

ФИЗИКА ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ КИСЛОРОДТРАНСПОРТНОЙ ФУНКЦИИ КРОВИ

Билецкая Е.С., Лепеев В.О., Тоустева Д.А., Зверко Э.В., Зинчук В.В.

УО «Гродненский государственный медицинский университет»

Актуальность. «Физика организма человека» описывает процессы, происходящие в живой системе, основываясь на законах физики и действия физических факторов, обуславливает важную роль в проявлении физиологической активности тканей, органов и систем, регуляции процессов жизнедеятельности [1]. В основе физиологического действия магнитного поля лежит вызываемое им изменение состояния клеточных мембран и связанных с мембранами ферментативных и рецепторных молекул, повышение проницаемости плазмолеммы клеток [2].

Озон (O_3) является важной частью биосферы: до 90% его содержится в стратосфере, а 10% – в тропосфере, что очень важно для защиты от жесткого ультрафиолетового облучения, формирования парникового эффекта, окислительного потенциала среды [3]. Однако кроме экологического фактора он относится и к средствам практической медицины, обладая разнообразием лечебных эффектов. O_3 обладает большим разнообразием физиологических эффектов, в том числе влияет на систему крови. Взаимодействие NO и H_2S имеет значение для модификации сродства гемоглобина к кислороду (СГК) через образование различных дериватов гемоглобина, для модулирования внутриэритроцитарной системы, формирования кислородсвязывающих свойств крови, а также опосредовано через системные механизмы реализации функциональных свойств гемоглобина.

Цель исследования – выявить вклад физических факторов в модификацию кислородтранспортной функции крови.

Методы исследования. В эксперименте использовали белых крыс самцов массой 250-280 г. Животные содержались в одинаковых условиях вивария в клетках на стандартном пищевом режиме и свободном доступе к воде. Все этапы исследования проводились с разрешения комиссии по биомедицинской этике.

Кровь была разделена на 4 экспериментальные группы, по 10 проб в каждой: 1-я контрольная – вводили 0,9%-й раствор хлорида натрия. В кровь остальных вводили озонированный 0,9% $NaCl$ с концентрацией O_3 2 мг/л (2-я), 6 мг/л (3-я), 10 мг/л (4-я). Время инкубации составило 30 и 60 минут. Физиологический раствор барбатировался озоно-кислородной смесью при помощи озонотерапевтической установки УОТА-60-01-Медозон (Россия). В качестве источника МП использовали прибор «HemoSpok» (ООО «МагмоМед»).

Показатели кислородтранспортной функции крови, такие как напряжение кислорода (pO_2), степень оксигенации (SO_2) определяли при 37°C на газоанализаторе Stat Profile pH/Ox plus L. Сродство гемоглобина к кислороду

(СГК) оценивали спектрофотометрическим методом по показателю $p50$ (pO_2 крови при 50% насыщении ее кислородом). По формулам Severinghaus рассчитывали значение $p50_{\text{станд}}$ и положение КДО.

Результаты и их обсуждение. В экспериментах *in vitro*, получены данные, свидетельствующие о влиянии МП на КТФ крови, проявляющуюся в уменьшении СГК (на 120 сек показатель $p50_{\text{реал}}$ увеличивается с $38,9 \pm 1,36$ до $43,8 \pm 0,86$ мм рт.ст., $p < 0,05$, значение $p50_{\text{станд}}$ возрастает с $35,5 \pm 1,07$ до $38,7 \pm 0,55$ мм рт.ст., $p < 0,05$) и увеличении содержания общих нитрат/нитритов в плазме крови (данный показатель возрастает с $7,32 \pm 0,34$ до $8,61 \pm 0,41$ мкмоль/л). Важно отметить, что при введении ингибитора фермента NO-синтазы (L-NAME) в условиях действия МП не было выявлено данных изменений (значение $p50_{\text{реал}}$ $38,1$ ($36,7; 39,4$) мм рт.ст., $p < 0,05$).

При инкубации крови различной концентрацией озона отмечается выраженный рост напряжения кислорода. Так в группе с концентрацией озона 2 мг/л этот параметр возрастает с $22,2$ [$19,6; 23,3$] до $24,7$ [$21,9; 28,7$] ($p < 0,05$) мм рт. ст. при экспозиции 30 минут и с $22,1$ [$19; 23,1$] до $24,7$ [$21,4; 28,5$] ($p < 0,05$) мм рт. ст. при экспозиции 60 минут. При наибольшей концентрации (10 мг/л) озона отмечается наибольший прирост pO_2 до $31,4$ [$29,2; 33,4$] ($p < 0,05$) мм рт. ст. при экспозиции 30 минут и до $30,9$ [$28,6; 32,9$] ($p < 0,05$) мм рт. ст. при экспозиции 60 минут. Подобная тенденция наблюдается и по отношению к степени насыщения крови кислородом, которая возрастает до $39,2$ [$37,6; 40,7$] ($p < 0,05$) % при экспозиции 30 минут и до $38,7$ [$36,8; 40,8$] ($p < 0,05$) % при экспозиции 60 минут в сравнении с контролем. Показатель значения СГК $p50_{\text{реал}}$ при воздействии данным фактором возрастает. Отмечается его увеличение при концентрации озона 2 мг/л с $28,9$ [$27,2; 31,3$] в контроле, до $31,6$ [$28,6; 36,1$] ($p < 0,05$) мм рт. ст. (при экспозиции 30 минут) и с $28,4$ [$27,3; 29,3$] в контрольной группе до $32,2$ [$28,5; 37,9$] мм рт. ст. ($p < 0,05$) (при экспозиции 60 минут), что свидетельствует о сдвиге кривой диссоциации оксигемоглобина вправо. Схожая динамика изменений была и по показателю $p50_{\text{станд}}$. При этом его значения возрастали с $26,8$ [$26,2; 31,7$] до $31,8$ [$27,1; 33,6$] ($p < 0,05$) мм рт. ст. при экспозиции 30 минут и с $26,8$ [$26,2; 30,8$] до $32,2$ [$27,2; 32,8$] ($p < 0,05$) мм рт. ст. при экспозиции 60 минут. С увеличением концентрации озона отмечается большая степень возрастания СГК и соответственно большая степень сдвига кривой диссоциации оксигемоглобина вправо. Как видим, полученные данные свидетельствуют об увеличении таких показателей кислородтранспортной функции крови, как $p50$, pO_2 , SO_2 .

Суммарное содержание нитрат/нитритов в плазме крови в группах с концентрацией озона 2 мг/л, 6 мг/л, 10 мг/л увеличивается до $19,76$ [$17,28; 26,51$] ($p < 0,05$), $26,43$ [$25,07; 35,35$] ($p < 0,05$), $33,12$ [$30,07; 38,14$] ($p < 0,05$) мкмоль/л, соответственно, в сравнении с контролем ($17,05$ [$16,77; 18,72$] мкмоль/л). Уровень другого газотрансмиттера H_2S также возрастает с $4,43$ [$3,46; 4,7$] до $5,43$ [$4,62; 6,92$] ($p < 0,05$) (концентрация 2 мг/л), $6,89$ [$6,39; 8,08$] ($p < 0,05$) (концентрация 6 мг/л), $7,58$ [$7,11; 8,7$] ($p < 0,05$) мкмоль/л (концентрация 10 мг/л).

КТФ крови обеспечивает адаптивные процессы к гипоксии через долгосрочные и краткосрочные механизмы. Изменение СГК имеет важное

значение в формировании кислородсвязывающих свойств крови и обеспечивает приспособление организма к постоянно меняющимся потребностям в кислороде. Важной составляющей которых являются внутриклеточные факторы (2,3-дифосфоглицерат, рН и другие). В целом состояние кислородсвязывающих свойств есть результат модулирующего действия различных аллостерических эффекторов, обеспечивающих адаптацию к гипоксии. СГК определяется в значительной степени взаимодействием между гемопротеидом и различными физиологическими модуляторами, которые в совокупности на уровне клеточного компартмента крови образуют внутриэритроцитарную систему регуляции.

Изменения функциональной активности тканей под действием МП обусловлены как непосредственно перестройкой клеточной организации мембран, так и опосредовано через системные реакции организма [2]. Действие МП изменяет конформацию макромолекул, липопротеидных комплексов мембран эритроцитов, модифицируя функциональные свойства данных клеток крови, в частности, через NO-ергические механизмы и циклические превращения NO. Как известно, в эритроцитах локализован особый фермент NO-синтаза, активность которого важна для реализации NO-зависимого механизма действия МП на кислородсвязывающие свойства крови.

Выявленный нами эффект озона на СГК реализуется как непосредственно через вклад в функционирование систем цистеин/цистин и L-аргинин-NO, так и через модификацию функциональных свойств гемоглобина. Газотрансмиттер NO является аллостерическим эффектором СГК. Наблюдаемый рост газотрансмиттеров (NO, H₂S), отмечаемый в наших опытах, несомненно, вносит вклад в изменение кислородтранспортной функции крови.

Вывод. Таким образом, результаты собственных исследований свидетельствуют о том, что такие физические факторы, как озон и магнитное поле, могут оказывать воздействие на ряд физиологических функций организма, в частности, на кислородзависимые процессы. Очевидно, наблюдаемое противогипоксическое действие физических факторов реализуется при участии внутриэритроцитарных газотрансмиттерных механизмов, что обосновывает их применение во врачебной практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герман И. Физика организма человека: Пер. с англ.: Научное издание / И. Герман – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. – 992 с.
2. Магнитотерапия: теоретические основы и практическое применение / В.С. Улащик [и др.] под общ. ред. В.С. Улащика. – Минск : Белорус. наука, 2015. – 379 с.
3. Чекман, И.С. Озон и озонирование: Монография / И.С. Чекман, А.О. Сыровая, В.А. Макаров, В.В. Макаров, В.В. Лапшин, Е.В. Шаповал. – Х: «Цифрова друкарня № 1», 2013. – 144 с.