УДК 577.4:599.32.629.12

Л. М. Шафран, Е. Б. Янушевська

АДАПТАЦІЙНІ ЗМІНИ ЕЛЕКТРОЛІТНОГО СКЛАДУ ТКАНИН БІЛИХ ЩУРІВ, ЯКІ ПЕРЕБУВАЛИ НА СУДНАХ В РЕЙСАХ

В основі формування пристосувальних реакцій організму до екстремальних впливів лежать зміни регулювальної діяльності нейро-ендокринної системи, які, в кінцевому наслідку, реалізуються внутріклітинним шляхом. У зв'язку з цим зручним об'єктом для вивчення процесів адаптації є електроліти, розподіл яких з одного боку, залежить від функціонального стану нейро-ендокринної системи, з іншого — від інтенсивності процесів внутріклітинного метаболізму.

Незважаючи на порівняно велику кількість праць по вивченню змін електролітного обміну в процесі адаптації організму людини і тварин до дії різних несприятливих факторів зовнішнього середовища [1, 2, 5, 6], роль виробничих умов у таких змінах вивчена недостатньо, а вплив факторів специфічного середовища судна порушується лише в окремих дослідженнях [3, 4, 10]. Ми вивчали зміни електролітного балансу при адаптації організму до динамічного комплексу несприятливих впливів на суднах у рейсах і при моделюванні провідних факторів далекого плавання в умовах лабораторії.

Методика досліджень

Досліди провадились на 95 безпородних білих щурах-самцях вагою 200—220 *г*. Частина тварин перебувала на суднах в рейсах протягом 45—50 діб. Причому, дослідження проводились на суховантажних суднах, де провідним несприятливим фактором є дія високих температур при плаванні в тропіках та їх перепадів при переході з однієї кліматичної зони в іншу, а також газовозах з переважним впливом на організм токсичного фактора (аміак). Тварин щодня ставили на 4 *год* на робочі місця палубної команди, оскільки саме ця професійна група плавскладу зазнає дії змінних факторів зовнішнього середовища в плаваннях. Решту часу тварини перебували в комфортних умовах жилих суднових приміщень.

Дослідження вмісту електролітів у тканинах проводили відразу після повернення судна з рейсу. Враховуючи вплив складного комплексу різних за природою факторів на організм під час плавання, для вивчення провідних із них було проведено експеримент в лабораторних умовах, в процесі якого одна група тварин зазнавала інгаляційних отруєнь аміаком у концентрації 80±3,2 *мг/м*^{3}, а інша — дії високих температур (32—34° С). Решту часу тварини перебували, як і контрольна група, в умовах віварію з температурою повітря 18—20° С. Для запобігання утворенню аміаку в клітинах використовували торфяні підстилки. Годівля і питний режим у всіх тварин були ідентичні.

Щурів декапітували на 6, 14, 30, 60 і 90 добу. Кількість Na і K визначали на полум'яному фотометрі типу ВПФ-ВТІ. Концентрацію електролітів у плазмі і еритроцитах виражали в міліеквівалентах на 1 *л*, а в печінці, серці і литковому м'язі — в міліеквівалентах на 1 *кг* сирої тканини.

Результати досліджень

Дослідження показали, що під впливом комплексу екстремальних факторів зовнішнього середовища, таких як перепад температур до 30—40° С, шум, вібрація тощо у лабораторних тварин, які перебували в рейсі на суховантажних суднах, спостерігались значні зрушення в електроліт-

ному обміні. Підвищувалась концентрація Na в еритроцитах (на 46,3%), водночас вміст Na у всіх досліджуваних тканинах, як видно з даних, наведених у таблиці, різко зменшувався. У плазмі концентрація К збільшувалась, а в еритроцитах зменшувалась. У всіх тканинах, крім скелетних м'язів, вміст К збільшувався.

У тварин, які перебували на суднах-газовозах, направленість змін концентрації електролітів у тканинах і в еритроцитах подібна описаній, але ступінь зниження вмісту Na в тканинах менший, ніж у щурів першої

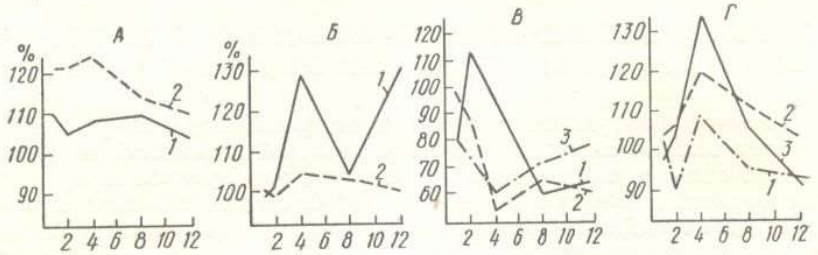

Рис. 1. Зміни концентрації електролітів у крові і тканинах білих щурів, які зазнали переривчастого впливу високої температури.

По вертикалі—концентрація електролітів по відношенню до контролю (в %); по горизонталі — тривалість дії досліджуваного фактора в тижнях. *А* — концентрація Na (*1*) і К (*2*) в плазмі, *Б* — в еритроцитах; *В* — концентрація Na в печінці (*1*), серці (*2*), литковому м'язі (*3*); *Г* — концентрація К в тих самих органах.

групи. Підвищення концентрації К в печінці і литковому м'язі більш виражене. Коефіцієнт $K_{пл}/Na_{пл}$ збільшився в результаті значного підвищення концентрації К в плазмі.

Для визначення можливого впливу на показники електролітного обміну провідного несприятливого фактора було проведено експеримент в лабораторних умовах. Результати дослідження довели, що у тварин, які зазнавали дії перепаду температур, ступінь і характер змін балансу електролітів досліджуваних тканин залежить від тривалості впливу (рис. 1). Так, на сьомий день експерименту достовірне зниження концентрації Na в печінці і скелетних м'язах супроводжується гіпернатріємією. Ступінь змін концентрації Na в досліджуваних органах зростає із збільшенням тривалості впливу до другого місця експерименту. Протягом цього ж періоду зберігається гіперкаліємія і гіпернатріємія. Кон-

Зміни концентрації електролітів у крові (в *мекв/л*) і тканинах (в *мекв/кг* сирої ваги)

Група тварин	Статистичні показники	Плазма		Еритроцити	
		Na	К	Na	К
Газовозні судна	*M*	157,8	6,75	10,58	63,2
	$\pm m$	±1,63	±0,08	±0,43	±0,06
	p_1	>0,5	<0,001	<0,01	<0,001
Суховантажні судна	*M*	174,6	5,80	11,56	65,1
	$\pm m$	±0,98	±0,15	±0,29	±1,76
	p_1	<0,001	<0,02	<0,001	<0,05
	p_2	<0,001	<0,001	>0,1	>0,2
Контрольна група	*M*	157,1	5,24	7,90	69,7
	$\pm m$	±1,33	±0,13	±0,21	±0,94

Примітка. p_1 — по відношенню до контрольної групи тварин; p_2 — між результа

центрація К в органах, яка зрос
кінця експерименту лише в серц
ється збіднення еритроцитів калі
ну в тканинах тварин в лабора
найбільше відповідає зрушенням,
умовах на 45—50 добу рейсу.

У тварин, які зазнавали впл
менту відзначається перерозпо

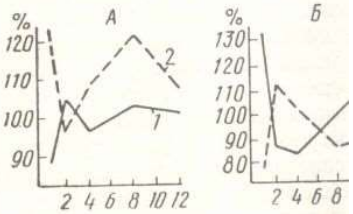

Рис. 2. Зміни концентрації електролітів
реривчаст
Умовні по

ситуації: збільшення внутріклі
14 день експерименту зміни ко
еритроцитах були протилежног
дібної картини різна в досліджу
значне збільшення коефіцієнта
виникла. Порівняння досліджув
лись на газовозі в рейсі, з спос
експерименті, свідчать про одно
тролітів, починаючи з 14 дня в
рейсі, гіперкаліємія була вира
того, значно знизився коефіці
пов'язано з дією всього комплек
вані показники.

білих щурів, які зазнавали впливу ком

Печінка		
Na	К	Na
21,8	89,4	18,6
±0,34	±1,30	±0,7
<0,001	<0,001	<0,0
17,8	80,7	15,4
±1,77	±2,59	±0,8
<0,01	<0,01	<0,0
<0,05	<0,02	<0,0
26,9	70,1	24,0
±0,22	±0,35	±0,3

тами у тварин на газовозних і сухова

центрація К в органах, яка зросла до 30 дня впливу, зберігається до кінця експерименту лише в серцевому м'язі. На цей же час відбувається збіднення еритроцитів калієм. Характер змін електролітного обміну в тканинах тварин в лабораторному експерименті на 60—90 добу найбільше відповідає зрушенням, спостережуваним у тварин в суднових умовах на 45—50 добу рейсу.

У тварин, які зазнавали впливу аміаку, на першому тижні експерименту відзначається перерозподіл електролітів, властивий стресовій

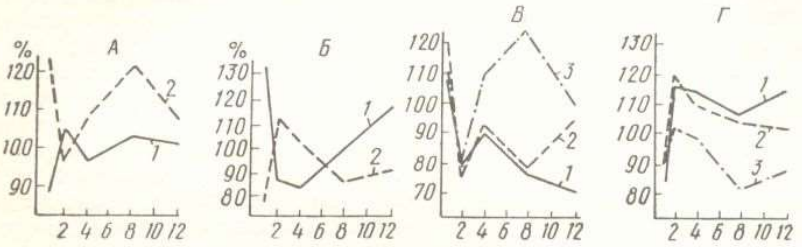

Рис. 2. Зміни концентрації електролітів у крові і тканинах білих щурів, які зазнали переривчастого впливу аміаку.
Умовні позначення див. рис. 1.

ситуації: збільшення внутріклітинного Na і зниження К (рис. 2). На 14 день експерименту зміни концентрації електролітів у тканинах і в еритроцитах були протилежного характеру. Тривалість зберігання подібної картини різна в досліджуваних органах. Для плазми характерне значне збільшення коефіцієнта $K_{пл}/Na_{пл}$, в зв'язку з гіперкаліємією, яка виникла. Порівняння досліджуваних показників у тварин, що знаходились на газовозі в рейсі, з спостережуваним у щурів в лабораторному експерименті, свідчать про однотипність характеру змін розподілу електролітів, починаючи з 14 дня впливу. Проте у щурів, які перебували в рейсі, гіперкаліємія була виражена більше. У тварин цієї групи, крім того, значно знизився коефіцієнт K/Na в еритроцитах. Це, очевидно, пов'язано з дією всього комплексу несприятливих факторів на досліджувані показники.

білих щурів, які зазнавали впливу комплексу несприятливих факторів під час рейсів

Печінка		Серце		Литковий м'яз	
Na	K	Na	K	Na	K
21,8	89,4	18,6	64,8	17,6	91,1
±0,34	±1,30	±0,79	±2,14	±0,24	±1,81
<0,001	<0,001	<0,001	<0,02	<0,01	<0,05
17,8	80,7	15,4	57,1	14,3	83,8
±1,77	±2,59	±0,81	±2,34	±0,79	±0,94
<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,001	>0,1
<0,05	<0,02	<0,02	>0,5	>0,1	<0,01
26,9	70,1	24,0	57,9	19,7	85,8
±0,22	±0,35	±0,33	±0,43	±0,33	±1,06

тами у тварин на газовозних і сухованта жних суднах.

Обговорення результатів досліджень

Одержані дані свідчать про наявність виражених змін балансу електролітів у тварин, які перебували в рейсах. Мабуть, спостережувані зрушення носять загальний компенсаторно-пристосувальний характер. Причому, рівень комплексного впливу несприятливих факторів зовнішнього середовища протягом досліджуваного періоду, очевидно, слід вважати адекватним і фізіологічно переносним. Про це, зокрема, свідчить той факт, що в тканинах тварин, які перебували в плаванні, рівень К зберігається досить високим. Літературні дані [9, 14] підтверджують можливість такої інтерпретації одержаних нами результатів. Тому в умовах лабораторного експерименту належало не лише виявити динаміку змін електролітного складу під впливом провідних несприятливих факторів суднового середовища, але й відповісти на питання про характер спостережуваних нами зрушень залежно від тривалості впливу.

Дослідження впливу аміаку і високих температур у цьому експерименті дало змогу простежити фазність спостережуваних зрушень та їх дійсно адаптаційний характер. Розподіл електролітів у перші дні експерименту характеризується змінами, властивими кожному фактору, який діє. Так, перерозподіл мінеральних речовин при дії високої температури становить гомеостатичну реакцію-відповідь електролітів, типовість якої описана в літературі [7, 11]. У цей же період досліджень зміни показників електролітного обміну у тварин, які зазнавали дії аміаку, очевидно, зумовлені, з одного боку, безпосередньо дією іонів амонію на обмінні процеси в клітині [12, 19], а з іншого — підвищеною активністю симпатоадреналової системи [15, 16], що закономірно настає в початковому періоді впливу на організм екстремальних факторів [17].

У другій стадії розвитку адаптаційного процесу (2—6 тижнів) серед різноманітності одержаних результатів внаслідок дії таких різних за природою факторів, як аміак, перепад температур, можна, поряд з суто специфічними реакціями на дію певного фактора, виділити зміни, які характеризують загальний механізм адаптації організму з боку електролітів. У цей період впливу у всіх досліджуваних тканинах і еритроцитах відбувається нагромадження іонів К і зниження Na. Це, очевидно, зумовлено перебудовою метаболізму, для забезпечення високого рівня якого необхідне нагромадження внутріклітинного К [8]. Подібна спрямованість змін розподілу електролітів спостережувана у тварин під час рейсу, наводить на думку про компенсаторно-пристосувальний характер змін балансу електролітів у рейсовій групі тварин.

Порівняння результатів змін електролітного складу тканин і еритроцитів свідчить про паралелізм змін у ранні строки експерименту у тварин, які зазнали впливу аміаку. Починаючи з другого місяця досліджень відбувається нагромадження вмісту Na і зменшення К в еритроцитах, що, за літературними даними, свідчить про зниження енергетичної активності клітини [13]. Очевидно, дане явище слід розглядати як початок процесу дизадаптації внаслідок перенапруження регуляторних систем. В результаті дії комплексу несприятливих факторів значної інтенсивності ступінь дизаадаптаційних реакцій найбільш виражений у щурів, які перебували в рейсах на суднах-газовозах.

Отже, проведені в природних і модельних умовах експериментальні дослідження показують, що під впливом несприятливих факторів зовнішнього середовища в дальньому плаванні відбуваються істотні зміни електролітного обміну в тканинах, які носять адаптаційний характер. Спостережувані зрушення можуть лежати в основі функціональних змін різних органів і систем, що розвиваються у моряків під час плавання.

Л і

1. Афанасьев Б. Г., Лебеде
Жестковский В. А. О соде
мече в условиях Арктики. — Ла
2. Гительман Е. И. Влияние вы
цаемость и водно-электролит. со
3. Килимник Б. П. Некоторые с
ционном рейсе. — В сб.: Актуа
спорте, К., 1970, 29.
4. Плисов Г. А. Роль гормонов к
ма моряков к плаванию в тропи
5. Покровский А. А., Завал
рушений минерального обмена
Косм. биология и авиакосм. ме
6. Юнусов А. Ю. Высокая темпе
7. Юнусов А. Ю. Характер ада
климатических зон. — В кн.: А
Новосибирск, 1970, 138.
8. Asimou I., Lemon H. M., R
9. Cannon P. R., Prasier L. E.,
10. (Ejsmont W.) Эйсмонт В.
исследований, проведенных Ин
нар. симпоз. по морской медиц
11. (Kerpel-Fronius) Керпель-Ф
обмена, Будапешт, 1964.
12. Krebs H. A., Eggleston L.
ver rate of potassium in brain ar
13. (Pendl F.) Пендль Ф. Обм
кардиологии, М., 1959, 276.
14. Prinzmetal M., Ekmel A.
Pectoris.— Am. J. Cardiol., 195
15. Robertson W., Dunihue
muscle. — Amer. Physiol. J., 19
16. (Selye H.) Селье Г. Очерки о
17. (Selye H.) Селье Г. Экспер. к
18. (Szent-Györgyi) Сент-Дьер
щения. — В кн.: Достижения
19. Terner C., Egglesten L.
transport of potassium in brai

Токсикологічна лабораторія
Басейнової санепідстанції
Чорноморського водздороввідділу,

L. M. Shaf

ADAPTATION CHAN
OF ALBINO RAT T

Distribution of electrolytes (
rats was studied in the process
ring long voyages on dry-cargo
effect of the leading unfavourable
ning with ammonia) in the labor
ved disturbances is established. A
with the effect of factors differe
potassium and decrease in the s
disturbances may be a basis of th
often develop in seamen during vo

Toxicological Laboratory, Sanitar
Health Department of B
Water-Transport Wor

Література

1. Афанасьев Б. Г., Лебедев М. Д., Баженов М. Н., Бундюк О. И., Жестковский В. А. О содержании натрия и калия в плазме, эритроцитах и моче в условиях Арктики. — Лабораторное дело, 1973, № 3, 144.
2. Гительман Е. И. Влияние высокой температуры среды и сезонов года на проницаемость и водно-электролит. состав тканей крыс.— Автореф. дисс., Ташкент, 1974.
3. Килимник Б. П. Некоторые сдвиги водно-солевого обмена у моряков в экспедиционном рейсе. — В сб.: Актуальные вопросы здравоохранения на водном транспорте, К., 1970, 29.
4. Плисов Г. А. Роль гормонов коры надпочечников в процессе адаптации организма моряков к плаванию в тропиках. Автореф. дисс., Одесса, 1972.
5. Покровский А. А., Завалишина Р. А., Менендес А. Исследование нарушений минерального обмена у крыс в условиях длительной гипокинезии. — Косм. биология и авиакосм. медицина, 1974, 8, 14, 10.
6. Юнусов А. Ю. Высокая температура и водно-солевой обмен, Ташкент, 1969.
7. Юнусов А. Ю. Характер адаптации к высокой температуре у людей различных климатических зон. — В кн.: Адаптация к условиям аридной зоны. Зимняя спячка, Новосибирск, 1970, 138.
8. Asimou I., Lemon H. M., Reguera R. M. et al. J. biol. chem., 1951, 37, 355.
9. Cannon P. R., Prasier L. E., Hoghen R. H. Metabolism, 1952, 1, 371.
10. (Ejsmont W.) Эйсмонт В.—Проблема акклиматизации в жаркой полосе в свете исследований, проведенных Институтом морской медицины. — Труды III Междунар. симпоз. по морской медицине, М., 1968, 83.
11. (Kerpel-Fronius) Керпель-Фронинус Э. Патология и клиника водно-солевого обмена, Будапешт, 1964.
12. Krebs H. A., Eggleston L. V., Terner C.— In vitro measurements of the turnover rate of potassium in brain and retine. — Biochem. J., 1951, 48, 5, 530.
13. (Pendl F.) Пендль Ф. Обмен веществ сердца и терапия. — В кн.: Достижения кардиологии, М., 1959, 276.
14. Prinzmetal M., Ekmel A., Moyoshima H., Kwoczhynski W.— Angina Pectoris.— Am. J. Cardiol., 1959, 3, 175.
15. Robertson W., Dunihue F. W. Water and Electrolyte distribution in cardiac muscle. — Amer. Physiol. J., 1954, 177, 292.
16. (Selye H.) Селье Г. Очерки об адаптационном синдроме, М., 1960.
17. (Selye H.) Селье Г. Экспер. кардиопатии.— Кардиология, 1967, № 3, 72.
18. (Szent-Gyôrgyi) Сент-Дьердьи А. Общие взгляды на химию мышечного сокращения. — В кн.: Достижения кардиологии, М., 1959, 20.
19. Terner C., Egglesten L. V., Krebs H. A. The role of flutamic acid in the transport of potassium in brain and Retina. — Biochem. J., 1950, 47, 2, 139.

Токсикологічна лабораторія
Басейнової санепідстанції
Чорноморського водздороввідділу, Одеса

Надійшла до редакції
16.VII 1975 р.

L. M. Shafran, E. B. Janushevskaja

ADAPTATION CHANGES IN ELECTROLYTIC COMPOSITION OF ALBINO RAT TISSUES DURING VOYAGES ON SHIPS

Summary

Distribution of electrolytes (sodium and potassium) in blood and tissues of albino rats was studied in the process of adaptation to a complex of unfavourable effects during long voyages on dry-cargo ships and gas carriers as well as when modelling the effect of the leading unfavourable factors (the temperature differences and chronic poisoning with ammonia) in the laboratory experiment. The adaptation character of the observed disturbances is established. A common mechanism of electrolytes adaptation is found with the effect of factors different by nature, that is manifested in accumulation of potassium and decrease in the sodium content in the tissues. Evidently, the mentioned disturbances may be a basis of the functional shifts in different organs and systems which often develop in seamen during voyages.

Toxicological Laboratory, Sanitary Epidemiologic Station,
Health Department of Black Sea Basin
Water-Transport Workers, Odessa