

УДК 612.215.5.014.424

ПРОНИКНІСТЬ ГЕМАТО-ЕНЦЕФАЛІЧНОГО БАР'ЕРА ПІД ВПЛИВОМ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ

Л. В. Поляшук

Кафедра патологічної фізіології Одеського сільськогосподарського інституту

Проникність гемато-енцефалічного бар'єра в нормі та при експериментальній патології докладно описана в літературі [4, 13, 14, 19, 20, 25]. Є відомості про вплив іонізуючої радіації на проникність гемато-енцефалічного бар'єра [8, 23, 26, 32].

З питання про вплив фізичних агентів на функціональний стан гемато-енцефалічного бар'єра літературні дані досить суперечливі. Так, за одними даними [7], під впливом високочастотного поля діатермії підвищується проникність йоду, саліциловокислого натрію і трипанової сині крізь гемато-енцефалічний бар'єр. За іншими спостереженнями [22], діатермія не змінює проникності колоїдних барвників крізь бар'єр.

Файтельберг-Бланк та ін. [18] відзначили, що струми діатермії змінюють проникність серозних бар'єрів. Вплив інших високочастотних електромагнітних полів на проникність гемато-енцефалічного бар'єра зовсім не вивчений.

Ультразвукові коливання дістали широке застосування в сучасній біології, ветеринарії, медицині як один з методів лікування тварин і людини та як засіб впливу на біомакромолекули організму [9, 10, 12, 29 та ін.]. Проте вплив високочастотного ультразвуку на функціональну здатність гемато-енцефалічного бар'єра зовсім не досліджений.

Ми вивчали дію ультразвукових опромінення різної інтенсивності і тривалості впливу на проникність гемато-енцефалічного бар'єра (ГЕБ).

Методика досліджень

Досліди проведені на 79 кроликах. Для вивчення ГЕБ був застосований метод радіоактивної індикації. Радіофосфор у вигляді двозаміщеної фосфорнокислої солі ($\text{Na}_2\text{HPO}_4^{32}\text{O}_4$) вводили інтраперитонеально кроликам з розрахунку 45 $\mu\text{Ci}/\text{kg}$. Потім через 60 хв кроликів умертвляли електричним струмом і вилучали наважки з різних ділянок головного мозку — черв'ячка, півкулі мозочка, сірої і білої речовини головного мозку, чотиригорбикового тіла, нюхальної цибулини, довгастого мозку, зорових бугрів, епіфіза, гіпофіза (шийного, грудного і поперекового відділів). Паралельно з крайової вени вуха кроликів вилучали наважки крові через 10—20—60 хв після введення в організм розрахункової концентрації P^{32} . Брали також наважки легень, м'язів стегна і переднього грудного м'яза. Активність досліджуваних тканин визначали на стандартній установці Б-2 згідно з розрахунками за таблицею Белла. Ультразвукові коливання генерувались апаратом УТП з частотою 880 kc і довжиною хвилі 2 cm . Досліджували вплив ультразвукового опромінення інтенсивністю 0,3—0,6—1,0—1,6 $\text{вт}/\text{cm}^2$ тривалістю 5—10 хв області голови, а також епігастральної ділянки на проникність гемато-енцефалічного і гісто-гематичного бар'єра. Одержані дані оброблені методом варіаційної статистики.

Результати досліджень

Досліди показали, що проникність гемато-енцефалічного і гісто-гематичного бар'єра для радіофосфору у звичайних умовах досить інтенсивна, причому ступінь проникності P^{32} у різних тканинах головного мозку різний. Так, найбільше фосфору відкладається в епіфізі, далі у

гіпофізі, у довгастому мозку і зоровому бугрі. Значне відкладання радіоактивного фосфору відзначене в легенях, менше — у передньому грудному і в стегновому м'язі. У спинному мозку найбільше радіофосфору відкладається у грудному відділі, менше у поперековому і в шийному (див. таблицю).

Вміст P^{32} в тканинах головного і спинного мозку, м'язів і легень під впливом звукового опромінення області голови інтенсивністю $1,0 \text{ вт/см}^2$ протягом 10 хв

Досліджуваний орган	% включення P^{32} в нормі		% включення P^{32} в досліді		t	p
	M	$\pm m$	M	$\pm m$		
Черв'ячок	1,81	0,1	1,80	0,2	0,04	$< 0,1$
Півкулі мозочка	1,67	0,06	1,89	0,1	2,0	$> 0,05$
Сіра речовина	1,92	0,1	1,98	0,1	0,9	$< 0,1$
Біла речовина	1,63	0,1	1,93	0,1	2,1	$> 0,05$
Чотиригорбикове тіло	1,69	0,1	1,63	0,2	1,5	$< 0,1$
Нюхові цибулини	1,96	0,1	2,20	0,3	0,7	$< 0,1$
Довгастий мозок	3,55	0,2	5,15	0,1	7,2	$< 0,001$
Епіфіз	56,59	2,5	9,19	0,2	17,6	$< 0,001$
Гіпофіз	45,51	2,4	6,48	0,5	15,9	$< 0,001$
Зорові бугри	2,17	0,3	2,06	0,1	0,3	$< 0,1$
Спинний мозок (шийний відділ)	2,04	0,4	12,01	0,6	13,7	$< 0,001$
Спинний мозок (грудний відділ)	2,94	0,06	9,52	0,5	13,1	$< 0,001$
Спинний мозок (поперековий відділ)	2,57	0,1	7,11	0,2	20,6	$< 0,001$
Легені	18,24	0,9	44,92	1,0	20,0	$< 0,001$
Стегновий м'яз	2,40	0,08	8,97	0,3	21,9	$< 0,001$
Передній грудний м'яз	8,32	0,7	19,57	0,4	14,0	$< 0,001$

Під впливом ультразвукових коливань інтенсивністю $0,3 \text{ вт/см}^2$ тривалістю 5 хв на область голови проникність гемато-енцефалічного бар'єра для радіофосфору значно збільшується. Так, вміст P^{32} в черв'ячку мозочка збільшується у середньому до $6,25\%$ ($T=26,11$; $p<0,001$) у нормі $1,81\%$; у півкулях мозочка кількість P^{32} становить у середньому $6,69\%$ при нормі $1,67\%$ ($T=25,0$; $p<0,001$). Значне збільшення P^{32} відзначене в сірій речовині головного мозку і становить у середньому відповідно $8,27$ — $7,99\%$ при нормі $1,92$ — $1,63\%$ ($T=21,1$; $p<0,001$; $T=27,6$; $p<0,001$).

У чотиригорбиковому тілі вміст P^{32} під впливом ультразвуку становить у середньому $9,1\%$ при нормі $1,69\%$ ($T=23,15$; $p<0,001$). В нюхових цибулинах кількість P^{32} становила $6,27\%$ при нормі $1,96\%$ ($T=26,9$; $p<0,001$). У довгастому мозку виявлено $7,19\%$ радіофосфору при нормі $3,55\%$ ($T=12,3$; $p<0,001$). В епіфізі він становить у середньому $76,84\%$ при нормі $56,59\%$ ($T=5,59$; $p<0,001$); у зоровому буг-

рі — $6,28\%$ при нормі $59,31\%$ ($T=21,42$; $16,28$; $1<0,001$). У легенях (нормі $p<0,001$), у стегновому грудному м'язі (нормі $p<0,001$), у шийному грудному м'язі (нормі $p<0,001$).

Під впливом ультразвуку на область голови і тіла мозку і гісто-

приблизно так впливає на проникність гемато-енцефалічного бар'єра для радіофосфору. В півкулях мозочка кількість P^{32} становить у середньому $6,69\%$ при нормі $1,67\%$ ($T=25,0$; $p<0,001$). Значне збільшення P^{32} відзначене в сірій речовині головного мозку і становить у середньому відповідно $8,27$ — $7,99\%$ при нормі $1,92$ — $1,63\%$ ($T=21,1$; $p<0,001$; $T=27,6$; $p<0,001$).

рі — 6,28% при нормі 2,17% ($T=11,3$; $p<0,001$), а в гіпофізі у середньому 59,31% при нормі 45,51% ($T=4,9$; $p<0,001$). У шийному, грудному і поперековому відділах спинного мозку відкладається відповідно 21,42; 16,28; 11,31% радіоактивного фосфору ($T=30$; 36,6; 17,7; $p<0,001$). У легенях вміст P^{32} становить у середньому 46,65% ($T=20,9$; $p<0,001$), у стегновому м'язі — 6,78% ($T=21,1$; $p<0,001$), а в передньому грудному м'язі 12,23 ($T=5,3$; $p<0,001$).

Під впливом ультразвуку інтенсивністю $0,6 \text{ вт/см}^2$ протягом 5 хв на область голови вміст радіоактивного фосфору в тканинах головного мозку і гісто-гематичних бар'єрах збільшується щодо норми (рис. 1)

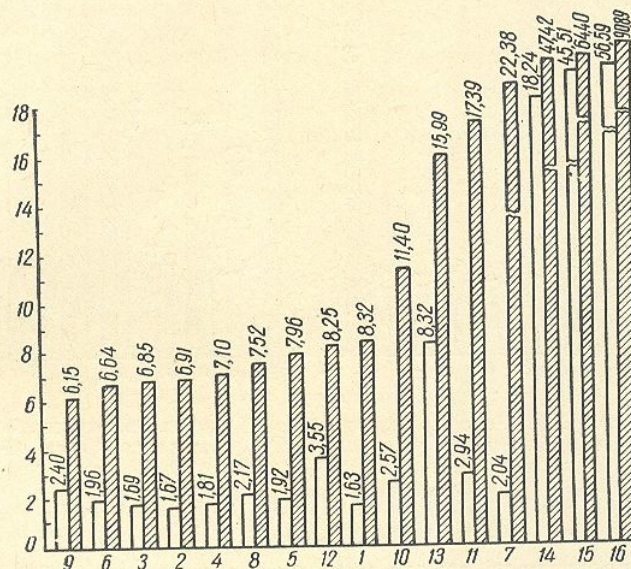


Рис. 1. Вміст P^{32} в тканинах головного і спинного мозку, м'язів і легень під впливом ультразвукового опромінення області голови інтенсивністю $0,6 \text{ вт/см}^2$ протягом 5 хв.

По вертикалі: % включення радіофосфору; по горизонталі: 1 — біла речовина, 2 — півкулі мозочка, 3 — чотиригорбкове тіло, 4 — черв'ячок, 5 — сіра речовина, 6 — нюхові цибулини, 7 — спинний мозок (шийний відділ), 8 — зорові бугри, 9 — стегновий м'яз, 10 — спинний мозок (поперековий відділ), 11 — спинний мозок (грудний відділ), 12 — довгастий мозок, 13 — зовнішній грудний м'яз, 14 — легені, 15 — гіпофіз, 16 — епіфіз. Білі стовпці — вміст радіофосфору в нормі, заштриховані — під впливом ультразвуку.

приблизно так само, як і при інтенсивності $0,3 \text{ вт/см}^2$ при тій же тривалості впливу. Вплив ультразвуку інтенсивністю $1,0 \text{ вт/см}^2$ при п'ятихвилинній експозиції на область голови викликає деяке зниження проникності досліджуваних бар'єрів, проте в епіфізі та різних ділянках спинного мозку вміст P^{32} підвищується значно більше, ніж у нормі, але значно менше, ніж при впливі ультразвуку інтенсивністю $0,3\text{—}0,6 \text{ вт/см}^2$ при тій самій тривалості. Кількісний вміст радіофосфору в черв'ячку і в півкулях мозочка також нижчий, ніж у нормі. В інших досліджуваних тканинах мозку вміст радіоактивного фосфору нижчий, ніж у нормі.

Вплив ультразвуку інтенсивністю $1,6 \text{ вт/см}^2$ протягом 5 хв на область голови викликає в більшості тканин головного мозку зменшення вмісту радіоактивного фосфору, тоді як гематичні бар'єри (м'яз стегна

і передній грудний м'яз) збільшують свою проникність для радіоактивного фосфору (рис. 2).

При подовженні тривалості дії ультразвуку інтенсивністю $1,0 \text{ Вт/см}^2$ до 10 хв на область голови ми не виявили закономірних однонаправ-

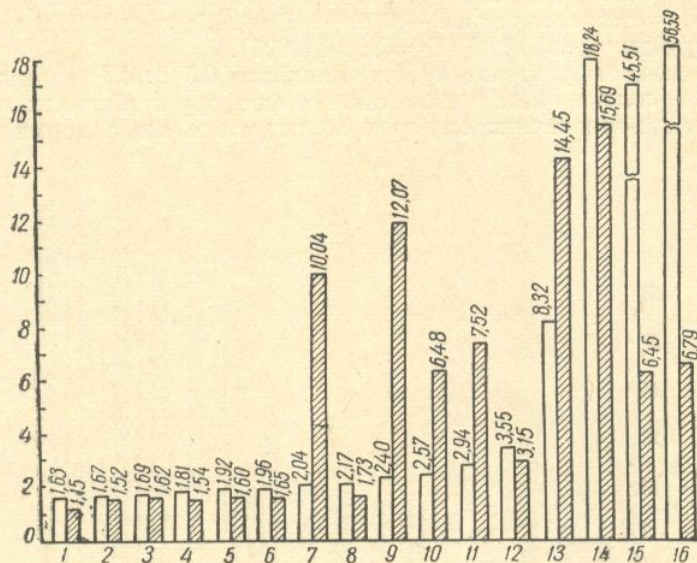


Рис. 2. Вміст P^{32} в тканинах головного і спинного мозку, м'язів і легень під впливом ультразвукового опромінення області голови інтенсивністю $1,6 \text{ Вт/см}^2$ протягом 5 хв.

Умовні позначення див. рис. 1.

лених змін проникності гемато-енцефалічного бар'єра. В одних тканинах головного мозку вміст радіофосфору збільшується (у півкулях мозочка, в різних відділах спинного мозку, в білій речовині, нюхових цибулинах, у довгастому мозку), тоді як в ендокринних залозах (епіфізі і гіпофізі) вміст радіофосфору зменшується, а в черв'ячку, сірій речовині головного мозку, чотиригорбиковому тілі відкладання P^{32} майже не відрізняється від норми.

Дещо інакше відбувається зміна проникності гематичних бар'єрів під впливом згаданого дозування ультразвуку. Вміст радіофосфору в передньому грудному і стегновому м'язах кролика, а також у легенях значно збільшується щодо норми (див. таблицю).

При впливі ультразвуку потужністю $1,0 \text{ Вт/см}^2$ тривалістю 5 хв на епігастральну область відзначається статистично достовірне зменшення кількості P^{32} в черв'ячку, в сірій і білій речовині головного мозку, в чотиригорбиковому тілі та довгастому мозку, зоровому бугрі, епіфізі і гіпофізі. У різних відділах спинного мозку і гематичних бар'єрах вміст радіоактивного фосфору збільшується (рис. 3).

Обговорення результатів досліджень

Наші дані показали, що під впливом ультразвуку змінюється проникність гемато-енцефалічного і гісто-гематичного бар'єрів для радіоактивного фосфору. Ступінь і спрямованість змін проникності зале-

жать, як показав ультразвук на
Максимальна
стає при впливі

п'ятихвилинній
ратурними дан
ня всмоктуван
під впливом та
зали, що висо
хвилинний впл
бар'єра.

Одержані
рів [1, 6, 17], я
або незначно з

Видимо, ви
ність гісто-гем
званого стрес
дані про знач
внутрішньої се
показали, що
(легень і м'яз
гається з пол
никності гем
факторів зовн
[3], які описал
і гематичного
направлених н
радіофосфору
сприймати ул

Зміна про
развукових ко

жать, як показали наші дані, від інтенсивності і тривалості впливу ультразвуку на організм.

Максимальне підвищення проникності досліджуваних бар'єрів настає при впливі ультразвуку в невеликих дозах (0,3—0,6 вт/см^2) при

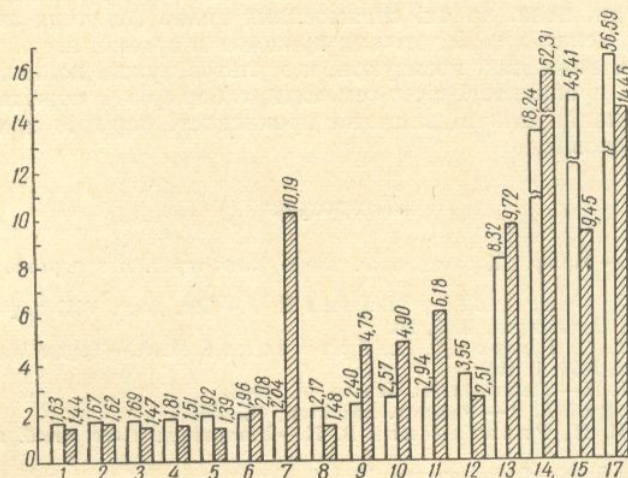


Рис. 3. Вміст P^{32} в тканинах головного і спинного мозку, м'язів і легень під впливом ультразвукового опромінення епігастральної області інтенсивністю 1,0 вт/см^2 протягом 5 хв.

Умовні позначення див. рис. 1.

п'ятихвилинній експозиції. Ці наші спостереження узгоджуються з літературними даними [2, 15, 16, 31, 34], в яких відзначено чітке підвищення всмоктування з серозних оболонок і шлунково-кишкового тракту під впливом такої самої дози ультразвуку. Одержані нами дані показали, що високі дози ультразвуку (1,0—1,6 вт/см^2), а також десятихвилинний вплив дещо пригнічують проникність гемато-енцефалічного бар'єра.

Одержані нами дані узгоджуються з спостереженнями ряду авторів [1, 6, 17], які встановили, що великі дози ультразвуку пригнічують або незначно змінюють обмін речовин в організмі.

Видимо, високі дози ультразвуку меншою мірою змінюють проникність гісто-гематичних бар'єрів внаслідок напруження організму, так званого стрес-фактора. На користь такого припущення свідчать наші дані про значне нагромадження радіоактивного фосфору в залозах внутрішньої секреції (гіпофізі і епіфізі). Наші спостереження також показали, що проникність енцефалічного бар'єра і гематичних бар'єрів (легень і м'язів) при озвучуванні різними дозами неоднакова. Це збігається з положенням Штерн [24], яка відзначала різний ступінь проникності гемато-енцефалічного і гематичного бар'єрів під впливом факторів зовнішнього середовища, та з дослідженнями Кассіля та ін. [3], які описали різну спрямованість проникності гемато-енцефалічного і гематичного бар'єрів під впливом різних доз рентгенівських променів, направлених на голову тварин. Слід припустити, що різне поглинання радіофосфору тканинами головного мозку залежить від їх здатності сприймати ультразвукові коливання.

Зміна проникності гемато-енцефалічного бар'єра під впливом ультразвукових коливань здійснюється, видимо, внаслідок механічного, тер-

мічного і специфічного впливу ультразвуку, про що свідчать праці ряду авторів [11, 21, 28, 33, 35]. Одержані нами дані про різний ступінь проникності бар'єрів для радіоактивного фосфору під впливом озвучування різних рефлексогенних зон організму (область голови та епігастральна ділянка) узгоджуються з спостереженнями [5, 17, 27], в яких показано, що рефлекторні поля, на які спрямований вплив фізичних агентів, визначають зрушення в фізіологічних процесах в організмі.

Одержані нами дані показують, що ультразвукові коливання ефективні у зміні проникності гісто-гематичних бар'єрів і можуть бути застосовані в клініці для підвищення проникності бар'єрів при введенні лікарських речовин.

Література

1. Вибе К. Г.—Матер. Казахск. респ. конф. физио-терап. и курортол., Караганда, 1967, 65.
2. Вибе К. Г., Файтельберг-Бланк В. Р.—Тез. докл. VIII научн. конф. по животновод., Целиноград, 1967, 25.
3. Кассиль Г. Н., Петров С. И., Грушицкий М. А.—Труды Ин-та физиол. Наркомпроса, 1934, 1, 155.
4. Кассиль Г. Н.—Гемато-энцеф. барьер, М., 1963.
5. Киричинский А. Р.—Рефлект. физиотер., К., 1959.
6. Крылов И. П., Ракитянский В. И.—Ультразвук и его лечеб. примен., М., 1958.
7. Милицин В. А.—Физиотерапия, 1928, 2, 113.
8. Могилянський Б. Н., Подляшук Л. Д.—Изв. АН СССР, 1930, 883.
9. Свадковская Н. Ф.—Тез. научной сессии Гос. ин-та физиотерапии, М., 1957, 32.
10. Сиротина М. Ф.—Матер. научн. конфер. по вопр. биофиз. и механ. действия ионизир. радиации, К., 1960, 161.
11. Смирнов М. К.—Вопр. курортол., физиотер. и ЛФК, 1958, 6, 512.
12. Сперанский А. П., Марцвеладзе И. А.—Бюлл. exper. биол. и мед., 1961, 51, 5, 101.
13. Росин Я. А.—Нейро-гумор. регул. и гематознц. барьер, М., 1961.
14. Тарусов Б. Н., Утевская Л. Б.—Бюлл. exper. биол. и мед., 1944, 18, 6, 47.
15. Файтельберг-Бланк В. Р.—В сб.: Физиол. и патол. пищевар. сист., М., 1963, 131.
16. Файтельберг-Бланк В. Р.—Физиол. журн. АН УРСР, 1964, 5, 647.
17. Файтельберг-Бланк В. Р.—Исслед. физиол. механ. действия высокочастот. физич. агентов на процессы всас. в желуд.-кишечн. тракте. Автореф. докт. дисс., Л., 1965.
18. Файтельберг-Бланк В. Р., Гордиенко В. Е., Чолак И. Ф.—В сб.: Гисто-гематич. барьеры, М., 1969, 147.
19. Хволес Г. Я.—Труды IV Всес. съезда физиол., Харьков, 1930, 250.
20. Цейтлин С. М.—Бюлл. exper. биол. и мед., 1936, 1, 1, 80.
21. Шпильберг П. И.—Уч. зап. Моск. ин-та гигиены, 1963, 11, 51.
22. Штерн Л. С., Цейтлин С. М., Рапопорт Я. Л.—В сб.: Гемато-энц. барьер, М.—Л., 1935.
23. Штерн Л. С., Рапопорт С. Я., Громаковская М. М., Зубкова С. Р.—Биофизика, 1957, 2, 2, 187.
24. Штерн Л. С.—Докл. на Всес. научн.-техн. конф. по применению радиоакт. и стабильных изотопов и излуч. в народ. хоз. и науке, М., 1957, 18.
25. Штерн Л. С.—Непосред. питат. среда органов и тканей. Физиол. механ., определ. ее состав и свойства. Избр. труды, М., 1960.
26. Штерн Л. С.—В сб.: Гисто-гемат. барьеры и иониз. радиац., М., 1963, 5.
27. Щербак А. Е.—Бюлл. Гос. центр. ин-та им. Сеченова, 1933, 1, 5.
28. Эльпинер И. Е.—Журн. общей биол. АН СССР, 1954, 15, 1, 18.
29. Эльпинер И. Е.—Акуст. журн., 1960, 6, 3, 399.
30. Яценко М. И.—В сб.: Научн. работы Ивановского мед. ин-та, 1961, 174.
31. Schliephake E.—Der Ultraschall in der Medizin, Yena, 1949.
32. Spiegel E., Quastler H.—Wiener med. Wochenschr., 1931, 52, 1059.
33. Szent-Györgyi A.—Nature, 1935, 131, 27, 278.
34. Thom H.—Einführung in der Kurzwellen, München—Berlin, 1959.
35. Weisler A.—Acoust. Soc. Amer., 1960, 32, 10, 1208.

Надійшла до редакції
7.VIII 1970 р.

PERMEABILITY OF HEMATO-ENCEPHALIC BARRIER UNDER THE EFFECT
OF SUPERSONIC VIBRATIONS

L. V. Polyashuk

Department of Pathological Physiology, Agricultural Institute, Odessa

Summary

Permeability of hemato-encephalic and hematic barriers under the effect of supersonic vibrations was studied in 79 rabbits by means of radiophosphorus. The content of intraperitoneally injected P^{32} in a dose of 44 μ /kg in tissues of brain and spinal cord, lungs, anterior pectoral and femoral muscles was studied as affected with supersonic irradiation of head and epigastric area for 5 and 10 min with the intensity of 0.3; 0.6; 1.0; 1.6 W/cm². It was established that the permeability degree of the investigated barriers depends on the dosage of supersonic, reflexogenous zone and duration of the action.