

УДК 616.12-057:612.017.2:613.68

ПРОЦЕССЫ АДАПТАЦИИ У МОРЯКОВ В ДЛИТЕЛЬНОМ РЫБОПРОМЫСЛОВОМ РЕЙСЕ

© 2005 г. И. Л. Мызников, *Ф. А. Щербина

Медицинская служба Видяевского района базирования сил Северного флота,
пос. Видяево Мурманской обл.

*Государственный педагогический университет, г. Мурманск

Авторами проанализированы изменения в системе регуляции сердечно-сосудистой системы у моряков судовой команды большого автономного траулера «А. Стрельцов» в 120-суточном рыбопромысловом рейсе. В работе использованы методики многомерной статистики и прогнозирования в цепях Маркова. По результатам исследования можно вести речь об особенности экстракардиальной регуляции сердечного ритма у моряков в условиях хронического утомления, когда при функциональной перестройке одновременно повышается тонус симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы. Установлено, что ко второму месяцу рейса у моряков нарастает влияние гуморальных факторов в формировании приспособительных реакций к условиям плавания, в дальнейшем этот механизм уступает место преимущественно центральной регуляции, отражая напряжение физиологической адаптации у моряков на четвертом месяце рейса.

Ключевые слова: адаптация физиологическая, морская медицина, гемодинамика, ритм сердца, вегетативная нервная система.

Длительные рыбопромысловые рейсы связаны с непрерывной сменной климатических зон, длительным отрывом моряков от берега, формированием эмоционального напряжения, обусловленного организацией рабочего цикла [7, 10, 16]. Изменения функциональных характеристик организма в указанных условиях становятся результатом «физиологической платы» за напряженность адаптационного процесса [12, 16], ведущего к формированию хронического стресса [5] при отсутствии условий для полноценного восстановления в условиях повседневной рабочей деятельности моряков [10, 12, 16]. Производственная среда стимулирует изменения со стороны энергетических и метаболических процессов, отягощая и без того существенные адаптационные нагрузки, возникающие на фоне неблагоприятных факторов обитаемости судна и содержания рабочего цикла.

В настоящем исследовании нами проанализированы изменения со стороны сердечно-сосудистой системы (ССС), происходящие у моряков в период длительного рыбопромыслового рейса.

Объекты и методики исследования

Обследование судовой команды ($n = 20$), без учета моряков траловой команды, проведено на борту большого автономного траулера (БАТ) «А. Стрельцов» в 120-суточном рыбопромысловом рейсе¹, совершенном с апреля по август по маршруту: порт Мурманск → Баренцево море (I этап исследования, 9—12 суток) → Норвежское море (промысел рыбы в районе Фарерских о-вов) (II и III этапы исследования, соответственно 49—51 и 79—81 суток) → Баренцево море (IV этап, 115—118 суток). В период рейса на I этапе исследования волнение моря было сильным (4 балла), на остальных — умеренным (2 балла). Среднесуточная температура воздуха на всех этапах колебалась в пределах +5...+8 °С. Рабочий цикл был организован круглосуточным посменным несением вахт (4 часа через 8).

Моряки в возрасте 24—30 лет по результатам ежегодной медицинской комиссии были признаны годными для работы в плавающем составе флота.

Параметры центральной гемодинамики изучены по традиционным клиническим методикам исследования до и после вахты; регистрировались частота сердечных сокращений (ЧСС, мин⁻¹), систолическое (САД, мм рт. ст.), диастолическое (ДАД, мм рт. ст.) и пульсовое (ПАД, мм рт. ст.) артериальное давление. Рассчитывался индекс Мызникова: $ИМ = (САД/ДАД) \cdot ЧСС$ [3, 4].

¹ Экипаж БАТ «А. Стрельцов» находился в рейсе время, составляющее 73 % от предельно допустимого по нормам труда на море срока (приказ Минрыбхоза СССР от 27.05.1991 года № 177).

Электрофизиологические исследования проведены на одноканальном электрокардиографе «Малыш» ЭК-1-4Т во II стандартном отведении. По методике Р. М. Баевского с соавт. [1, 2] регистрировали 101 комплекс PQRS. Рассчитывали производные величины распределения кардиоинтервалов (вариационный размах (dX, сек.), значение моды (Мо, сек.) и величины амплитуды Мо (АМо, %)), индекс напряжения (ИН). Определяли вегетативный баланс в системах регуляции [2]: выраженное преобладание симпатической вегетативной нервной системы (ВНС) (+2), умеренное преобладание симпатической ВНС (+1), вегетативный гомеостаз сохранен или эутопия (0), умеренное преобладание парасимпатической ВНС (–1), выраженное преобладание парасимпатической ВНС (–2).

В связи с малочисленностью судовой команды в целях снижения дисперсии параметров исследования проводились по три дня подряд на каждом этапе. Такая серия принималась за одномоментное исследование, что позволило увеличить объем анализируемой выборки на каждом этапе в 3 раза.

Уровни значимости различий рассчитывались с использованием критерия t-Student для сопряженных пар наблюдений; сопряженными принимались значения случайной величины регистрируемого параметра одного и того же человека, соответствующие одному из трех дней каждой серии исследований. Корреляционные связи изучены по Spearman, факторный анализ произведен в процедуре Varimax [6, 13]. Прогноз по исходам адаптации смоделирован в цепях Маркова с точностью до 8-го знака после запятой на шаге, где матрица становится равновероятностной для всех исходных состояний [14].

Результаты и их обсуждения

Из данных табл. 1 видно, что между параметрами артериального давления и характеристиками синусового автоматизма (до вахты) у моряков сформировались прямые корреляционные связи различной степени выраженности. На первый — второй месяц рейса коррелировали ЧСС, САД, ПАД, ИМ, Мо и ИН. На второй — третий такое же число связей отличалось лишь тем, что вместо ПАД умеренная прямая связь была выявлена по ДАД. А вот на третий — четвертый месяц слабые и умеренные прямые связи установились между всеми учтенными параметрами. Учитывая, что новые характеристики в системе «среда — организм» связаны не столько с формированием новых свойств и качеств, сколько с изменением связи между уже имеющимися [8], можно предположить, что в результате адаптационного компромисса на последнем этапе рейса у моряков сформировалась функциональная система с более устойчивым (стереотипным) реагированием. Значение параметра на последующем этапе было обусловлено величиной предшествующего, что вытекает из результатов корреляционного анализа. Помимо этого следует обратить внимание на то, что на третий —

четвертый месяц рейса у моряков установилась умеренная прямая связь по dX (отражающего как вегетативный тонус, так и суммарный эффект влияния вегетативной нервной системы) и по АМо (обусловлена тонусом симпатического отдела вегетативной нервной системы). А корреляция ИН на III и IV этапе, имеющая величину $r = 0,647$, свидетельствует о взаимной обусловленности дисперсии ($r^2 = 0,419$, что $> 0,40$). Это также отражает напряжение в механизмах приспособительных реакций ССС, инициализацию физиологической адаптации у членов судовой команды.

Таблица 1
Корреляция между одноименными параметрами на этапах исследования

Параметр	Сравниваются параметры до вахты			Сравниваются параметры до и после вахты			
	I—II	II—III	III—IV	I	II	III	IV
ЧСС	0,349*	0,497**	0,405**	—	0,544**	—	0,691***
САД	0,464**	0,374*	0,379*	0,553***	0,620***	0,440**	—
ДАД	—	0,439**	0,326*	0,469**	0,601***	0,542***	0,390*
ПАД	0,358*	—	0,267*	—	0,640***	—	—
ИМ	0,400**	0,288*	0,483***	0,265*	0,449***	0,256*	—
dX	—	—	0,558***	—	0,485**	0,438**	0,594***
АМо	—	—	0,601***	—	—	0,441**	0,432**
Мо	0,442**	0,497**	0,397*	0,504**	0,547**	—	0,575***
ИН	0,279*	0,465***	0,647***	—	0,467***	0,568***	0,600***

Примечание. Значимость коэффициента корреляции: * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$.

Само несение вахты является дополнительной нагрузкой на организм моряков. Изменения параметров гемодинамики до и после вахты (см. табл. 1) на второй месяц рейса практически по всем ним (за исключением АМо) выявляют умеренную прямую связь. Корреляция по ПАД, косвенно отражающая гуморальный контур управления в ССС, была взаимно обусловлена.

При нарастании величины коэффициента корреляции по ИН (до — после вахты) на четвертом месяце рейса обнаружено возрастание роли центрального контура управления ССС (ЧСС $r = 0,691$, $r^2 = 0,478$, что $> 0,40$).

Значения коэффициента корреляции по ИМ, косвенно отражающего параметры метаболизма [3, 4], коррелировали на этапах исследования «до вахты», на второй — третий месяц рейса эта связь была слабой, что, возможно, вызвано переходным процессом. Переходные процессы обеспечивают достижение баланса в межсистемных отношениях ВНС для текущих и перспективных энергетических потребностей организма. Отсутствие связи по ИМ, характеризующей энергетические явления, до и после вахты на четвертый месяц рейса лишь подтверждает возросшую роль центральных механизмов регуляции ССС.

При анализе средних величин учитываемых параметров ССС выявлены различия (в сторону уменьшения величины) по САД и Мо на первый и второй месяц и по ИМ на третий и четвертый месяц рейса (все $p < 0,05$), а также по ряду параметров до и после вахты (табл. 2).

Таблица 2

Параметры центральной гемодинамики и ритмограммы синусового узла у моряков на этапах исследования ($X_{cp} \pm m_x$)

Параметр	Вахта	Месяц рейса			
		Первый	Второй	Третий	Четвертый
ЧСС	До	66,63±1,14	66,75±1,12	68,23±1,23	66,83±1,12
	После	67,95±0,96	65,05±1,14	67,18±1,17	65,81±1,14
САД	До	115,02±1,72	111,05±1,97	113,31±1,25	111,83±1,33
	После	114,6±1,81	113,86±1,46	113,8±1,42	111,5±1,56
ДАД	До	74,32±1,35	72,3±1,29	73,61±1,05	74,58±1,05
	После	76,13±1,37	72,91±1,27	73,51±1,11	75,16±1,25
ПАД	До	40,7±1,34	38,75±1,7	39,7±1,29	37,25±1,19
	После	38,46±1,39	40,95±1,34	40,28±1,06	36,33±1,23
ИМ	До	104,11±2,44	103,54±2,61	105,72±2,29	100,75±2,04
	После	103,21±2,13	102,92±2,70	104,5±2,04	98,13±1,96
dX	До	0,27±0,01	0,30±0,01	0,31±0,02	0,32±0,01
	После	0,26±0,01	0,25±0,01**	0,24±0,01**	0,24±0,01***
АМо	До	56,98±1,2	56,31±1,91	53,96±2,00	52,95±1,82
	После	63,53±1,90**	59,83±2,26	60,56±1,94**	60,1±2,15**
Мо	До	0,85±0,01	0,81±0,01	0,82±0,01	0,82±0,01
	После	0,84±0,01	0,85±0,01**	0,83±0,01	0,85±0,01*
ИН	До	148,38±12,57	151,44±16,43	158,64±20,37	131,42±14,21
	После	190,01±17,96	193,2±20,05*	212,92±22,60*	221,61±30,85**

Примечания: * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$; сравниваются параметры распределений до и после вахты на этапе исследования.

Сердечно-сосудистая система является весьма пластичной, реагирующей на многие внешние и внутренние возмущения, но и достаточно консервативной, что выражается в быстрой стабилизации отдельных ее параметров [15]. Из полученных результатов следует, что в длительном рейсе (при относительно устойчивых характеристиках сердечной деятельности) некоторые физиологические изменения происходят у моряков уже ко второму месяцу рейса, а более выраженные — к четвертому.

Рассматривая асимметрию (As) в распределении такой интегральной величины, как ИМ, на этапах исследования по соотношению показателей центра распределения ($As = (X_{cp} - Mo)/\sigma$ [13]), были обнаружены следующие особенности. Изменения среднего значения и моды происходили в пределах $\pm \sigma$. На I этапе исследования при островершинных распределениях (эксцесс (Ex) > 0) до и после вахты выявлена значительная As (соответственно $+0,85\sigma$ и $+0,75\sigma$). На II этапе, при сохраняющемся $Ex > 0$, выраженная As ($+0,87\sigma$) до вахты сменилась к концу ее на умеренную ($+0,33\sigma$). На III — эксцессивная кривая ($Ex > 0$) распределения ИМ при слабой отрицательной As ($-0,24\sigma$) до вахты после нее стала более плоской ($Ex < 0$), а As — умеренно положительной ($+0,44\sigma$). На IV этапе плосковершинные распределения ИМ до и после вахты имели сильно выраженную As ($+0,95\sigma$ и $+0,56\sigma$). Известно, что эксцессивные кривые демонстрируют, что максимальное число реализаций почти совпадает со значениями центра распределения. Физиологическая интерпретация подобных кривых связана с наличием повышенной устойчивости системы к внешним воздействиям (возмущениям), как бы внутреннему замыканию системы или, наоборот, с полным подчинением системы командам, идущим из нервных центров. Выраженность As свидетельствует о неустоявшемся режиме физиологической активности ССС у моряков.

Эксцессивность и выраженная левосторонняя As в распределении ИМ на первом месяце рейса отражает доминирование гуморального канала в поддержании параметров сердечной деятельности; а изменения знаков As и Ex на противоположные (до → после вахты) на третьем месяце — о повышении чувствительности функциональных систем у моряков на дополнительные стрессовые нагрузки (на вахту) при снижении роли центрального контура влияния на приспособительный результат (см. табл. 1).

Ритмологической особенностью второго месяца рейса стала слабая симпатическая реакция на вахту (до → после вахты), прошедшая по контурам центрального и гуморального каналов регуляции (dX , Mo). А на четвертом месяце рейса отмечена симпатическая реакция на вахту при более выраженном по сравнению с другими этапами парасимпатическом фоне (dX , Mo , $АМо$, $ИН$). Это, помимо данных, представленных в табл. 1 и 2, нашло свое подтверждение и в моделях факторного анализа (из-за громоздкости таблиц они здесь не приводятся).

По результатам исследования можно вести речь об особенностях экстракардиальной регуляции сердечного ритма у моряков в длительном рыбопромысловом рейсе, когда при функциональной перестройке одновременно повышается тонус симпатического и парасимпатического отделов ВНС.

Несмотря на ограниченный объем исследуемой выборки (60 наблюдений на каждом этапе), процесс все равно носил случайный характер.

Для изучения функциональной динамики изменений вегетативного тонуса на основе учета вероятности переходов в период вахты были построены матрицы переходов (до вахты → после вахты), эволюция которых проанализирована в цепях Маркова. В первый месяц рейса реакция организма моряков на вахту при моделировании динамики процесса переходов между состояниями вегетативного тонуса продемонстрировала на 16-м шаге преимущественное распределение исхода адаптации в умеренное преобладание симпатикотонии и эутонии ВНС (94,55 %): в группу с умеренно выраженной парасимпатикотонией (-1) — 5,45 %, в группу с эутонией (0) — 49,09 %, в группу с умеренно выраженной симпатикотонией ($+1$) — 45,46 %. Общая направленность реакций была смешанной. Во втором месяце процесс приспособления приобрел нормотоническую направленность, где вероятность перехода после достижения матрицей устойчивых значений на 6-м шаге составила: ($+2$) — 4,24 %, ($+1$) — 37,81 %, (0) — 50,88 % и (-1) — 7,07 %. То же наблюдалось и на третьем месяце, где вероятность перехода на 7-м шаге при достижении матрицей устойчивых значений составила: ($+1$) — 3,45 %, (0) — 49,37 %, (-1) — 43,73 % и (-2) — 3,45 %. На четвертом месяце общая тенденция сохранилась (6-й шаг эволюции матрицы): ($+2$) — 7,03 %, ($+1$) — 24,94 %, (0) — 66,33 % и (-1) — 1,7 %.

Моделирование динамики переходов между типами вегетативного тонуса у моряков на этапах исследования «до вахты» по месяцам позволило получить следующие результаты. За первый месяц рейса (1-й → 2-й месяц) на 15-м шаге матрицы был получен результат:

(+1) — 23,22 %, (0) — 66,87 % и (–1) — 9,91 %. В течение второго месяца рейса (2-й → 3-й) на 8-м шаге тенденция переходов имела вид: (+1) — 6,87 %, (+2) — 14,47 %, (0) — 61,79 % и (–1) — 16,87 %. И в течение последнего месяца рейса в судовой команде динамика баланса ВНС сохраняла свою эутоническую направленность (3-й → 4-й, 5 шаг): (+1) — 1,68 %, (+2) — 18,93 %, (0) — 63,96 % и (–1) — 15,43 %.

Значение шага в эволюции матрицы переходов при моделировании процессов в цепях Маркова как физиологической величины характеризует устойчивость функциональной системы, чем меньше шагов необходимо сделать для достижения равновесия в переходе из любого исходного состояния, тем более устойчива система и наоборот [9–11].

Сопоставляя марковскую модель процесса с результатами анализа производных величин распределения кардиоинтервалов и параметрами центральной гемодинамики, можно сделать вывод о том, что на фоне стремления организма моряков к формированию равновесия с условиями внешней рабочей среды процессы приспособления имели свои особенности на каждом диагностическом этапе, раскрывая отдельные грани процесса адаптации.

Установлено, что ко второму месяцу промыслового рейса у моряков нарастает значение гуморальных факторов в формировании приспособительных реакций. В дальнейшем этот механизм уступает место преимущественно центральной регуляции, отражая напряжение физиологической адаптации у моряков на четвертом месяце рейса, что демонстрирует способность организма моряков адаптироваться на основе различных механизмов реагирования.

На третий месяц рейса обнаруживается эффект трансформации по центральным механизмам регуляции функций в период «до — после вахты».

В условиях хронического утомления экстракардиальная регуляция сердечного ритма у моряков при функциональной перестройке может происходить при одновременном повышении тонуса симпатического и парасимпатического отделов ВНС.

Список литературы

1. Баевский Р. М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии / Р. М. Баевский. — М.: Медицина, 1979. — 295 с.
2. Баевский Р. М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р. М. Баевский, О. И. Кириллов, С. М. Клецкин. — М.: Наука, 1984. — 221 с.
3. Глико Л. И. Индекс Мызникова как косвенный показатель потребления кислорода / Л. И. Глико, В. И. Говорун // Морской медицинский журнал. — 1996. — № 3. — С. 8–10.
4. Глико Л. И. Математический метод оценки индивидуальных показателей гемодинамики человека / Л. И. Глико, Е. М. Решетнев, Е. М. Решетнева. — СПб., 1996. — 55 с. (Диагностическая гемодинамика. Вып. 2., Справочное пособие по формулам).
5. Кириллов О. И. Хронический стресс у работников морского транспорта / О. И. Кириллов // VII Международный симпозиум по морской медицине. — М.: Б.и., 1976. — С. 40–41.

6. Лакин Г. Ф. Биометрия: Учеб. пособие / Г. Ф. Лакин. — М.: Высшая школа, 1980. — 293 с.

7. Ломов О. П. Судовая гигиена / О. П. Ломов. — Л.: Медицина, 1993. — 208 с.

8. Медведев В. И. Устойчивость физиологических и психологических функций человека при действии экстремальных факторов / В. И. Медведев. — Л.: Наука, 1982. — 103 с.

9. Мызников И. Л. Взгляд на адаптацию с позиций марковских процессов / И. Л. Мызников // Физиология человека. — 1994. — Т. 20, № 4. — С. 83–87.

10. Мызников И. Л. Динамика процессов адаптации личного состава экипажей подводных лодок по данным вероятностных подходов: Дис. ... канд. мед. наук / Мызников Игорь Леонидович. — СПб.: ВМедА, 1997. — 164 л.

11. Мызников И. Л. Гиперкинетические состояния гемодинамики у подводников / И. Л. Мызников, Г. Г. Матузкова // Физиология человека. — 1997. — Т. 23, № 5. — С. 108–113.

12. Мызников И. Л. Отдых на этапах учебно-боевой деятельности подводников / И. Л. Мызников, М. Г. Махров, Д. Ю. Рогованов, В. Н. Соловьев // Морской медицинский журнал. — 2000. — № 4. — С. 10–15.

13. Общая теория статистики: Учебник / Харламов А. И., Башина О. Э., Бабуринов В. Т. и др.; Под ред. А. А. Спирина, О. Э. Башиной. — М.: Финансы и статистика, 1994. — 296 с.

14. Тернер Д. Вероятность, статистика и исследование операций / Д. Тернер; Пер. с англ.; Под ред. А. А. Рывкина. — М.: Статистика, 1976. — 431 с.

15. Федоров Б. М. Стресс, кардиологические аспекты / Б. М. Федоров // Физиология человека. — 1997. — Т. 23, № 2. — С. 89–99.

16. Щербина Ф. А. Индивидуально-типологические особенности реагирования моряков в условиях длительных рыболовных рейсов и их значение в системе профилактики заболеваний: Дис. ... канд. мед. наук / Щербина Федор Александрович. — М.: НИИ Гиг. водн. трансп. МЗ СССР, 1988. — 154 л.

ADAPTATION PROCESSES IN SEAMEN DURING A LONG FISHING CRUISE

I. L. Myznikov, *F. A. Shcherbina

Medical Service Vidyaevo Northern Navy Base, settl. Vidyaevo Murmansk region

*State Teachers' Training University, Murmansk

The authors have analyzed changes in the cardiovascular system regulation in the seamen of the big autonomous trawler «A. Streltsov» during the 120-day fishing cruise. In the work, the methods of multidimensional statistics and prognosis in Markov's chains were used. According to the results of the research, one can say about the peculiarity of extracardinal regulation of cardiac rhythm in seamen in conditions of physical tiredness, when simultaneously with functional reorganization, tension of sympathetic and parasympathetic parts of the vegetative nervous system increases. It has been established that by the second month of the cruise in seamen, influence of humoral factors in formation of adaptive reactions to the cruise conditions increases, further, this mechanism gives way mainly to central regulation showing tension of physiological adaptation in seamen during the fourth month of the cruise.

Key words: physiological adaptation, marine medicine, hemodynamics, cardiac rhythm, vegetative nervous system.