УДК 615.835.3

Т.А. Глухенькая[1], А.В. Кипенский[2], Е.И. Король[2], Е.И. Назаров[1]

[1] *Научно-производственное предприятие «Эконика», Одесса*
[2] *Кафедра промышленной и биомедицинской электроники НТУ «ХПИ», Харьков*

АНАЛИЗ ПРОЦЕДУР ВНУТРИВЕННОЙ ИНФУЗИИ ОЗОНИРОВАННОГО ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО РАСТВОРА И ОЦЕНКА ИХ КАЧЕСТВА

По результатам экспериментальных исследований процессов растворения и разложения озона в различных образцах физиологического раствора, который применяется для проведения процедур внутривенной инфузии, предложены экспоненциальные модели этих процессов. Достоверность моделей оценивалась коэффициентом корреляции, который во всех случаях оказался не ниже 0,99. Для оценки качества процедур внутривенной инфузии предложен интегральный показатель, учитывающий медицинскую результативность и экономическую эффективность. Показано, что предложенный авторами метод корректной дозировки озона позволяет обеспечивать достаточно высокое качество процедур даже в тех случаях, когда физиологический раствор плохо озонируется и озон в нем быстро разлагается.

Ключевые слова: *озонотерапия, внутривенная инфузия, коэффициент качества, эффективность процедуры, математическая модель.*

Введение

В настоящее время в связи с ростом аллергизации населения, понижением чувствительности к антибиотикам, снижением качества и повышением стоимости лекарственных препаратов, все более популярными становятся немедикаментозные методы лечения. Среди таких методов озонотерапия заслуженно занимает одно из ведущих мест. Это объясняется, прежде всего, способностью озона оказывать влияние на транспортировку и высвобождение кислорода в тканях, а также его дезинфицирующим действием. Данные обстоятельства обуславливают широкий диапазон применения озонотерапии в медицинской практике [1].

Озонотерапия используется в виде парентерального и энтерального введения озонокислородных смесей (ОКС), газации в закрытых объемах и аппликации с озонированными материалами. При правильном дозировании вводимого озона побочные эффекты и осложнения наблюдаются крайне редко [2]. Одной из наиболее эффективных процедур озонотерапии является внутривенная инфузия озонированного физиологического раствора (ОФР).

Экспериментальные исследования показали, что при озонировании физиологического раствора (ФР) в стандартном флаконе 0,2 л, путем его барботирования ОКС, процесс насыщения раствора озоном составляет примерно 15 минут. При этом значение концентрации озона (КО) в ОФР $C_{ФР}$ будет определяться коэффициентом растворимости озона в ФР:

$$C_{ФР} = k_P C_{ОКС} , \qquad (1)$$

где $C_{ОКС}$ – концентрация озона в ОКС, которой барботируется ФР;

k_P – коэффициент растворимости озона в ФР, значение которого при нормальных условиях окружающей среды составляет 0,14 [3].

В зависимости от решаемых задач, при озонировании ФР концентрацию озона в ОКС на выходе озонатора следует изменять в широком диапазоне (практически от 1,0 мг/л до 100 мг/л). Исходя из этого, в методических рекомендациях предлагаются таблицы соотношений КО в ОКС на выходе озонатора и усредненные показатели КО и количество растворенного озона во флаконе ФР [2; 4]. Однако опыт озонотерапевтов и производителей озонаторов показывает, что скорость растворения и разложения озона в водных растворах зависит от таких факторов, как температура раствора и окружающей среды, химический состав основных и примесных соединений, pH водной фазы и др. [5; 6]. Кроме того, в ходе экспериментальных исследований было установлено, что при одних и тех же условиях барботирования озоном, конечное значение КО в ФР может существенно отличаться друг от друга даже в различных упаковках физраствора одного и того же производителя [7]. Все это в значительной степени затрудняет дозирование озона, а стало быть, и снижает качество процедур озонотерапии.

Цель данной работы состоит в анализе процессов растворения и разложения озона в физиологическом растворе, предназначенном для проведения процедур внутривенной инфузии, а также в выработке критерия для оценки качества процедур озонотерапии, отпускаемых по различным методам.

© Глухенькая Т.А., Кипенский А.В., Король Е.И., Назаров Е.И., 2017

Анализ процесса насыщения озоном физиологического раствора

В процедуре внутривенной инфузии ОФР можно выделить два основных этапа:

– насыщение озоном физиологического раствора путем его барботирования ОКС (процесс растворения озона в ФР или процесс озонирования);

– внутривенное капельное введение ОФР (собственно сама инфузия).

Для анализа процесса насыщения озоном ФР было подготовлено пять образцов, которые далее будем обозначать как ФР0–ФР4. ФР0 получали путем растворения 9 г соли NaCl особо чистой квалификации в 1 л бидистиллированной воды с электропроводностью менее 1 мС/см (этот образец в дальнейшем будем называть «идеальным»). В качестве образцов ФР1–ФР4 использовали серийно выпускаемые физрастворы различных производителей (см. табл. 1).

Насыщение озоном ФР в стандартном флаконе объемом 200 мл производили путем его барботирования ОКС с КО равной 15 мг/л (для обеспечения концентрации в ОФР равной 2 мг/л) при объемной скорости (расходе) 0,3 л/мин. Для получения ОКС использовался генератор озона Бозон-Н. Температура ФР и окружающей среды составляла 22 °С. Первый забор проб был выполнен через 1 мин, остальные – через 2 мин. Измерение концентрации озона в ОКС и ОФР проводилось фотометрическим анализатором типа ДФГ с относительной погрешностью измерения не более 5 %.

Изменения КО в различных образцах ОФР в функции продолжительности барботирования ОКС представлены в виде семейства кривых на рис. 1. Кривая, соответствующая процессу озонирования ФР0 на рис. 1 и далее по тексту отмечена маркерами ○, маркеры для других ФР указаны в табл. 1.

Из рис. 1 видно, что после 15 минут насыщения озоном различных образцов ФР, конечное значение КО ($C_{Н\ ФР\ i(15)}$) в них существенно отличается. Это обстоятельство обусловлено, скорее всего, наличием микропримесей, поскольку условия насыщения озоном физрастворов во всех случаях были одинаковыми.

Наиболее точно экспериментально полученные зависимости могут быть представлены полиномиальными моделями [8]. На рис. 2 показаны изменения КО в различных образцах ФР при их барботировании ОКС с КО равной 15 мг/л, которые рассчитаны с помощью полиномиальных моделей.

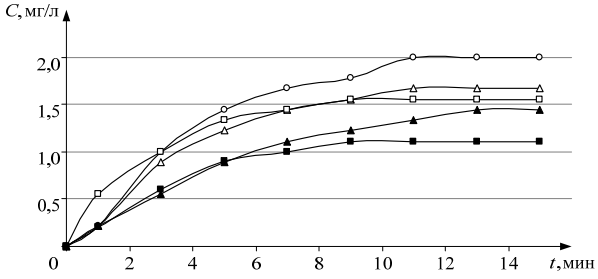

Рис. 1. Насыщение озоном различных образцов ФР при их барботировании ОКС с КО равной 15 мг/л

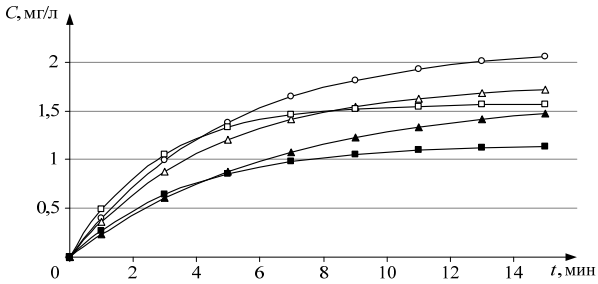

Рис. 2. Изменения КО в различных образцах ФР при их барботировании ОКС с КО равной 15 мг/л, рассчитанные с помощью полиномиальных моделей

Качество аппроксимации экспериментальных данных полиномиальными моделями оценивалось с помощью коэффициента корреляции, значения которого определялось по выражению

$$k_i = \frac{\sum_j \left(C_{H\,j\,ЭКСП\,ФР\,i} - \overline{C_{H\,ЭКСП\,ФР\,i}}\right)\left(C_{Hj\ ФР\,i} - \overline{C_{H\,ФР\,i}}\right)}{\sqrt{\sum_j \left(C_{H\,j\,ЭКСП\,ФР\,i} - \overline{C_{H\,ЭКСП\,ФР\,i}}\right)^2 \sum_j \left(C_{Hj\ ФР\,i} - \overline{C_{H\,ФР\,i}}\right)^2}}, \qquad (2)$$

где $C_{H\,j\,ЭКСП\,ФР\,i}$ – КО в ОФР, измеренная в дискретные моменты времени забора проб, в процессе насыщения i-го ФР озоном;

j – номер измерения КО в ОФР;

$C_{H\,j\,ФР\,i}$ – КО в ОФР, рассчитанная с помощью модели процесса озонирования ФР в моменты времени, соответствующие забору проб;

Таблица 1

Образцы физиологических растворов

Образец	ФР1	ФР2	ФР3	ФР4
Производитель	ООО «Юрия-Фарм»	ООО «Нико»	ООО «Инфузия»	ООО «Новофарм-Биосинтез»
Город	Киев	Донецк	Киев	Новгород-Волынский
№ серии	7801013	240114	410214	160214
Маркер на графиках	△	□	▲	■

$\overline{C_{Н\ ЭКСП\ ФР\ i}}$, $\overline{C_{Н\ ФР\ i}}$ – математические ожидания соответствующих величин.

Расчеты показали, что значения коэффициента корреляции во всех случаях оказалось не ниже 0,998.

Из рис. 1, 2 видно, что характер кривых соответствует инерционному звену первого прядка, поэтому было предложено полиномиальные модели заменить экспоненциальными [8]. Это облегчает анализ экспериментальных данных и проведение аналитических расчетов, а также упрощает процесс автоматизации дозирования озона при проведении процедур внутривенной инфузии ОФР. При этом экспоненциальная модель процесса озонирования ФР может быть описана единым выражением вида

$$C_{Н\ ФР\ i}(t) = C_{ФР\ MAX\ i}\left[1 - \exp\left(-t / \tau_{Н\ ФР\ i}\right)\right], \quad (3)$$

где $C_{ФР\ MAX\ i}$ – максимальное значение КО в i-м ОФР, которое может быть достигнуто при указанных условиях барботирования;

$\tau_{Н\ ФР\ i}$ – постоянная времени процесса насыщения озоном i-го ФР.

Численные значения параметров экспоненциальных моделей процесса озонирования: $C_{ФР\ MAX\ i}$, $\tau_{Н\ ФР\ i}$ и $C_{Н\ ФР\ i\ (15)}$ – КО в ОФР через 15 минут барботирования ОКС, для всех образцов ФР сведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры экспоненциальных моделей процесса озонирования различных образцов ФР при их барботировании ОКС с КО равной 15 мг/л

Параметры модели процесса озонирования	Образцы физиологических растворов				
	ФР0	ФР1	ФР2	ФР3	ФР4
$C_{Н\ ФР\ i\ (15)}$, мг/л	2,055918	1,715931	1,568376	1,476821	1,138145
$C_{ФР\ MAX\ i}$, мг/л	2,154747472	1,775233	1,574413	1,645127	1,15964
$\tau_{Н\ ФР\ i}$, мин	4,866917547	4,412993	2,696039	6,579554	3,761281
Коэф. корреляции	0,9952232	0,9962444	0,9980473	0,9988286	0,9954355

Адекватность представления процесса озонирования различных образцов ФР экспоненциальными моделями была также оценена коэффициентом корреляции расчётных значений со всеми экспериментально полученными данными. Анализ полученных зависимостей показывает, что во всех случаях коэффициент корреляции оказывается не ниже 0,995 (табл. 2). Такой результат можно считать вполне приемлемым, поскольку погрешность измерения КО в ОФР существенно выше полученных отклонений.

Анализ экспериментальных данных и результатов моделирования процесса насыщения озоном различных физиологических растворов показывает, что требуемое значение концентрации озона было достигнуто только в физрастворе ФР0. Исходя из значения КО в ОФР через 15 минут барботирования для худшего (с позиции озонируемости) раствора ФР4 (измеренное значение $C_{Н\ ФР\ 4\ (15)}$ = 1,1 мг/л), делаем вывод, что для гарантированного обеспечения заданного значения КО во всех образцах ФР (в нашем случае это 2 мг/л), барботировать физиологические растворы необходимо ОКС с концентрацией озона почти в два раза выше, предварительно рассчитанной.

Изменения КО в различных образцах ФР в функции продолжительности их барботирования ОКС при увеличении КО в ней до 30 мг/л представлены в виде семейства кривых на рис. 3.

Процесс насыщения озоном ФР при увеличенном значении КО в ОКС до 30 мг/л так же, как и в предыдущем случае, может быть представлен экспоненциальной моделью (см. выражение (3)). Параметры экспоненциальных моделей процесса озонирования различных образцов ФР для этого случая приведены в табл. 3.

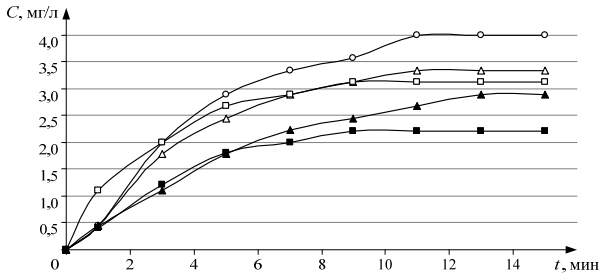

Рис. 3. Насыщение озоном различных образцов ФР при их барботировании ОКС с КО равной 30 мг/л

Здесь же приведены значения коэффициентов корреляции экспериментальных данных и данных, рассчитанных по экспоненциальным моделям. Во всех случаях $k_i > 0{,}995$.

На рис. 4 показаны изменения КО в различных образцах ФР при их барботировании ОКС с КО равной 30 мг/л, которые рассчитаны с помощью экспоненциальных моделей.

С учетом выражения (3) и данных табл. 3 можно определить продолжительность процесса барботирования ОКС ФР $\tau_{Б\ ФР\ i}$ до заданного значения КО в ОФР:

$$\tau_{Б\ ФР\ i} = -\tau_{Н\ ФР\ i} \ln\left(1 - \frac{C_{З\ ФР\ i}}{C_{ФР\ MAX\ i}}\right). \quad (4)$$

В процессе исследований заданное значение КО в ОФР принимали равным $C_{З\ ФР\ i}$ = 2 мг/л, поскольку такое значение КО может быть достигнуто в любом ФР при указанных выше условиях их насыщения озоном.

Таблица 3

Параметры экспоненциальных моделей процесса озонирования различных образцов ФР при их барботировании ОКС с КО равной 30 мг/л.

Параметры модели процесса озонирования	Образцы физиологических растворов				
	ФР0	ФР1	ФР2	ФР3	ФР4
$C_{Н\ ФР\ i\ (15)}$, мг/л	4,111836	3,431863	3,136753	2,953642	2,276289
$C_{ФР\ MAX\ i}$, мг/л	4,309494944	3,550466	3,148827	3,290254	2,319281
$\tau_{Н\ ФР\ i}$, мин	4,866917547	4,412993	2,696039	6,579554	3,761281
Коэф. корреляции	0,9952232	0,9962444	0,9980473	0,9988286	0,9954355

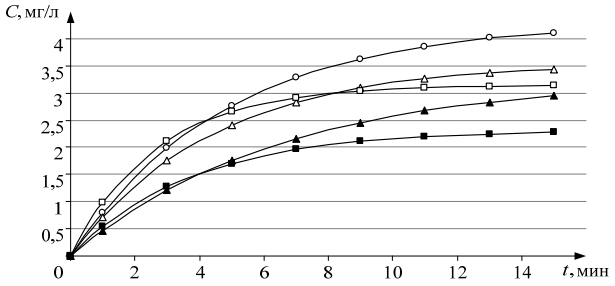

Рис. 4. Изменения КО в различных образцах ФР при их барботировании ОКС с КО равной 30 мг/л, рассчитанные с помощью экспоненциальных моделей

Результаты расчетов продолжительности процесса барботирования ОКС ФР по выражению (4) представлены в виде столбчатой диаграммы на рис. 5.

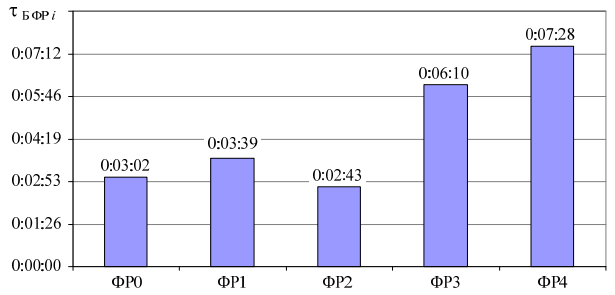

Рис. 5. Продолжительность процесса барботирования ОКС различных образцов ФР до заданного значения КО в ОФР

Анализ диаграммы, приведенной на рис. 5, показывает, что для достижения заданного значения КО в различных образцах ОФР необходима различная продолжительность процесса барботирования ОКС ФР, из чего следует, что и количество затраченного озона будет отличаться, а стало быть, потребуется различное количество исходного кислорода и электрической энергии, необходимой для синтеза этого озона.

Анализ процесса разложения озона в физиологическом растворе

Экспериментальные исследования процесса разложения озона в ОФР проводились в условиях имитации процедуры внутривенной инфузии со скоростью 120 капель в минуту. Это соответствует истеканию ФР из флакона примерно за 20 мин. Восполнение объема газа над поверхностью ФР, по мере его инфузии, происходило за счет атмосферного воздуха температурой 22 °С, который поступал во флакон через «иглу-воздушку». Измерения КО в ОФР проводились аналогично тому, как это осуществлялось при исследованиях процесса озонирования ФР.

Изменения КО в различных образцах ОФР в функции продолжительности процедуры внутривенной инфузии со скоростью 120 капель в минуту представлены в виде семейства кривых на рис. 6.

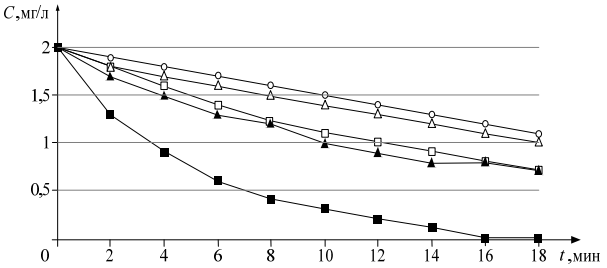

Рис. 6. Разложение озона в различных образцах ОФР при имитации процедуры внутривенной инфузии

Из рисунка видно, что скорость разложения озона в различных образцах ОФР неодинакова, и КО в ОФР к окончанию процедуры внутривенной инфузии также оказываются разными.

Очевидно, что в условиях проведения реальной процедуры, эти обстоятельства приведут к тому, что пациенты будут получать различные дозы озона.

Как и в случае насыщения озоном ФР, процесс разложения озона в различных образцах ОФР наиболее точно может быть представлен полиномиальными моделями.

Однако, с целью упрощения анализа процесса разложения озона, в различных образцах ОФР при имитации процедуры внутривенной инфузии, полиномиальные модели были заменены экспоненциальными, которые могут быть описаны единым выражением вида

$$C_{Р\ ФР\ i}(t) = C_{З\ ФР\ i} \cdot \exp\left(-t / \tau_{Р\ ФР\ i}\right), \qquad (5)$$

где $C_{З\ ФР\ i}$ – заданное (начальное) значение КО в i-м ОФР (в нашем случае 2 мг/л); $\tau_{Р\ ФР\ i}$ – постоянная времени процесса разложения озона в i-м ОФР.

Численные значения параметров экспоненциальных моделей процесса разложения озона для всех образцов ОФР: $C_{З\ ФР\ i}$, $\tau_{Н\ ФР\ i}$ и $C_{Р\ ФР\ i\ (18)}$ – КО в ОФР через 18 минут после начала процедуры внутривенной инфузии сведены в табл. 4.

Таблица 4

Параметры экспоненциальных моделей процесса разложения озона в различных образцах ОФР при имитации процедуры внутривенной инфузии

Параметры модели процесса разложения озона	Образцы физиологических растворов				
	ФР0	ФР1	ФР2	ФР3	ФР4
$C_{Р\ ФР\ i\ (18)}$, мг/л	1,137967	1,016126	0,708846	0,633493	0,051134
$\tau_{Р\ ФР\ i}$, мин	31,92033	26,58199	17,35333	15,65688	4,909378
Коэф. корреляции	0,9936163	0,9967938	0,9975358	0,9932430	0,9983547

На рис. 7 показаны изменения КО в различных образцах ФР при имитации процедуры внутривенной инфузии, которые были рассчитаны с помощью экспоненциальных моделей.

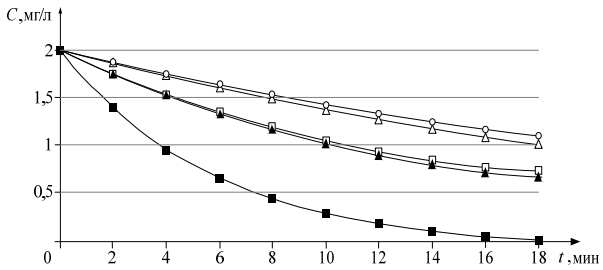

Рис. 7. Изменения КО в различных образцах ОФР при имитации процедуры внутривенной инфузии, рассчитанные с помощью экспоненциальных моделей

Определение соответствия экспоненциальных моделей процесса разложения озона в различных образцах ОФР в ходе проведения процедуры его внутривенной инфузии реальным процессам осуществляли с помощью коэффициента корреляции расчётных значений со всеми экспериментально полученными данными. Анализ полученных зависимостей показывает, что во всех случаях коэффициент корреляции оказывается не ниже 0,993 (см. табл. 4). Такой результат можно считать вполне приемлемым, поскольку погрешность средств измерения существенно выше полученных отклонений.

Оценка качества процедур внутривенной инфузии озонированного физиологического раствора

При оценке качества процедуру внутривенной инфузии озонированного физиологического раствора будем рассматривать как услугу в медицинской сфере. Принято считать, что оценку качества медицинской помощи, а стало быть, и медицинской услуги следует осуществлять, основываясь на анализе показателей, характеризующих *медицинскую результативность*, *социальную удовлетворенность пациентов* и *экономическую эффективность* [9]. В нашем случае эти показатели могут быть определены следующим образом.

Для оценки **медицинской результативности** процедуры внутривенной инфузии ОФР введем коэффициент K_M. Численное значение этого коэффициента будем определять с учетом массы озона $M_{О\ ПАЦ\ ОФР}$, полученной пациентом в виде ОФР при проведении процедуры (при условии, что $M_{О\ ПАЦ\ ОФР} < 2\ M_{О\ ДОЗА}$), и массы озона $M_{О\ ДОЗА}$, рекомендуемой для конкретного пациента с учетом его заболевания. Кроме того, учитывались экспертные оценки озонотерапевтов, определивших приоритеты при проведении процедур озонотерапии [10]. В результате этого, выражение для определения коэффициента медицинской результативности было представлено в виде

$$K_M = \left(1 - \left(\frac{M_{О\ ПАЦ\ ОФР}}{M_{О\ ДОЗА}} - 0{,}95\right)^2\right)^4, \qquad (6)$$

где $M_{О\ ДОЗА} = V_{ОФР}\, C_{З\ ФР}$;

$V_{ОФР}$ – объем ФР во флаконе (в наших случаях $V_{ОФР} = 0{,}2$ л);

$C_{З\ ФР}$ – заданное значение концентрации озона в ОФР ($C_{З\ ФР} = 2$ мг/л).

Выражение (6) позволяет учитывать отклонение массы озона, полученной пациентом, от расчетного значения как при $M_{О\ ПАЦ\ ОФР} > M_{О\ ДОЗА}$, так и при $M_{О\ ПАЦ\ ОФР} < M_{О\ ДОЗА}$.

Социальная удовлетворенность обычно оценивается неформальным обсуждением с пациентами проблем здравоохранения, опросами пациентов сразу после получения им медицинской помощи (услуги), анкетированием пациентов по реализации социальных программ. Поскольку данная работа направ-

лена на определение качества только процедур внутривенной инфузии ОФР, с целью сопоставления различных методов их проведения, социальной составляющей пренебрегли.

Экономическую эффективность будем определять с учетом затрат на проведение процедуры, а в качестве показателя таких затрат используем массу озона, израсходованную на приготовление ОФР, поскольку для ее производства необходимы исходный медицинский кислород, электроэнергия и соответствующее оборудование. С учетом этого, коэффициент экономической эффективности может быть определен как

$$K_Э = \left(\frac{M_{O\ РАС}}{M_{O\ ФР\ i} + M_{O\ РАС}} \right)^{1/2}, \qquad (7)$$

где $M_{O\ ФР\ i}$ – фактическое значение массы озона, израсходованной для приготовления 0,2 л ОФР с заданной КО из i-го образца ФР;

$M_{O\ РАС}$ – расчетное (по медицинским методикам, при известном коэффициенте растворимости озона в ФР $k_Р$ = 0,14) значение массы озона, необходимое для приготовления 0,2 л ОФР с заданным значением КО (в нашем случае $C_{З\ ФР}$ = 2 мг/л)

$$M_{O\ РАС} = C_{З\ ОКС} \cdot Q_{ОКС} \cdot \tau_Б, \qquad (8)$$

$C_{З\ ОКС}$ = 15 мг/л КО в ОКС, которой барботируется ФР;

$Q_{ОКС}$ = 0,3 л/мин – объемная скорость ОКС, которой барботируется ФР;

$\tau_Б$ = 15 мин – продолжительность барботирования ФР.

Интегральный коэффициент качества процедур внутривенной инфузии ОФР определим как произведение коэффициентов медицинской результативности и экономической эффективности

$$K_К = K_М \cdot K_Э .$$

При расчете коэффициента качества процедур массу озона, рекомендуемую для пациента, принимали равной $M_{O\ ДОЗА}$ = 0,4 мг, а расчетное значение массы озона, необходимого для приготовления ОФР – $M_{O\ РАС}$ = 67,5 мг.

Для оценки качества процедур внутривенной инфузии ОФР будем использовать полученные экспоненциальные модели процессов насыщения озоном различных образцов ФР (см. выражение (3), табл. 2, 3) и процессов разложения озона в этих образцах ОФР (см. выражение (5) и табл. 4). При этом оценку качества внутривенной инфузии ОФР произведем для трех методов проведения процедур:

– *первый метод* – насыщение озоном ФР путем его барботирования ОКС со значением КО $C_{З\ ОКС}$ = 15 мг/л в течение временного интервала $\tau_Б$ = 15 мин (по медицинским методическим рекомендация, которые не предусматривают контроль конечного значения КО в ОФР);

– *второй метод* – форсированное насыщение озоном ФР путем его барботирования ОКС с увеличенным значением КО ($C_{Ф\ ОКС}$ = 30 мг/л) до заданного значения КО в ОФР (с контролем текущего значения КО в ОФР, такая функция предусмотрена в некоторых медицинских озонаторах);

– *третий метод* – насыщение озоном ФР до заданного значения КО в ОФР (с контролем текущего значения КО в ОФР и форсированием, при необходимости, процесса насыщения озоном ФР) и поддержание КО в ОФР путем восполнения объема газа над поверхностью ФР ОКС с заданным значением КО из емкости с объемом $V_{ОКС}$ [11].

Расчет масс озона при ***первом методе*** отпуска процедуры внутривенной инфузии ОФР может быть выполнен следующим образом. Масса озона, фактически затраченная на приготовление ОФР, может быть определена по выражению

$$M_{O1\ ФР\ i} = C_{З\ ОКС} \cdot Q_{ОКС} \cdot \tau_Б, \qquad (9)$$

где $C_{З\ ОКС}$ = 15 мг/л – КО в ОКС, которая используется для барботирования всех образцов ФР;

$Q_{ОКС}$ = 0,3 л/мин – объемная скорость ОКС, которая используется для барботирования всех образцов ФР;

$\tau_Б$ = 15 мин – продолжительность барботирования ОКС с заданными параметрами всех образцов ФР.

Массу озона, полученную пациентом в ходе проведения процедуры внутривенной инфузии, определим с помощью экспоненциальной модели процесса разложения озона (см. выражение (5), табл. 4):

$$\begin{aligned} M_{O1\ ПАЦ\ ОФР\ i} &= \frac{V_{ОФР}}{\tau_{ИН}} \int_0^{\tau_{ИН}} C_{Р\ ФР\ i}(t)\,dt = \\ &= \frac{V_{ОФР}}{\tau_{ИН}} \int_0^{\tau_{ИН}} C_{Н\ ФР\ i\,(15)} \cdot \exp\left(-t / \tau_{Р\ ФР\ i}\right) dt = \\ &= -\frac{V_{ОФР}}{\tau_{ИН}} C_{Н\ ФР\ i\,(15)} \times \\ &\times \tau_{Р\ ФР\ i} \cdot \left[\exp\left(-\tau_{ИН} / \tau_{Р\ ФР\ i}\right) - 1\right], \end{aligned} \qquad (10)$$

где $V_{ОФР}$ = 0,2 л – объем ОФР во флаконе;

$\tau_{ИН}$ = 20 мин – продолжительность процедуры внутривенной инфузии при скорости 120 капель в минуту.

Результаты расчета показателей и коэффициентов экономической эффективности, медицинской результативности и качества внутривенной инфузии при первом методе проведения процедуры сведены в табл. 5. Кроме того, значения интегрального коэффициента качества процедуры представлены в

виде столбчатой диаграммы на рис. 6 (столбики черного цвета).

Из рис. 6 (черные столбики) видно, что наиболее высокое качество процедуры будет обеспечено при использовании ОФР0, в котором КО в процессе барботирования достигла наибольшего значения, а скорость разложения озона на интервале инфузии была минимальной.

Таблица 5

Параметры и коэффициенты процедур внутривенной инфузии при их реализации первым методом

Массы озона и коэффициенты	Физиологические растворы				
	ФР0	ФР1	ФР2	ФР3	ФР4
$M_{O1\ ФРi}$, мг	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5
$К_{Э1i}$	0,707106781	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107
$M_{O1\ ПАЦ\ ОФРi}$, мг	0,305534928	0,255009	0,23308	0,219474	0,169142
$К_{M1i}$	0,794888119	0,569244	0,465187	0,402104	0,197813
$К_{K1i}$	0,562070779	0,402516	0,328937	0,284331	0,139875

При ***втором методе*** отпуска процедуры расчет масс озона для приготовления ОФР и озона, полученного пациентом, может быть выполнен по выражениям:

$$M_{O2\ ФР\ i} = C_{Ф\ ОКС} \cdot Q_{ОКС} \cdot \tau_{Н\ ФР\ i}\ ; \qquad (11)$$

$$M_{O2\ ПАЦ\ \ ФР\ i} = \frac{V_{ОФР}}{\tau_{ИН}} \int_0^{\tau_{ИН}} C_{Р\ ФР\ i}(t)\,dt\ =$$

$$= \frac{V_{ОФР}}{\tau_{ИН}} \int_0^{\tau_{ИН}} C_{З\ ФР\ i} \cdot \exp\left(-t / \tau_{Р\ ФР\ i}\right) dt\ = \qquad (12)$$

$$= \frac{V_{ОФР}}{\tau_{ИН}} C_{З\ ФР\ i} \cdot \tau_{Р\ ФР\ i} \cdot \left[\exp\left(-\tau_{ИН} / \tau_{Р\ ФР\ i}\right) - 1\right].$$

Результаты расчета показателей и коэффициентов экономической эффективности, медицинской результативности и качества внутривенной инфузии при втором методе проведения процедуры сведены в табл. 6.

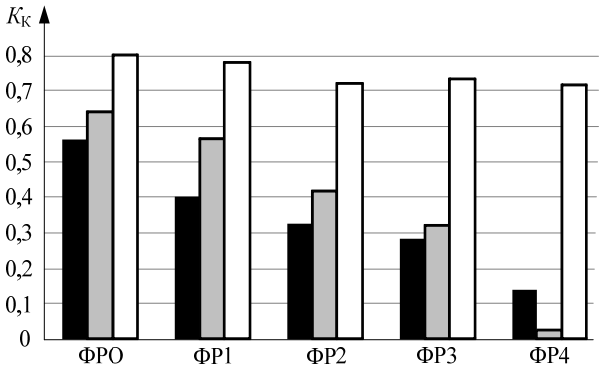

Рис. 8. Коэффициент качества внутривенной инфузии ОФР при использовании различных ФР и методов проведения процедур

На рис. 8 столбиками серого цвета представлены значения интегрального коэффициента качества процедуры.

Таблица 6

Параметры и коэффициенты процедур внутривенной инфузии при их реализации вторым методом

Массы озона и коэффициенты	Физиологические растворы				
	ФР0	ФР1	ФР2	ФР3	ФР4
$M_{O2\ ФРi}$, мг	27,32349164	32,90642	24,46547	55,43361	67,12559
$К_{Э2i}$	0,843711395	0,819919	0,856721	0,740997	0,708089
$M_{O2\ ПАЦ\ ОФРi}$, мг	0,29722482	0,28111	0,237449	0,225846	0,096517
$К_{M2i}$	0,760949227	0,69076	0,485789	0,431405	0,03243
$К_{K2i}$	0,642021534	0,566367	0,416186	0,31967	0,022964

Из рис. 6 видно, что использование второго метода для проведения внутривенных инфузий повышает их качество, что достигается обеспечением заданного значения КО в ОФР в начале проведения процедур. Исключение составляет лишь ФР4, на озонирование которого было израсходовано наибольшее количество озона (табл. 6), а постоянная времени разложения озона в этом растворе имеет наименьшее значение (табл. 4).

При реализации процедуры внутривенной инфузии ОФР ***третьим методом***, расчет масс озона, израсходованных на озонирование ФР, произведем по выражению [12]:

$$M_{O3\,ФР\,i} = Q_{ОКС} \cdot \left(C_{З\,ОКС} \cdot \tau_{Б(3)\,ФР} + C_{Ф\,ОКС\,i} \cdot \tau_{БФ\,ФР\,i} \right), \quad (13)$$

где $\tau_{Б(3)\,ФР}$ = 3 мин – продолжительность предварительного барботирования ОКС ФР перед оценкой растворимости озона в ФР [10];

$C_{Ф\,ОКС\,i}$ – КО в ОКС для форсирования процесса насыщения озоном i-го образца ФР;

$\tau_{БФ\,ФР\,i}$ – продолжительность барботирования ОКС i-го образца ФР с форсированием (при необходимости) процесса его насыщения озоном.

Масса озона, полученная пациентом в этом случае, может быть определена как

$$M_{O3\,ПАЦ\,ФР\,i} = V_{ОФР} \cdot C_{З\,ФР\,i}. \quad (14)$$

Результаты расчета показателей и коэффициентов, характеризующих внутривенную инфузию при третьем методе проведения процедуры сведены в табл. 7, а столбиками белого цвета на рис. 6 представлены значения интегрального коэффициента качества процедуры.

Использование третьего метода проведения процедур внутривенной инфузии позволяет существенно повысить их качество (см. табл. 7 и рис. 6, столбики белого цвета), даже в тех случаях, когда ФР плохо озонируется и озон в нем быстро разлагается.

Таблица 7

Параметры и коэффициенты процедур внутривенной инфузии при их реализации третьим методом

Массы озона и коэффициенты	Физиологические растворы				
	ФР0	ФР1	ФР2	ФР3	ФР4
$C_{Ф\,ОКС\,i}$, мг/л	23,34401294	26,03549	19,65443	39,85647	34,79897
$\tau_{БФ\,ФР\,i}$, мин	03:22	03:48	08:08	03:43	04:46
$M_{O3\,ФРi}$, мг	37,10293095	43,22577	61,44819	57,84443	63,18807
$K_{Э3i}$	0,803304056	0,780778	0,72351	0,733837	0,718677
$M_{O3\,ПАЦ\,ОФРi}$, мг	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
$K_{М3i}$	1	1	1	1	1
$K_{К3i}$	0,803304056	0,780778	0,72351	0,733837	0,718677

Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

– процессы растворения озона в физиологическом растворе и разложения озона в озонированном физиологическом растворе могут быть достаточно точно аппроксимированы экспоненциальными функциями;

– использование экспоненциальных моделей процесса растворения озона в физиологическом растворе и разложения озона в нем позволяет осуществлять анализ этих процессов и получать необходимые данные, которые имеют коэффициент корреляции с экспериментальными данными не ниже 0,99;

– для оценки качества процедур внутривенной инфузии озонированного физиологического раствора достаточно учитывать лишь две составляющие: медицинскую результативность и экономическую эффективность;

– третий метод проведения процедур внутривенной инфузии (предложенный ранее авторами данной статьи) позволяет обеспечивать достаточно высокое их качество, не смотря на отличия показателей растворимости озона в различных физиологических растворах и разные скорости разложения озона в этих растворах.

Список литературы

1. Масленников О.В. Практическая озонотерапия: Пособие. / О.В. Масленников, К.Н. Конторщикова. – Н. Новгород: Изд-во «Вектор – ТиС», 2003. – 52 с.

2. Хвисюк М.І. Озонотерапія для неврологів та вертебрологів / М.І. Хвисюк, В.О. Малахов, В.В. Ганічев, І.М. Пасюра. – Харків: ХМАПО, Українська асоціація озонотерапевтів і виробників медобладнання, 2002. – 256 с.

3. Калиновская Н.И. Практические аспекты озонирования физиологического раствора / Н.И. Калиновская, С.Н. Буранов, О.В. Вахнина и др. // Казанский медицинский журнал. Приложение к № 4, 2007. – Том LXXXVIII. – С. 299-301.

4. Масленников О.В. Озонотерапия. Внутренние болезни / О.В. Масленников, К.Н. Конторщикова. – Н. Новгород: «Вектор-ТиС», 2003. – 132 с.

5. Бояринов Г.А. Растворимость и распад озона в физиологическом растворе / Г.А. Бояринов, А.С. Гордецов // Нижегородский медицинский журнал. – 2000. – № 2. – С. 40-45.

6. Назаров Е.И. Проблема поддержания концентрации озона в физиологическом растворе, дистилляте и ее решение в озонотерапевтическом комплексе «Бозон» / Е.И. Назаров // Вестник физиотерапии и курортологии. – 2004. – № 5, Т. 10. – С. 31-35.

7. Назаров Е.И. Новая линия генераторов медицинского озона в семействе «Бозон» / Е.И. Назаров // Вестник физиотерапии и курортологии. – 2006. – № 5, Т. 12. – С. 73-76.

8. Глухенькая Т.А. Моделирование процессов озонирования физиологического раствора и разложения озона в нем / Т.А. Глухенькая, А.В. Кипенский, Е.И. Король, Е.И. Назаров // Матеріали II Всеукр. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування», 10-11 грудня 2015 р., м. Харків. – Х.: ТОВ «В справі», 2015. – С. 29-30.

9. Основные показатели эффективности медицинской деятельности // Электронный журнал «Отдельные вопросы экономики» [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: http:www.ekonomika-st.ru/ekonomika/ekonomika-zdrav/ekonomika-zdrav-24-3.html.

10. Глухенькая Т.А. Экспертная оценка медицинской эффективности процедур внутривенной инфузии озонированного физиологического раствора / Т.А. Глухенькая, А.В. Кипенский, Е.И. Король // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування». – Харків: ФОП Панов А.М., 2016. – С. 37-39.

11. Кипенский А.В. Разработка метода корректной дозировки озона в процедурах внутривенной инфузии озонированного физиологического раствора / А.В. Кипенский, Т.А. Глухенькая // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Зб. наук. праць. Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 36(1079). – С. 161-172.

12. Глухенькая Т.А. Новый метод озонирования физиологического раствора и его внутривенной инфузии / Т.А. Глухенькая, А.В. Кипенский, Е.И. Король, Е.И. Назаров // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Зб. наук. праць. Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 25(1197). – С. 36-44.

Поступила в редколлегию 28.11.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Г. Аврунин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

АНАЛІЗ ПРОЦЕДУР ВНУТРІШНЬОВЕННОЇ ІНФУЗІЇ ОЗОНОВАНОГО ФІЗІОЛОГІЧНОГО РОЗЧИНУ ТА ОЦІНКА ЇХ ЯКОСТІ

Т.А. Глухенька, А.В. Кіпенський, Е.І. Король, Е.І. Назаров

За результатами експериментальних досліджень процесів розчинення і розкладання озону в різних зразках фізіологічного розчину, який застосовується для проведення процедур внутрішньовенної інфузії, запропоновані експоненціальні моделі цих процесів. Достовірність моделей оцінювали коефіцієнтом кореляції, який у всіх випадках виявився не нижче 0,99. Для оцінки якості процедур внутрішньовенної інфузії запропоновано інтегральний показник, що враховує медичну результативність та економічну ефективність. Показано, що запропонований авторами метод коректного дозування озону, дозволяє забезпечувати досить високу якість процедур навіть у тих випадках, коли фізіологічний розчин погано озонується та озон в ньому швидко розкладається.

Ключові слова: *озонотерапія, внутрішньовенна інфузія, коефіцієнт якості, ефективність процедури, математична модель.*

ANALYSIS OF INTRAVENOUS INFUSION PROCEDURES OF OZONIXED PHYSIOLOGICAL SOLUTION AND ASSESSMENT OF THEIR QUALITY

T.A. Glukhenka, A.V. Kipenskyi, I.I. Korol, E.I. Nazarov

According to the results of experimental researches of dissolution and decomposition of ozone processes in various samples of saline, which is used for the treatment of intravenous infusion proposed exponential models of these processes. The accuracy of the models was evaluated by correlation coefficient, which in all cases was not below 0,99. To assess the quality of intravenous infusion procedures it was offered an integral indicator taking into account the medical effectiveness and economic efficiency. It is shown that the proposed method is the correct dosage of ozone, it allows to provide a sufficiently high quality of the procedures, even in cases when saline is badly ozonized and ozone is quickly decomposed.

Keywords: *ozone therapy, intravenous infusion, a quality factor, efficiency of procedures, mathematical model.*