

А. В. Потапов, И. А. Архаров

**ИССЛЕДОВАНИЕ АБСОРБЦИИ КСЕНОНА
ВОДНО-ЭМУЛЬСИОННЫМИ РАСТВОРАМИ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ЖИРНОСТИ**

Приведены результаты исследования зависимости абсорбционных свойств ксенона от жирности водно-эмульсионной среды, в которой он был растворен. Показано, что подобная корреляция существует и с высокой степенью точности может быть аппроксимирована линейной зависимостью.

Ключевые слова: ксенон, абсорбция, растворы, жирность.

В 1999 г. ксенон был официально разрешен для клинического использования в России в качестве газа для наркоза [1]. За десять лет использования ксенона в медицине, в частности в анестезиологии, этот газ проявил себя не только как абсолютно безопасное и высокоэффективное средство для наркоза, прекрасный анестетик, но и как многоцелевой лекарственный препарат, обладающий кардио-, нейро-, гепато- и радиопротекторными свойствами. На фоне ксенона успешно проводятся сеансы полихимио- и радиотерапии у онкологических больных, при этом практически нивелируется пагубное действие химических препаратов, основным побочным эффектом которых являются приступы тошноты и рвоты, кратность которых иногда достигает 40... 50 раз в день. Широкое применение ксенона сдерживается главным образом из-за его дороговизны и сложности рекуперации, так как обычно ксенон используют в газообразном виде в качестве дыхательной смеси. Недавно врачи-онкологи, применяющие ксенон в своей лечебной практике, предложили использовать его в форме готовых жиросодержащих растворов, в которых ксенон присутствует в растворенном виде.

Ксенон — благородный газ без цвета и запаха относится к группе инертных газов, при нормальных условиях не вступает во взаимодействие с другими веществами, за исключением фтора, и не образует химических соединений [2]. Физические свойства ксенона изучены достаточно полно, однако некоторые данные требуют уточнений и проверки. Данные о растворимости ксенона в различных средах довольно подробно приведены в литературе. Например, результаты экспериментальных исследований по определению растворимости ксенона в соляных растворах представлены в работе [3], воде — [4–7], крови — [8–10], оливковом масле — в работе [11] и различных биологических жидкостях, в том числе липидах — [12]. Однако экспериментальные данные получены для конкретных растворов и распространить их на соединения более широкого класса не представляется возможным, а обобщающие зависимости отсутствуют. Так, для воды при температуре 25 °С и атмосферном давлении абсорбция ксенона составляет

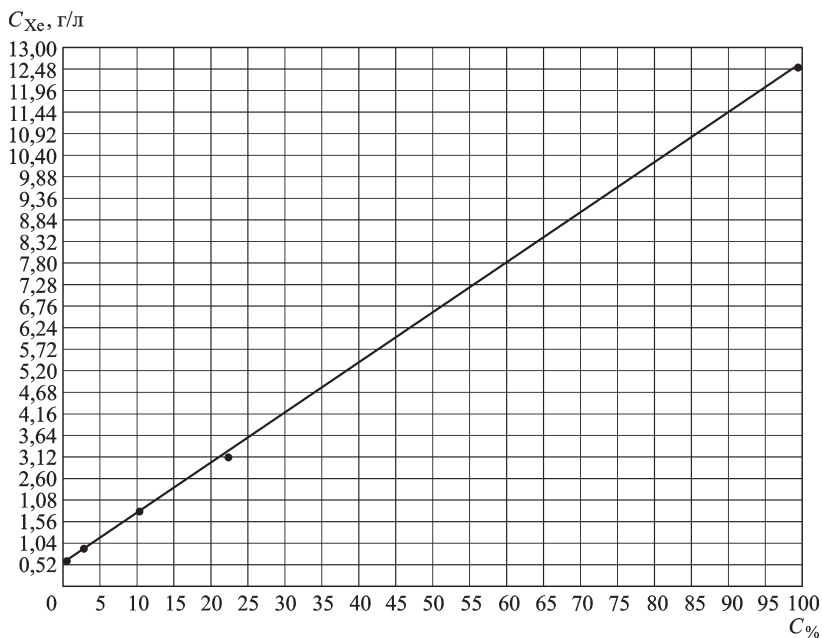
порядка 0,1 л ксенона газа на 1 л воды. Для крови это значение варьируется от 0,114 до 0,2 л ксенона на 1 л воды. Значение отношения растворимости ксенона в воде и жиросодержащих растворах, например масле или липидах, по различным литературным данным достигает 20. Можно предположить, что абсорбционная способность ксенона в значительной степени зависит от жирности растворителя. Как показал литературный поиск, опубликованных данных по абсорбции ксенона в жидких средах с промежуточными значениями жирности нет вообще.

Растущий практический интерес к применению ксенона в растворенной форме, а также отсутствие экспериментальных данных по этой проблеме создало предпосылку для проведения исследования влияния жирности растворителя на абсорбционные свойства ксенона.

В качестве жидких сред с переменным значением жирности были использованы: вода, жирность которой принималась равной нулю; молоко и сливки с массовым содержанием жира 2,5, 10 и 22 %; рафинированное подсолнечное масло с максимальной жирностью, принятой равной 99 %.

Исследование абсорбции ксенона проводилось следующим образом. Исследуемую жидкость помещали в закрытую термостатируемую систему, в которой поддерживалась температура в $24,0 \pm 0,5$ °С при атмосферном давлении 740...760 мм. рт. ст. Система представляла собой стеклянный цилиндр переменного объема с поршнем, герметично прилегающим к стенкам цилиндра и способным передвигаться вдоль его оси. После удаления из цилиндра остатков воздуха в сосуд подавался чистый ксенон объемом, в два-три раза превышающим объем образца исследуемой жидкости. Далее в условиях закрытой системы между исследуемой жидкой средой и ксеноном устанавливалось термодинамическое равновесие. При этом вследствие протекания абсорбционных процессов наблюдалось уменьшение объема газовой фазы. Для установления парожидкостного равновесия для различных сред достаточно временного промежутка от 5 до 30 мин, однако для исключения погрешности, связанной с неравновесностью, это значение было увеличено до 60 мин [13]. По истечении 60 мин процесс насыщения исследуемой жидкости ксеноном считался завершенным, остатки газовой фазы удаляли и проводили количественный анализ содержания ксенона в насыщенной жидкости.

Для определения концентрации газа, растворенного в жидкости, была применена официально зарегистрированная методика измерений массовой концентрации ксенона в жидких растворах методом парофазного газохроматографического анализа [14]. Суть метода заключается в том, что, используя химическую информацию, содержащуюся в газовой фазе, можно судить о качественном и количественном составе контактирующей с ней конденсированной фазы. Основа методики — это способ многократной неполной газовой экстракции, заключающийся в частичном извлечении из жидкости растворенного в ней газа (ксенона) и проведении газохроматографического анализа полученной газовой фазы, основой которой служит нейтральный газ-носитель



Зависимость массовой концентрации равновесного раствора ксенона от жирности растворителя

гелий. Данная процедура повторялась несколько раз с полным замещением образовавшейся в процессе установления равновесия газовой фазы свежим буферным газом. Затем в соответствии с методикой обрабатывали полученные хроматограммы, и по расчетным формулам определяли массовую концентрацию и коэффициент растворимости ксенона в исследуемых жидких средах. В рамках исследования было выполнено 25 экспериментов, по 5 измерений для каждого значения жирности растворителя. Результаты измерений массовой концентрации ксенона показаны точками вместе с аппроксимирующей их кривой на рисунке (максимальная погрешность измерения не превышает 15 %).

Проведенное экспериментальное исследование влияния массового содержания жира в среде-растворителе на равновесную абсорбцию ксенона показало, что массовая концентрация равновесного раствора ксенона в жидкости прямо пропорциональна ее жирности и с высокой степенью точности для рассмотренных условий может быть аппроксимирована линейной зависимостью $C_{Хе\text{мас}} = 0,635 + 0,12C_{\%}$ во всем диапазоне измерений. В предложенной зависимости $C_{Хе\text{мас}}$ — массовая концентрация ксенона, г/л; $C_{\%}$ — массовая доля жира в растворителе, %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б у р о в Н. Е., П о т а п о в В. Н., М а к е е в Г. Н. Ксенон в анестезиологии. Клинико-экспериментальные исследования. – М.: Пульс, 2000.

2. А х м е т о в Н. С. Неорганическая химия. – М.: Высш. шк., 1975.
3. G o s t a A k e r l o f. The solubility of noble gases in aqueous salt solutions at 25°C // J. Am. Chem. Soc., 1935. – Vol. 57(7). – P. 1196–1201.
4. H i m m e l b l a u D. M. Solubilities of inert gases in water 0°C to near the critical point of water // J. Chem. Eng. Data, 1960. – Vol. 5(1). – P. 10–15.
5. R o b e r t W. P o t t e r, M i c h a e l A. C l y n n e. The solubility of the noble gases He, Ne, Ar, Kr, and Xe in water up to the critical point // J. of Solution Chemistry. – 1978. – Vol. 7. No. 11.
6. S m i t h S. P., K e n n e d y B. M. The solubility of noble gases in water and in NaCl brine // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1983. – Vol. 47. Issue 3. – P. 503–515.
7. B r a i b a n t i A. et. al. Solubility of inert gases and liquid hydrocarbons in water // J. of Solution Chemistry. – 1995. – Vol. 24. No. 7.
8. G o t o T. et. al. The blood-gas partition coefficient of xenon may be lower than generally accepted // British J. of Anaesthesia. – 1998. – Vol. 80. – P. 255–256.
9. Y e h S. Y., P e t e r s o n R. E. Solubility of krypton and xenon in blood, protein solutions, and tissue homogenates // J. of Applied Physiology. – 1965. – Vol. 20. – P. 1041–1047.
10. M u e h l b a e c h e r C. A., D e B o n F. L., F e a t h e r s t o n e R. M. Further studies on the solubilities and cyclopropane in blood and protein solutions // Molecular Pharmacology. – 1966. – Vol. 2. – P. 86–89.
11. L a d e f o g e d J., A n d e r s e n A. M. Solubility of xenon-133 at 37C in water, saline, olive oil, liquid paraffin, solutions of albumin and blood // Physics and Medical Biology. – 1967. – Vol. 2. – P. 353–358.
12. K i t i a n i K. Solubility coefficients of 85krypton and 133xenon in water, saline, lipids, and blood // Scandinavian Journal of Clinical Laboratory Investigation. – 1972. – Vol. 29. – P. 167–172.
13. Х а х е н б е р г Х., Ш м и д т. Газохроматографический анализ равновесной паровой фазы. – М.: Мир, 1979. – 160 с.
14. М е т о д и к а выполнения измерений № 242/135-07. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.

Статья поступила в редакцию 26.03.2009

Александр Владимирович Потапов родился в 1986 г., окончил в 2008 г. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Аспирант кафедры “Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 5 научных работ и двух изобретений в области абсорбции и медицины.

A.V. Potapov (b. 1986) graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 2008. Post-graduate of “Refrigerating and Cryogenic Technology, Systems of Conditioning and Lifesupport” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 5 publications and 2 inventions in the field of absorption and medicine.

Иван Алексеевич Архаров родился в 1963 г., окончил в 1986 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана и в 1988 г. МГУ им. М.В. Ломоносова. Д-р техн. наук, профессор кафедры “Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 100 научных работ в области физики низких температур и теплофизики магнитных явлений.

I.A. Arkharov (b. 1963) graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 1986 and the Lomonosov Moscow State University in 1988. D. Sc. (Eng.), professor of “Refrigerating and Cryogenic Technology, Systems of Conditioning and Lifesupport” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 100 publications in the field of cryophysics and thermal physics of magnetic effects.

