	114	348	12	13	25	11	4	15	7	1	8	264	132	396	19,5
II	279	115	394	16	9	25	14	3	17	23	4	27	332	131	463	22,8
III	283	122	405	39	25	64	23	4	27	37	7	44	382	158	540	26,6
IV	310	164	474	41	29	70	23	11	34	49	6	55	423	210	633	31,1
Итого за 1997 г.	1106	515	1621	108	76	184	71	22	93	116	18	134	1401	631	2032	100
Структура, %	54,4	25,3	79,7	5,3	3,7	9,0	3,5	1,1	4,6	5,7	0,9	6,6	68,9	31,1	100	—
I	254	159	413	28	11	39	10	5	15	39	8	47	331	183	514	21,8
II	314	124	438	40	15	55	20	5	25	32	6	38	406	150	556	23,5
III	313	156	469	56	36	92	19	9	28	36	8	44	424	209	633	26,8
IV	342	174	516	46	21	67	15	4	19	46	10	56	449	209	658	27,9
Итого за 1998 г.	1223	613	1836	170	83	253	64	23	87	153	32	185	1610	751	2361	100
Структура, %	51,8	26	77,8	7,2	3,5	10,7	2,7	1,0	3,7	6,5	1,3	7,8	68,2	31,8	100	—
I	341	187	528	26	17	43	12	7	19	37	7	44	416	218	634	22,5
II	401	185	586	45	17	62	16	5	21	43	10	53	505	217	722	25,7
III	386	198	584	46	26	72	30	6	36	37	2	39	499	232	731	26,0
IV	414	162	576	56	23	79	19	5	24	36	10	46	525	200	725	25,8
Итого за 1999 г.	1542	732	2274	173	83	256	77	23	100	153	29	182	1945	867	2812	100
Структура, %	54,8	26	80,8	6,2	3,0	9,2	2,7	0,8	3,5	5,5	1,0	6,5	69,2	30,8	100	—
ВСЕГО	4973	2309	7282	575	311	886	285	89	374	615	110	725	6448	2819	9267	—
Структура, %	53,7	24,9	78,6	6,2	3,4	9,6	3,0	1,0	4,0	6,6	1,2	7,8	69,6	30,4	100	—

вое и перспективное развитие информационной теории. Искусственные нейронные сети индуцированы биологией, так как они состоят из элементов, функциональные возможности которых аналогичны большинству элементарных функций биологического нейрона (рис.1). Эти элементы затем организуются по способу, который может соответствовать (или не соответствовать) анатомии мозга. Несмотря на такое поверхностное сходство, искусственные нейронные сети демонстрируют удивительное число свойств, присущих мозгу. Например, они обучаются на основе опыта, обобщают предыдущие прецеденты на новые случаи и извлекают существенные свойства из поступающей информации, содержащей излишние данные.

При решении поставленной задачи использовали полносвязную нейронную сеть, обучаемую при помощи алгоритма обратного распро-

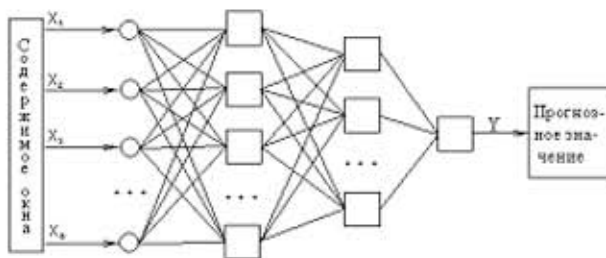


Рис.1. Схема функционирования нейросети

странения ошибки (back propagation). Искусственная нейросеть представляет собой совокупность нейронов — пороговых элементов, имеющих несколько входов и один выход. Зависимость выхода от входов определяется некоторой функцией активации, в общем случае нелинейной. В настоящей работе использовали сигмоидальную функцию активации:

где  $x_i$  — входные сигналы,  $v_i$  — весовые коэффициенты. Нейроны линейно упорядочены по слоям: внутри каждого слоя элементы взаимонезависимы, а каждый выход нейрона пре-

$$f(g) = \frac{1}{1 + e^{-g}}, \quad g = \sum_{i=1}^N x_i v_i,$$

дыдущего слоя связан со входом каждого нейрона следующего слоя (см.рис.1).

Обучение нейросети заключается в поиске набора весовых коэффициентов, при котором каждой совокупности входов нейросети будет соответствовать заранее определенный выход. В настоящем случае обучение производилось с помощью алгоритма обратного распространения ошибки, являющегося модификацией градиентного метода минимизации нелинейной функции.

Для прогнозирования использовали одно-

слойную нейронную сеть с восемью выходами (согласно Байесовскому правилу, из двух одинаковых по результату моделей лучшей является модель, имеющая меньшее число параметров; дальнейшее уменьшение модели вело к ухудшению результата). Обучение состояло из тысячи итераций обратного распространения, после чего с выхода нейросети снималось прогнозное значение. Результаты прогнозирования приведены в табл.2.

Следует отметить, что осуществлялось прогнозирование каждого показателя в отдельности (всего 15 чисел) без последующей их суммации. Наилучшие результаты достигались в основном в рядах с относительно большими абсолютными значениями элементов, когда величина абсолютной ошибки оставалась сравнительно стабильна и в большинстве случаев колебалась в интервале от 10 до 15. Для рядов с небольшим количеством наблюдений как, например, в случаях ДТП и там, где выяснить характер травмы не удалось в силу ряда причин (тяжесть состояния пострадавших, отсутствие свидетелей травмы, выраженного алкогольного опьянения и т.д.), отмечена значительная относительная ошибка (до 160%). Эти случаи подтверждают положение о необходимости дальнейшего накопления исходных данных и упрощения вычислительной модели.

Таким образом, первое применение искусственной нейронной сети для прогнозирования развития ЧМТ дало обнадеживающие результаты — средняя суммарная ошибка колебалась от 5,4 до 19,4%, оставляя суммарную среднюю ошибку 11,2%, что для начальной стадии обучения нейросети является хорошим результатом. Также следует учитывать, что прогноз считается достоверным, если он превышает свою ошибку в 2 раза. Дальнейшая работа над предложенной вычислительной методикой позволит повысить ее эффективность, что определит практическую значимость данного исследования. Опираясь на прогноз развития ЧМТ в будущем, можно будет оптимизировать силы и средства медицинской службы при планировании оказания помощи пострадавшим.

#### Список литературы

1. *Клиническое руководство по черепно-мозговой травме* / Под ред. А.Н. Коновалова, Л.Б. Лихтермана, А.А. Поталова. — М.: Антикдор, 1998. — Т.1. — 550 с.
2. *Лебедев В.В., Крылов В.В. Неотложная нейрохирургия: Руководство для врачей.* — М.: Медицина, 2000. — 568 с.
3. *Морозов А.Н. Исторические предпосылки и некоторые современные аспекты нейрохирургической помощи в Украине при острой*

Таблица 2. Хронодинамика (абсолютные числа) и поквартальный прогноз (%) развития острой черепно-мозговой травмы в зависимости от ее характера в г. Донецке на 2000 г.

Квартал	Характер травмы												Суммарная итоговая		
	Бытовая			ДТП			Производственная			Прочие					
	Мужчины	Женщины	Мужчины и Женщины	Мужчины	Женщины	Мужчины и Женщины	Мужчины	Женщины	Мужчины и Женщины	Мужчины	Женщины	Мужчины и Женщины	Мужчины	Женщины	Мужчины и Женщины
I	367	190	557	23	39	43	17	7	24	53	10	63	460	227	687
Прогноз на I	413	170	579	18	16	68	9	4	24	48	0	51	497	230	705
Ошибка	12,5	10,5	3,9	21,7	59,0	58,1	47,1	42,6	0,0	9,4	100,0	12,7	8,0	1,3	2,6
II	457	182	639	53	39	92	10	12	22	43	5	48	563	238	801
Прогноз на II	413	229	564	65	4	52	28	7	36	33	13	34	523	266	722
Ошибка	9,6	25,8	11,7	22,6	89,7	43,5	80,0	41,7	63,6	23,2	160,0	29,2	7,1	11,8	9,9
III	438	175	613	55	30	85	24	6	30	46	3	49	563	214	777
Прогноз на III	362	226	474	26	38	94	18	4	17	41	0	53	434	228	678
Ошибка	17,3	29,1	22,7	52,7	21,0	10,6	25,0	33,3	43,3	10,9	100,0	8,2	22,9	6,5	12,7
IV	429	194	623	74	26	100	17	6	23	33	7	40	553	233	786
Прогноз на IV	327	209	317	67	11	91	9	6	23	47	13	35	344	229	639
Ошибка	23,8	7,7	49,1	9,5	57,7	9,0	47,1	0,0	0,0	42,4	85,7	12,5	37,8	1,7	18,7
<b>Средняя ошибка</b>	<b>15,9</b>	<b>17,9</b>	<b>22,3</b>	<b>25,8</b>	<b>60,4</b>	<b>25,9</b>	<b>44,1</b>	<b>32,2</b>	<b>27,2</b>	<b>19,4</b>	<b>92,6</b>	<b>15,5</b>	<b>19,4</b>	<b>5,4</b>	<b>11,2</b>

черепно-мозговой травме // Бюл.УАН. — 1998. — Вып.7. — С.90 — 93.

4. Семисалов С.Я., Семенова Т.В. Краткосрочный прогноз развития острой черепно-мозговой травмы у взрослого населения г. Донецка // Укр. мед. альм. — 2000. — Т.3, №4. — С.184—187.
5. Федяев О.И., Гладунов С.А., Прокофьев А.В. Прогнозирование временных рядов на основе нейросетевых и нечетких моделей // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: Проблеми моделювання та проектування динамічних систем. — Донецьк: ДонДТУ, 1999. — Вып.10.— С. 38 — 43.

Математичне моделювання розвитку гострої черепно-мозгової травми населення міста за допомогою штучного нейронного програмування

Семисалов С.Я.

Проведено вибіркове клініко-епідеміологічне дослідження ГЧМТ у м. Донецьку за 1996—1999 р. При цьому база даних складала 9267 спостережень. Отримана інформація дозволила за допомогою штучних нейронних мереж побудувати математичну модель ГЧМТ і провести прогнозування розвитку травматизму на I квартал 2000 р. Порівнюючи прогнозні дані з реальними, можна вважати, що отримані результати вірогідно (середня загальна помилка прогнозу — 11,2%) визначають розвиток травматизму на найближчий квартал, тобто короткостроковий

прогноз за допомогою штучних нейронних мереж цілком обґрунтований і достовірний.

Застосування новітніх обчислювальних технологій, якими є штучні нейронні мережі, дозволяє прогнозувати розвиток ОЧМТ, оптимізувати роботу медичної служби при наданні ефективної і своєчасної допомоги постраждалим.

Mathematical modeling of the course of acute brain injury in urban population using artificial neuron nets programs

Semisalov S.Ya.

During the selective working of clinico-epidemiological analyze about CCT in city Koneck for 1996-1999 years on the base of 9267 searches. The received information with the help of artificial neuron nets enable us to do the mathematical model of CCT and to carry on the prognosis of injury development for the period of each three months of 2000 year. Comparing the prognoses data the real ones, one can consider that the received data really determine (the intermediate common error of the prognosis is 11,2%) injury development for the nearest 3-months period, that is the short term prognosis with the help of artificial neuron sets is quite basically done and acceptable.

Using the latest accounting technology like artificial neuron nets enable us prognosing CCT development to optimize the work of the medical service at giving the effective and first medical aid to the injured men.