

УДК [612.172.2:517]:616-053

Б. К. КОЙЧУБЕКОВ

## ЭНТРОПИЙНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАРДИОИНТЕРВАЛОГРАММЫ В РАЗЛИЧНЫХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУППАХ

(Карагандинская государственная медицинская академия)

Проведен анализ энтропийных показателей матрицы взаимных переходов R–R-интервалов у практически здоровых лиц различных возрастных групп. Наибольшие значения энтропии выявляются в возрастной группе 7–10 лет, что может быть связано с несформированностью центральных механизмов регуляции сердечного ритма в этом возрасте. По мере увеличения возраста энтропия снижается в результате усиления регулирующих влияний симпатического звена вегетативной нервной системы. В возрастной группе 46–60 лет все энтропийные показатели выравниваются по своему значению, и далее, у лиц старше 60 лет, начинается рост энтропии, свидетельствующий о снижении активности специфического и неспецифического компонентов в системе регуляции ритма сердца.

Функциональная система регуляции сердечного ритма характеризуется наличием каналов связи, по которым постоянно идет обмен информацией о состоянии сердечно-сосудистого гомеостаза [1]. Последовательность R–R-интервалов может рассматриваться как носитель этой информации, а основная характеристика информационного канала – энтропия – как индикатор процессов регуляции на межсистемном уровне, на уровне целого организма.

Нами изучена возрастная динамика энтропийных показателей кардиоинтервалограммы и по ним оценено состояние вегетативного гомеостаза у лиц различных возрастных групп.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе приведены результаты математической обработки пятиминутных записей кардиоинтервалограммы 600 обследованных различных возрастных групп: 7–10, 11–14, 15–17, 18–25, 26–40, 41–60 лет и более 60 лет.

Для каждого обследованного вся шкала длительностей R–R-интервалов делилась на каналы (классовые интервалы) по 50 мс, и каждый кардиоинтервал (КИ) временного ряда регистрируемой ЭКГ кодировался (обозначался) номером канала, соответствующего его длительности. Полученный временной ряд преобразовывался в матрицу переходов КИ из  $i$ -го канала в  $(i+n)$ -канал, где последовательности строк составляют номера каналов предшествующих КИ, а ячейки на их пересечении содержат количество переходов определенного предшествующего КИ к соответствующему последующему.

Если последующий КИ попадает в тот же  $i$ -й канал (независимо от его номера), что и предыдущий (т. е. его изменения были в пределах ширины канала — 50 мс), то это считается нулевой коррекцией. Если последующий КИ увеличивается относительно предыдущего настолько, что попадает в другой —  $i+1$  или  $i+2$ , или  $i+3 \dots i+n$  (где  $n>3$ ) канал, то такие изменения определяются как трофотропные коррекции I, II, III и IV порядков ( $KT1, KT2, KT3, KT4$ ) соответственно. Если последующий КИ попадает в  $i-1$  или  $i-2$ , или  $i-3 \dots, i-n$  канал, то такие уменьшения КИ определяются как эрготропные коррекции I, II, III и IV порядка ( $KЭ1, KЭ2, KЭ3, KЭ4$ ). Коррекции более высокого порядка не оценивались в связи с их малой вероятностью.

Таким образом, чем выше порядок коррекции, тем интенсивнее трофо- или эрготропное изменение каждого последующего КИ относительно предыдущего. Далее подсчитывались количество и вероятность ( $p_{ij}$ ) реализации коррекций каждого типа и строилась матрица вероятностей взаимных переходов:

		Каналы				
	1	2	3	...	$n$	
1	$p_{11}$	$p_{12}$	$p_{13}$	...	$p_{1n}$	$P_{1n}$
2	$p_{21}$	$p_{22}$	$p_{23}$	...	$p_{2n}$	$P_{2n}$
3	$p_{31}$	$p_{32}$	$p_{33}$	...	$p_{3n}$	$P_{3n}$
...	...	...	...	...	...	...
$n$	$p_{n1}$	$p_{n2}$	$p_{n3}$	...	$p_{nn}$	$P_{nn}$

Все элементы матрицы системы образуют полную систему событий  $\sum p_{ij} = 1$  (где  $p_{ij}$  – ве-

роятность отдельного состояния), которая отражает состояние механизмов регуляции сердечного ритма.

$$H = -\sum p_{ij} \cdot \log_2 p_{ij}$$

Из матрицы вероятности взаимных переходов вычислялись:

$H(\mathcal{E})$  – энтропия части матрицы ниже диагонали (характеризует эрготропные влияния на сердечный ритм);  $H(T)$  – энтропия части матрицы выше диагонали (характеризует трофотропные влияния на сердечный ритм);  $H(D)$  – энтропия диагонали матрицы (характеризует стабилизирующие влияния на сердечный ритм);  $H(M)$  – энтропия всей матрицы (характеризует суммарный эффект всех влияний на сердечный ритм);  $H(M/D)$  – отношение энтропии матрицы к энтропии диагонали;  $H(T/\mathcal{E})$  – отношение  $H(T)$  к  $H(\mathcal{E})$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Вариационный ряд кардиоинтервалов – это определенным образом организованная система последовательности R–R-интервалов, каждый из которых появляется с определенной вероятностью, а их совокупность характеризует определенное состояние. С позиций теории информации каждое такое состояние описывается энтропией. Уменьшение энтропии соотносится с активацией управляющих влияний, а увеличение – с тормозными процессами.

Для выяснения влияния пола и возраста на изучаемые энтропийные показатели был проведен двухфакторный дисперсионный анализ, результаты которого приведены в таблице. Видно, что с уровнем достоверности  $p < 0,05$  возрастные особенности выявляются, а дисперсия, вносимая

### Двухфакторный дисперсионный анализ

Показатели	H(M)		H(D)		H(T)		H(Э)		H(M/D)		H(T/Э)	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Возраст	102,65	0,00	121,36	0,00	96,99	0,00	86,37	0,00	15,15	0,00	11,21	0,00
Пол	1,75	0,18	1,52	0,21	0,351	0,55	0,531	0,46	0,26	0,61	0,07	0,79
Пол+воз.	1,01	0,42	0,81	0,56	0,28	0,95	0,41	0,87	0,23	0,97	2,57	0,02

Примечание. F – Критерий Фишера, p – уровень достоверности

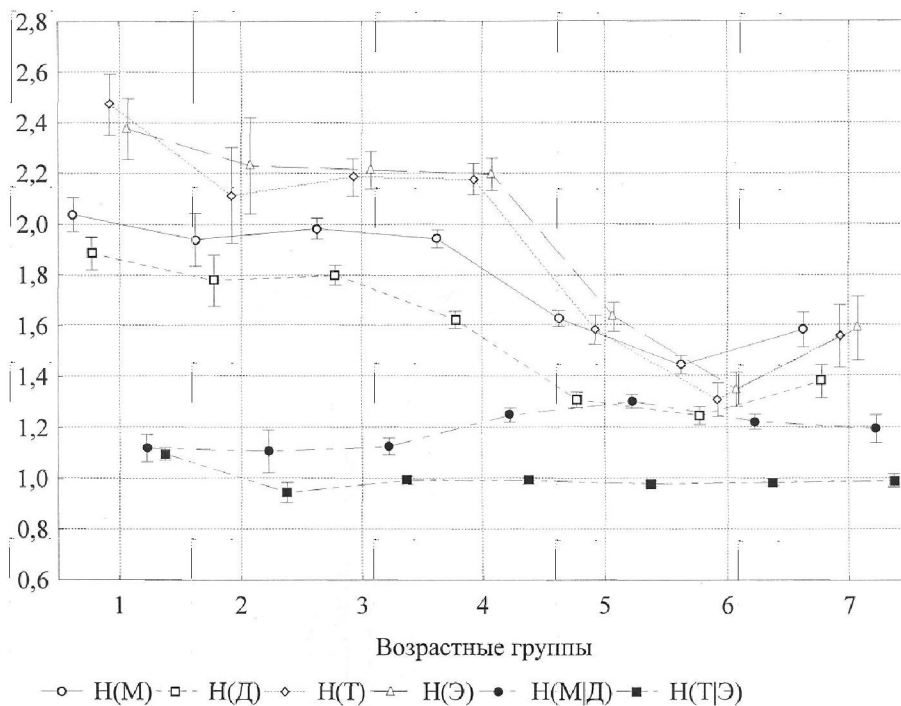


Рис. 1. Энтропийные показатели в различных возрастных группах

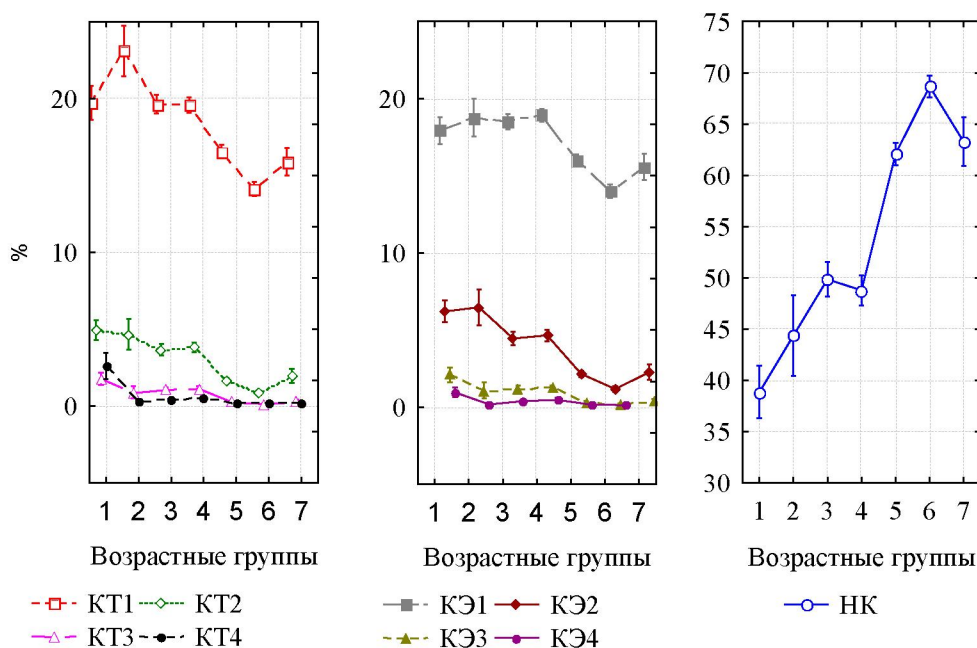


Рис. 2. Эрго- и трофотропные коррекции в различных возрастных группах

половыми различиями, сопоставима с помехой и, следовательно, фактор пола не влияет на исследуемые показатели.

Как видно из рис. 1, наибольшие значения энтропийных показателей регистрируются в младшей возрастной группе – 7–10 лет. При анализе матрицы переходов R–R-интервалов у лиц данной группы можно отметить, что вероятности переходов в соседние каналы значительно выше, чем вероятность того, что текущее значение кардиоинтервала повторится в следующий момент времени, т.е. эрго- и трофотропных коррекций в процентном содержании значительно больше, чем нулевых (рис. 2). При этом вариации R–R-интервалов происходят в пределах двух соседних каналов, поскольку доминируют эрго- и трофотропные коррекции первого порядка ( $KЭ1$  и  $KT1$ ). Как известно, в этом возрасте регуляция сердечного ритма осуществляется преимущественно за счет парасимпатического отдела вегетативной нервной системы. Центральные механизмы регуляции еще не сформированы, и в развитии высших отделов симпатического звена наблюдается гетерохронность созревания различных систем.

В возрасте 11–14 лет показатели  $H(M)$ ,  $H(D)$ ,  $H(T)$  и  $H(T/Э)$  достоверно снижаются по сравнению с предыдущей группой. Увеличивается вероятность появления  $KЭ1$  и  $KT1$  ( $KT1$  меняется интенсивнее), ритм становится еще менее вариabельным, на что указывают коррекции более

высоких порядков – их процентное содержание в матрице переходов падает. Об этом свидетельствуют и нулевые коррекции  $HK$ , возрастающая вероятность появления которых связана с процессом стабилизации сердечного ритма (см. рис. 2). Уменьшение энтропии в этом возрасте указывает на усиление регулирующих влияний со стороны центрального контура, что может быть связано с половым созреванием, с симпатикоадреналовыми церебральными механизмами активации и нормализацией вегетативного баланса. Эти процессы обуславливают тенденцию к стабилизации ритма (уменьшение  $H(D)$ ), а также снижение трофотропных влияний, т.е. подавление активности автономного контура, при неизменности эрготропных коррекций, что отражается на показателях  $H(T)$  и  $H(T/Э)$ .

Далее до старшей возрастной группы 25–40 лет (4-я группа) включительно  $H(M)$ ,  $H(T)$  и  $H(Э)$  остаются без изменений, достоверно снижается только энтропия диагонали  $H(D)$  матрицы взаимных переходов. Эрго- и трофотропные коррекции меняются незначительно, а доля нулевых коррекций в матрице переходов достигает 50%, в результате возрастает и показатель  $H(M/D)$ .

Диагональ матрицы отражает процессы стабилизации ритма сердца, и если судить по этому показателю, в следующей возрастной группе повышается уровень напряжения функциональной системы, обеспечивающей вегетативный гомеостаз.

У обследованных, включенных в 5-ю и 6-ю группы, резко снижается энтропия матрицы в целом и отдельных ее компонентов. Центральные влияния приводят к уменьшению числа степеней свободы в вариативности кардиоритма, о чем можно судить по динамике эрго- и трофотропных коррекций. Как видно из рис. 2, коррекции первого порядка в этих возрастных группах снижаются, а коррекции более высоких порядков ( $KT_2$ ,  $KT_3$ ,  $KT_4$ ,  $KЭ_2$ ,  $KЭ_3$ ,  $KЭ_4$ ) приближаются к нулю. Доля нулевых коррекций в матрице переходов достигает 70%, повышается вероятность того, что каждый последующий R-R-интервал находится в том же временном промежутке, что и предыдущий. Этот процесс является результатом усиления стабилизирующего влияния со стороны симпатического звена ВНС, соответственно уменьшается энтропия диагонали матрицы переходов  $H(D)$ .

Снижаясь при переходе от младших возрастных групп к старшим, энтропийные показатели достигают минимума в группе 40–60 лет. При этом изучаемые показатели матрицы взаимных переходов становятся примерно равными по величине. Далее, у лиц старше 60 лет наблюдается рост  $H(M)$ ,  $H(D)$ ,  $H(T)$  и  $H(Э)$ . Ритм сердца становится менее стабильным, повышается вероятность смены более коротких R-R-интервалов более длинными и одновременно вероятность смены более длинных более короткими, на что указывают  $KT_1$ ,  $KT_2$ ,  $KЭ_1$ ,  $KЭ_2$  и  $HK$ . Как известно, одним из существенных признаков старения является постепенное снижение адаптационных возможностей организма. Это проявляется в уменьшении функционального резерва, росте напряжения регуляторных систем и изменении уровня функционирования сердечно-сосудистой системы. Обычно очень незначительный процент лиц старшего возраста сохраняет достаточный уровень адаптационных возможностей, как правило, имеются нарушения миокардиально-гемодинамического или вегетативного гомеостаза (повышение артериального давления и частоты пульса). Увеличение энтропии в этом возрасте свидетельствует о процессах торможения в центральных механизмах, что хорошо согласуется с выдвинутым Р. М. Баевским предположением о снижении активности специфического и неспецифического компонентов, участвующих в регуляции сердечного ритма [2]. Примерное равенство всех энтропийных показателей в возрасте

41–60 лет можно рассматривать в качестве индикатора недостаточного функционального резерва.

Из изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Максимальные значения энтропийных показателей в возрастной группе 7–10 лет указывают на несформированность центральных механизмов регуляции СР в этом возрасте.

2. Начиная с возраста 18–25 лет энтропия кардиоинтервалограммы снижается, достигая минимума к 60 годам.

3. После 60 лет энтропия матрицы взаимных переходов ряда кардиоинтервалов возрастает, что может расцениваться как свидетельство снижения активности специфического и неспецифического компонентов в системе регуляции ритма сердца.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гулик В.Ф., Неретин К.Н., Слепушкин В.Д., Майнагашев С.С., Голоцанов А.А. Использование метода экспресс-анализа медленных колебаний гемодинамики в акушерстве и акушерской анестезиологии (общие принципы) // Медленные колебательные процессы в организме человека: теория, практическое применение в клинической медицине и профилактике. Новокузнецк, 1997. С. 72-74.
2. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риска развития заболеваний. М.: Медицина, 1997. 235 с.

#### Резюме

Әр түрлі жас топтарындағы дені сау адамдардың R-R интервалдарындағы өзара тасымалдау матрицасының энтропиялық көрсеткіштерінің талдауы жүргізілді. Энтропияның едәуір жоғары мәні 7–10 жас аралығындағы топтарда көрінеді, ол осы жастағылардың жүрек ырғағының орталық реттеу механизмінің толық жетілмегендігіне байланысты. Вегетативті жүйке жүйесінің симпатикалық тізбегін реттеуге әсер етушінің күшеюі нәтижесінен жас ұлғаюына байланысты энтропия төмендей түседі. 46–60 жас аралықтарындағы топтарда барлық энтропиялық көрсеткіштер өздерінің мәндерінде теңеледі және одан әрі 60 жастан асқандарда энтропияның өсуі басталады, ол жүрек ырғағын реттеу жүйелеріндегі спецификалық және спецификалық емес компоненттердің белсенділігінің төмендегенін көрсетеді.

#### Summary

We have analyzed the entropy parameters of RR-intervals mutual transition matrix in practically healthy people of different age groups. The 7-10 age group has the highest entropy values, which may be due to the incomplete formation of central heart rate regulatory mechanisms at this age. With age, the entropy decreases as the result of the increase of sympathetic regulatory influences. In the 46-60 age group, all entropy parameters reach the same values. In people above 60, the entropy starts to grow, testifying about the decrease of the activity of specific and non-specific components in heart rate regulatory system.