© Український журнал клінічної та лабораторної медицини, 2011
УДК 616 — 001.17 — 037 — 06 — 057.2

Прогнозування тяжкості опікової хвороби та її ускладнень у шахтарів

Е.Я.Фісталь, Ю.Є.Лях, В.В.Солошенко, В.Г.Гур'янов

ДУ «Інститут невідкладної і відновної хірургії ім. В.К.Гусака» НАМН України,
Донецький національний медичний університет ім. М.Горького
Донецьк, Україна

У статті наведено процес створення та верифікації математичних моделей прогнозування тяжкості опікової хвороби та її ускладнень на основі нейронних мереж. Було використано дані про лікування 198 шахтарів, котрі постраждали від вибухів метано-вугільної суміші і знаходилися на лікуванні в Донецькому опіковому центрі в період з 1995 по 2011 р. Створені математичні моделі для прогнозування тяжкості перебігу опікової хвороби та її ускладнень дозволяють досить точно планувати тактику лікування обпечених шахтарів з комбінованою та сполученою травмою. Розроблені моделі дозволяють передбачати розвиток ускладнень і підказують лікарю, на що треба в першу чергу звернути увагу. Втілення розроблених моделей у практичну медицину дозволить більш ефективно надавати допомогу цьому складному контингенту хворих, особливо при масовому надходженні постраждалих.

Ключові слова: прогнозування, опіки, ускладнення, нейронні мережі.

ВСТУП

Частота шахтного травматизму зі смертельними випадками в шахтах в 7 разів вище, ніж в інших галузях виробництва. У Донбасі протягом останнього десятиріччя в середньому на кожний 1 млн тонн вугілля припадає 3,3-4,8 людського життя. Більш 50% травмованих — чоловіки до 40 років, що призводить до значних медичних і соціальних проблем [2].

Вугледобувні шахти Донбасу розташовані на глибині більш 1000 метрів. Більшість з них є вибухо-пожежонебезпечними. З 1992 по 2011 р. загинуло більш 600 шахтарів при вибухах та пожежах на шахтах Донеччини. На лікуванні в Донецькому опіковому центрі за цей термін знаходилися на лікуванні 340 шахтарів з опіками, отриманими внаслідок вибуху метано-вугільної суміші.

Основна відмінність вибухової шахтної травми від інших видів масових і групових травм полягає в їх багатофакторності, коли, як правило, поширені опіки сполучені з термоінгаляційним ураженням, отруєнням чадним газом, механічними пошкодженнями (забій, струс мозку), переломами кісток). Крім того, в подібних випадках одним зі значущих компонентів сполученого ураження залишається психічна травма [3, 4].

Виникаючи при вибуховій шахтній травмі, сполучені та комбіновані ураження є одним з частих видів травм, але до кінця не вивченим щодо сполученого впливу термічних і механічних факторів ураження, ускладнених опіковим і травматичним шоком. Тому на сьогодені важливим питанням залишається прогнозування тяжкості опікової хвороби при вибуховій шахтній травмі а також її найбільш вагомих ускладнень.

У комбустіології найбільш вдалою системою прогнозування тяжкості опікового шоку є індекс тяжкості ураження (ІТУ), котрий враховує загальну площу опіку, глибину, наявність термоінгаляційної травми, рік постраждалого [8]. У нашій клініці було запропоновано модифікований ІТУ, який враховував комбіновані ураження та затримку протишокової терапії [1]. Але для вибухової шахтної травми, враховуючи її специфіку, потрібні новітні гнучкі та швидкі системи прогнозування, враховуючи масовий характер надходження хворих у спеціалізоване відділення та наявність у кожному відділенні комп'ютера.

Метою дослідження було створити математичні моделі для прогнозування тяжкості перебігу опікової хвороби та прогнозу для життя.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При проведенні аналізу результатів лікування використовувалися статистичні пакети MedStat v.4.5 (Лях Ю.Є., Гур'янов В.Г., 2004-2011), MedCalc v.11.6.1.0 (MedCalc Software, 1993-2011) та STATISTICA Neural Networks v.4.0C (StatSoft Inc., 1996-1999).

Математичні моделі прогнозування створювалися на основі нейронних мереж [5], які знаходять широке використання в медичних дослідженнях. Вибір на користь нейромережевих моделей обумовлений тим, що цей метод дозволяє створювати та аналізувати як лінійні, так і можливі нелінійні моделі [5]. Крім того, при побудові моделі прогнозування однією з основних задач є відбір мінімального набору найбільш значущих факторів ризику тяжкого перебігу опікової хвороби. При наявності кореляційних зв'язків між ознаками, що описують стан хворого, стандартні статистичні методи відбору (метод покрокового відкидання, метод покрокового додавання ознак) стають малоефективними [5]. Не являється ефективним і метод повного перебору моделей (що пов'язано з великою кількістю варіантів). У сучасних моделях У цьому випадку використовується генетичний алгоритм (ГА) [5] відбору, який поєднує в собі швидкість покрокових методів та ефективність методу повного перебору і легко реалізується в нейромережевих моделях. Для оцінки прогностичних характеристик моделі в роботі розраховувалися показники її чутливості та специфічності [6] і оцінювався відповідний 95% вірогідний інтервал (95% ВІ) значення показника. Для оцінки адекватності моделі використовувався метод перевірки її прогностичних характеристик на тестовій множині випадків, що не використовувалися в процесі побудови моделі. У разі якщо прогностичні характеристики моделі на тестовій множині випадків були не гірші за характеристики на навчальній множині випадків (яка використовувалася для оцінки параметрів моделі), то модель вважалася адекватною [5], можливою її використання на практиці. Для верифікації побудованих моделей використовувався також метод побудови кривих операційних характеристик (Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve) [7]. Для випадкової моделі прогнозу площа під ROC кривою (Area under the ROC curve (AUC) дорівнює 0,5, наближення AUC до 1 свідчить про адекватність моделі [7].

Для оцінки ступеня впливу кожної з виділених у процесі аналізу факторних ознак використовувався метод побудови логістичних моделей [7]. У цьому випадку ступінь впливу на ризик тяжкого перебігу або летального результату опікової хвороби оцінювався за показником відношення шансів (ВШ) [6], оцінювався і відповідний 95% ВІ. Значення ВШ <1 свідчить про зменшення, ВШ >1 — збільшення ризику негативного результату [7]. У випадку, коли ВШ статистично значущо не відрізняється від 1 ($p>0,05$) — впливу факторної ознаки не виявлено.

Дослідження побудовано на вивченні даних історії хвороб 198 шахтарів, що постраждали від вибухів метано-вугільної суміші і знаходилися на лікуванні в Донецькому опіковому центрі в період з 1995 по 2011 р. У 122 хворих впроваджувалася тактика раннього хірургічного лікування з використанням біологічних покриттів (2004-2011), у 76 хворих стратегія хірургічного лікування була іншою (1994-2003). Найбільш важливим для нас було визначення тяжкості перебігу опікової хвороби як узагальнюючої ознаки процесу вибухової шахтної травми, котра впливає на летальність серед обпечених шахтарів і кількість ускладнень.

Для проведення аналізу було використано метод побудови багатофакторних математичних моделей прогнозування [5]. В якості вихідних змінних було обрано тяжкість опікової хвороби, ускладнення опікової хвороби, вірогідність смерті постраждалого.

В якості вхідних змінних аналізували тактику оперативного лікування, наявність пневмотораксу, черепно-мозкової травми та її ступінь, переломи та ураження м'яких тканин, термоінгаляційне ураження та його ступінь, отруєння чадним газом, локалізацію опіку та інше, усього 37 ознак.

Математичну модель побудовано за результатами лікування 198 шахтарів, що постраждали внаслідок вибухів метано-вугільної суміші. Для оцінки адекватності моделі усі випадки (за допомогою генератора випадкових чисел) було розподілено на три множини [5]: навчальну (використовувалася для побудови моделі і включала результати лікування 148 хворих), контрольну множину (використовувалася для відбору порогу прийняття/відторгнення і включала результати для 10 хворих) і тестову множину (використовувалася для перевірки прогностичної здатності моделі на нових даних — 40 хворих). При проведенні аналізу прогнозувалася вірогідність тяжкості перебігу опікової хвороби. При цьому змінна приймала значення 1 у випадку тяжкого перебігу опікової хвороби (81 випадок) і Y=0 при легкому

ТАБЛИЦЯ 1

Результати прогнозування розвитку тяжкого перебігу опікової хвороби (модель, побудована на відборі чотирьох найбільш значущих ознак)

Результати	Навчальна множина		Тестова множина	
	Тяжкий перебіг	Легкий або середньої тяжкості	Тяжкий перебіг	Легкий або середньої тяжкості
Усього випадків	64	81	14	26
Вірний прогноз	57	69	12	23
Хибний прогноз	7	12	2	3

або середньої тяжкості перебігу опікової хвороби (114 випадків). На першому етапі проведення аналізу було побудовано модель класифікації з використанням в якості вхідних усіх 37 ознак. Після навчання моделі і перевірки прогнозування на тестовій множині було отримано наступні результати: для навчальної множини чутливість моделі склала 90,6% (95% ВІ 82,2-96,6%), специфічність – 87,7% (95% ВІ 79,5-94,0%); на тестовій множині чутливість моделі склала 85,7% (95% ВІ 60,8-99,0%), специфічність – 96,2% (95% ВІ 84,9-100%). Чутливість та специфічність моделі на навчальній та тестовій множинах випадків статистично значущо не відрізняються (p=0,95 і p=0,39 відповідно при порівнянні за критерієм χ^2), що свідчить про адекватність побудованої моделі.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для визначення мінімального набору чинників, які в найбільшому ступені пов'язані з ризиком тяжкого перебігу опікової хвороби, було використано ГА. У результаті було відібрано чотири ознаки: належність до групи, що відрізняється за тактикою оперативного лікування, загальна площа опіку та площа глибокого опіку, термоінгаляційне ураження. На виділеному наборі було побудовано модель прогнозування розвитку тяжкого перебігу опікової хвороби. Результати прогнозування цією моделлю наведені в табл. 1.

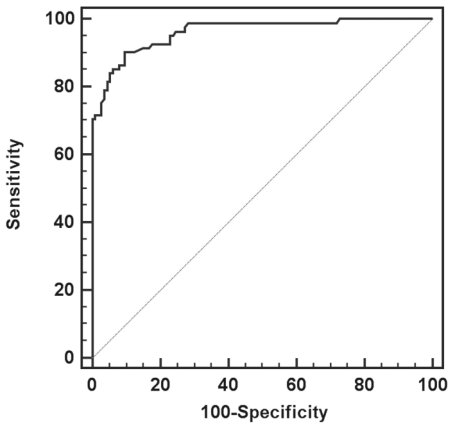

Рис. 1. ROC-крива для 4-ознакової логістичної моделі прогнозування розвитку тяжкого перебігу опікової хвороби.

Чутливість моделі на навчальній множині склала 89,1% (95% ВІ 80,1-95,6%), специфічність – 85,2% (95% ВІ 76,5-92,1%); на тестовій множині чутливість моделі склала 85,7% (95% ВІ 60,8-99,0%), специфічність – 88,5% (95% ВІ 72,8-97,9%). Чутливість та специфічність моделі на навчальній та тестовій множинах випадків статистично значущо не відрізняється (p=0,92 і p=0,93 відповідно при порівнянні за критерієм χ^2) – модель адекватна. При цьому зменшення чинних ознак від 37 до 4 не призвело до зниження прогностичних здатностей моделі, її чутливості та специфічності в порівнянні з моделлю, побудованою на повному наборі ознак (p>0,8).

Для виявлення ступеня впливу кожної з виділених ознак було використано метод побудови логістичної регресійної моделі прогнозування розвитку тяжкого перебігу опікової хвороби (χ^2=174,7; p<0,001).

Для верифікації моделі було використано метод аналізу ROC-кривих. На рис. 1 наведена отримана крива.

Площа під кривою AUC=0,96 (95% ВІ 0,93-0,98), отримані значення статистично відрізняються (від 0,5 на рівні p<0,001), що свідчить про адекватність побудованої моделі.

Результати аналізу коефіцієнтів моделі наведені в табл. 2.

З проведеного аналізу витікає, що на вірогідність розвитку тяжкого перебігу опікової хвороби статистично значуще (p<0,001) впливає площа ураження, з її поширенням тяжкість значно підвищується. Так, наприклад, ВШ=1,08 (95% ВІ 1,04-1,12) при збільшенні площі загального ураження на 1%, ВШ=1,51 (95% ВІ 1,24-1,85) при збільшенні площі глибокого ураження на 1%. Також встановлено, що тяжкий перебіг опікової хвороби підвищується (p=0,015) при збільшенні ступеня тяжкості термоінгаляційного ураження, ВШ=2,57 (95% ВІ 1,24-5,36) на кожний бал.

Отримана математична модель дозволила нам прогнозувати тяжкість опікової хвороби у хворих з вибуховою шахтною травмою та виз-

ТАБЛИЦЯ 2

Аналіз впливу ознак на розвиток тяжкого перебігу опікової хвороби (логістична регресійна модель, побудована на чотирьох найбільш значущих ознаках)

Факторна ознака	Значення коефіцієнта прогнозування, b±m	Рівень значущості відмінності коефіцієнта від 0	ВІ (95%ВІ)
Група (за хірургічною тактикою)	1,11±0,58	0,059	–
Загальна площа	0,08±0,02	<0,001	1,08 (1,04-1,12)
Площа глибокого опіку	0,41±0,10	<0,001	1,51 (1,24-1,85)
Термоінгаляційне ураження	0,95±0,37	0,012	2,57 (1,24-5,36)

начати тактику оперативного лікування. Модель досить проста і може використовуватися лікарями хірургами та травматологами при масовому надходженні постраждалих в опіковий центр.

Крім того, в процесі лікування такого тяжкого контингенту обпечених, як шахтарі, з вибуховою шахтною травмою, важливим питанням залишається прогнозування ускладнень опікової хвороби. Для цього теж була створена «Модель прогнозування ускладнень, що виникають в процесі перебігу опікової хвороби».

При проведенні аналізу прогнозувалась вірогідність розвитку ускладнень. При цьому змінна Z приймала значення 1 у випадку виникнення більше двох тяжких ускладнень опікової хвороби (сепсис, пневмонія, енцефалопатія, анемія та ін..) при перебігу опікової

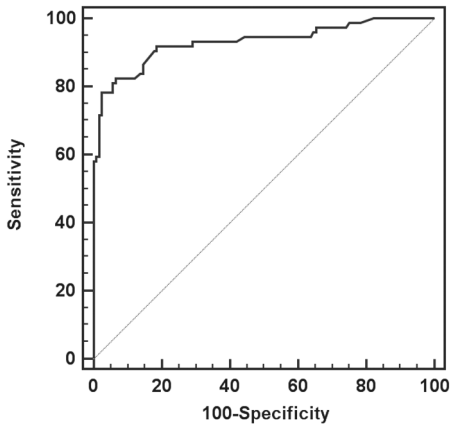

Рис. 2. ROC-крива для логістичної моделі прогнозування виникнення більше двох ускладнень у перебігу опікової хвороби, що збудована на чотирьох ознаках.

хвороби (74 випадку) і Z=0 при двох і менше ускладнень (124 випадка). На першому етапі проведення аналізу було побудовано модель класифікації з використанням в якості вхідних усіх 37 ознак. Після навчання моделі і перевірки прогнозування на тестовій множині було отримано наступні результати: для навчальної множини чутливість моделі склала 91,8% (95% ВІ 83,5-97,4%), специфічність – 93,1% (95% ВІ 86,8-97,5%); на тестовій множині чутливість моделі склала 75,0% (95% ВІ 44,4-95,8%), специфічність – 75,0% (95% ВІ 56,8-89,5%).

Для виявлення мінімального набору ознак, котрі найбільш пов'язані з ризиком розвитку ускладнень, як і в попередній моделі, було використано ГА. У результаті було відібрано чотири ознаки: група за тактикою оперативного лікування, наявність та ступінь черепно-мозкової травми, загальна площа опіку та площа глибокого опіку. На виділеному наборі була побудована наступна модель прогнозування.

Чутливість моделі на навчальній множині склала 83,6% (95% ВІ 73,1-91,9%), специфічність – 87,4% (95% ВІ 79,5-93,5%); на тестовій множині чутливість моделі склала 83,3% (95% ВІ 54,7-98,9%), специфічність – 85,7% (95% ВІ 69,8-96,3%). Чутливість і специфічність моделі на навчальній та тестовій множинах статистично значуще не відрізняються (p=0,69 і p=0,92 за критерієм χ^2), що свідчить про адекватність побудованої моделі. При цьому зменшення кількості ознак від 37 до 4 не призвело до зниження прогностичних здібностей моделі на повному наборі ознак (p>0,25).

ТАБЛИЦЯ 3

Аналіз впливу ознак на прогноз розвитку більше двох ускладнень у перебігу опікової хвороби (логістична регресійна модель, побудована на наборі 4 найбільш значущих ознак)

Ознака	Значення коефіцієнта прогнозування, b±m	Рівень значущості відмінності коефіцієнта від 0	ВІ (95%ВІ)
Група (за хірургічною тактикою)	1,37±0,52	0,009	3,95 (1,41-11,0)
Наявність ЧМТ	0,50±0,51	0,337	–
Загальна площа	0,07±0,02	<0,001	1,07 (1,04-1,10)
Площа глибокого опіку	0,16±0,05	0,001	1,18 (1,07-1,29)

Для виявлення впливу кожної з виділених ознак було використано метод побудови логістичної регресійної моделі прогнозування ризику виникнення більше двох ускладнень (χ^2=145,1; p<0,001).

Для верифікації моделі було використано метод аналізу ROC-кривих. На рис. 2 наведена отримана крива.

Площа під кривою AUC=0,93 (95% ВІ 0,89-0,96), отримані значення статистично значущо відрізняються (від 0,5 на рівні p<0,001), що є свідченням адекватності побудованої моделі.

Результати аналізу коефіцієнтів моделі наведені в табл. 3.

З проведеного аналізу витікає, що на виникнення більше двох ускладнень статистично значуще (p≤0,001) впливає площа ураження: зі збільшенням площі ризик виникнення ускладнень збільшується. ВШ=1,07 (95% ВІ 1,04-1,10) при збільшенні площі загального ураження на 1%, ВШ=1,18 (95% ВІ 1,07-1,29) при збільшенні площі глибокого опіку на 1%. Також встановлено, що вірогідність виникнення більше двох ускладнень вища (p=0,009) при тактиці оперативного лікування, коли оперативне лікування починається після завершення опікового шоку і формування дермального некротичного струпу ВШ=3,95 (95% ВІ 1,41-11,0), у той час хірургічна тактика з проведенням дермабразії з одночасною пластикою опікових ран тимчасовими біологічними покриттями дозволяє в ранні строки зменшити площу опікових ран і тим самим значно знизити тяжкість опікової хвороби і виникнення ускладнень.

ВИСНОВКИ

Створені математичні моделі для прогнозування тяжкості перебігу опікової хвороби та її ускладнень дозволяють досить точно планувати тактику лікування обпечених шахтарів з комбінованою та сполученою травмою. Розроблені моделі дозволяють передбачати розвиток ускладнень і підказують лікарю, на що треба в першу чергу звернути увагу. Втілення розроблених моделей у практичну медицину дозволить більш ефективно надавати допомогу цьому складному контингенту хворих, особливо при масовому надходженні постраждалих.

ЛІТЕРАТУРА

1. Величко М.М. Тактика оказания экстренной медицинской помощи на догоспитальном этапе при авариях с большим числом пострадавших в угольных шахтах / М.М.Величко, Э.Я.Фисталь, В.Д.Шаповалов // Проблеми військової охорони здоров'я. — 2002. — №1. — С. 133-140.
2. Комплексное лечение и реабилитация шахтеров, пострадавших при взрывах метано-угольной смеси / В.К.Гринь, Э.Я.Фисталь, В.В.Солошенко [та ін.] // Энергия инноваций. — 2008. — №5. — С. 50-54.
3. Политравма у обожженных при взрыве метана в шахтах / В.К.Гусак, Э.Я.Фисталь, В.П.Шано [та ін.] // Проблеми військової охорони здоров'я. — 2002. — №1 — С. 143-150.
4. Особенности оказания экстренной медицинской помощи шахтерам с комбинированной травмой на этапах эвакуации / В.Н.Ельский, Н.Н.Шпаченко., В.Г.Климовицкий [та ін.] // Вестник неотложной и восстановительной медицины. — 2005. — Т.6, №2. — С. 231-235.
5. Теоретические и практические аспекты автоматизированной информационной системы «Депрессии» / В.Н.Казаков, Ю.Е. Лях, И.И.Кутько [та ін.]. — Донецьк: ДонДМУ, 2001. — 160 с. (Серия «Очерки биологической и медицинской информатики»).
6. Основы компьютерной биостатистики: анализ информации в биологии, медицине и фармации статистическим пакетом Medstat / Ю.Е.Лях, В.Г.Гурьянов, Х В.Н.оменко, О.А.Панченко. — Д.: Е.К.Папакица, 2006. — 214 с.
7. Петри А. Наглядная статистика в медицине / А.Петри, К.Сэбин; пер. с англ. В.П.Леонова. — М.: ГЭОТАР-МЕД., 2003. — 144 с.
8. Патогенез и лечение пострадавших в остром периоде ожоговой болезни: метод. рек. / Н.Е.Повстяной, Г.П.Козинец, Т.В.Сосюра [та ін.]. –. Киев, 1989. — 24 с.

Э.Я.Фисталь, Ю.Е.Лях, В.В.Солошенко, В.Г.Гурьянов. Прогнозирование тяжести ожоговой болезни и ее осложнений у шахтеров. Донецк, Украина.

Ключевые слова: *прогнозирование, ожоги, осложнения, нейронные сети.*

В статье представлен процесс создания и верификации математической модели прогнозирования тяжести ожоговой болезни и ее осложнений на основе нейронных сетей. Были использованы данные о лечении 198 шахтеров, которые пострадали от взрывов метано-угольной смеси и находились на лечении в Донецком ожоговом центре в период с 1995 по 2011 г. Созданные математические модели прогнозирования тяжести течения ожоговой болезни и ее осложнений позволяют довольно точно планировать тактику лечения обожженных шахтеров с комбинированной и сочетанной травмой. Разработанные модели позволяют предсказать развитие осложнений и подсказывают врачу, на что следует обратить внимание в первую очередь. Внедрение разработанных моделей в практическую медицину позволит более эффективно оказывать помощь этому сложному кон-

тингенту больных, особенно при массовом поступлении пострадавших.

E.Ya.Fistal, J.E.Liah, V.V.Soloshenko, V.G.Gurianov. Forecasting of gravity of the burn disease and its complications at miners. Donetsk, Ukraine.

Key words: *forecasting, burns, complications, neuronal networks.*

In article process of creation of mathematical model of forecasting of gravity of a burn disease and its complications on basis neuronal networks is presented. The data about treatment of 198 miners which have suffered from explosions of a methan-coal admixture has been used and was on treatment in Donetsk the burn center during the period with 1995 for 2011. The framed mathematical models of forecasting of gravity of a current of a burn disease and its complications allow to plan precisely enough tactics of treatment of the burned miners with combined trauma. The developed models allow predicting development of complications and prompting to the doctor on what it is necessary to pay attention first of all. Introduction of the developed models in applied medicine will allow assisting more effectively to this difficult contingent of patients especially at mass entering of victims.

Надійшла до редакції 21.03.2011 р.