ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА, 2021, том 47, № 1, с. 31–42

УДК 612.8.04

ВЕГЕТАТИВНЫЙ ИНДЕКС КЕРДО: РОЛЬ ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ, ОБЛАСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

© 2020 г. Ю. Е. Вагин[1, 2, *], С. М. Деунежева[1, 2], А. А. Хлытина[1, 2]

[1]ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова МЗ РФ (Сеченовский университет), Москва, Россия

[2]ФГБНУ НИИ нормальной физиологии имени П.К. Анохина РАН, Москва, Россия

**E-mail: yuvaguine@yandex.ru*

Поступила в редакцию 26.02.2020 г.
После доработки 14.03.2020 г.
Принята к публикации 20.06.2020 г.

Вегетативный индекс Кердо (ВИК), разработанный венгерским врачом И. Кердо, применялся российскими физиологами для оценки баланса тонуса между симпатической и парасимпатической нервными системами. ВИК дает косвенную характеристику вагосимпатического баланса в организме, не раскрывая механизмы этого баланса. Было установлено, что у спортсменов и больных гипертонией корреляция между ВИК и частотой сердечных сокращений (ЧСС) положительная, а между ВИК и диастолическим артериальным давлением (АДд) отрицательная, что подтверждает представления И. Кердо. Теоретический графический анализ зависимости ВИК, от образующих его параметров, показал, что ВИК имеет убывающую прямолинейную зависимость от АДд и возрастающую перевернутую гипербалическую зависимость от ЧСС. ВИК отражает вагосимпатический баланс в организме в большей степени по ЧСС и в меньшей по АДд. В организме спортсменов до и после физической нагрузки ВИК характеризует вагосимпатический баланс. Тогда как применение ВИК для оценки вагосимпатического баланса у больных с гипертонией не рекомендуется, поскольку при высоком АД у больных с гипертонией значения ВИК могут привести к ошибочному заключению о вагосимпатическом балансе в организме.

Ключевые слова: вегетативный индекс Кердо, вагосимпатический баланс, симпатикотония, ваготония, частота сердечных сокращений, систолическое и диастолическое артериальное давление.

DOI: 10.31857/S0131164620060120

В физиологии разработано много интегральных показателей, которые дают возможность оценить функциональное состояние различных процессов организма. Одним из них является вегетативный индекс Кердо (ВИК), который определяют по двум параметрам: диастолическому артериальному давлению (АДд) и частоте сердечных сокращений (ЧСС).

Венгерский врач И. Кердо более 10 лет разрабатывал теоретическое обоснование эффективности ВИК для оценки баланса между тонусом симпатической и парасимпатической нервными системами (СНС и ПСНС) в организме. Предположив, что ВИК прямо зависит от преобладания тонуса СНС над тонусом ПСНС и имеет обратную зависимость при увеличении тонуса ПСНС по сравнению с тонусом СНС, И. Кердо предложил вычислять ВИК по формуле ВИК = (1 – – АДд/ЧСС) × 100%. ВИК имеет положительные значения при АДд меньше ЧСС и отрицательные значения при АДд больше ЧСС [1].

Советский и российский невролог А.М. Вейн дал имя И. Кердо этому вегетативному индексу, и описал в своих монографиях ВИК, как один из методов исследования функций вегетативной нервной системы [2, 3]. В последующие годы ВИК применяли в различных исследованиях для оценки баланса между тонусом СНС и ПСНС в организме при изменении функционального состояния здоровых людей [4–11].

В ряде работ отмечается корреляция между ВИК и диастолическим артериальным давлением (АДд). Так у детей 5–6 лет была зарегистрирована ваготония с отрицательными значениями ВИК [4]. По мере взросления детей ваготония менялась на симпатикотонию с положительными значениями ВИК у подростков 13–14 лет. К окончанию полового созревания повторно возникала ваготония с отрицательными значениями ВИК [5]. У гипер-

реактивных детей необычные внешние раздражения вызывали стрессовую реакцию, сопровождающуюся увеличением ВИК [6]. Занятия студентов в университете сопровождались симпатикотонией. Значения ВИК были увеличены максимально на первых и последних курсах обучения [7], особенно во время экзаменационной сессии [8]. У работников севера отрицательные значения ВИК были максимально выражены в апреле, а в июле ВИК становился положительным и достигал максимальных значений [9]. Были зарегистрированы отличия вегетативного тонуса у работников одной и той же профессии на севере России и в Казахстане. У работников севера преобладали ваготоники со значениями ВИК менее −10%, а у работников, находящихся на юге, преобладали нормотоники со значениями ВИК ±10% и симпатотоники со значениями ВИК более 10% [10].

Вегетативный статус испытуемых по значениям ВИК исследовали перед изучением влияния обонятельных раздражений. В трех группах испытуемых (нормотоники, симпатотоники и ваготоники) были отмечены различия по ЧСС, тогда как отличий по значениям систолического давления (АДс) и АДд не было выявлено [11].

Исследование ВИК оказалось эффективным и в спортивной медицине [12]. В нашей лаборатории также неоднократно использовали ВИК в комплексной оценке напряжения функций организма при физической нагрузке спортсменов до предела физических возможностей [13–15].

Не смотря на то, что ВИК является одним из показателей вагосимпатического баланса в организме [16–19], он является только косвенным показателем. Известно, что образующие ВИК гомодинамические параметры ЧСС и АДд изменяются при сдвиге вагосимпатического баланса в организме, но они могут изменяться и при динамике других функциональных процессов организма. Несмотря на то, что мы, как и другие исследователи, изучали ВИК для оценки состояния обследуемых людей, важно иметь более веские основания для применения ВИК в качестве оценки вагосимпатического баланса организма.

До настоящего момента остается неисследованным вклад каждого из образующих ВИК параметров в его величину. Не исследованы значения коэффициента корреляции между величинами ВИК и исходными параметрами для какой-либо группы людей. Кроме того, осталась неизученной область применения ВИК, а также его информативность при различных функциональных состояниях организма.

В связи с этим было целесообразно выполнить графический анализ зависимости ВИК от образующих его параметров в отдельности и при взаимодействии. Вычислить значения коэффициента корреляции между ВИК и исходными параметрами у здоровых людей в разных функциональных состояниях и больных с нарушениями АД.

МЕТОДИКА

Изучение ВИК у здоровых людей было проведено в НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина (г. Москва). Группу здоровых людей сформировали из начинающих 25 легкоатлетов, которые регулярно тренировались (возраст 20–22 года, рост – 161–172 см, масса тела – 55–82 кг). Все спортсмены не имели врачебных предписаний к ограничению физических нагрузок. Все испытуемые соблюдали указания: отсутствие тренировок за день и в день проведения исследования, а также режим питания.

Для создания физического напряжения испытуемые вращали педали велоэргометра. Скорость вращения педалей составляла 70–75 оборотов в минуту, что соответствовало скорости виртуального движения 7 км/ч, которую спортсмены отслеживали по показаниям спидометра на руле велоэргометра. Сопротивление вращению педалей велоэргометра устанавливали перед началом исследования 60 Вт. Затем через каждую минуту сопротивление увеличивали на 10 Вт. Спортсмены вращали педали велоэргометра до предела физических возможностей.

Перед началом и после окончания физической работы у спортсменов регистрировали ЭКГ во 2-м стандартном отведении с последующим вычислением ЧСС за 1 мин. Одновременно электронным тонометром измеряли методом Коротков АДс и АДд на плечевой артерии, накладывая манжетку тонометра на плечо левой руки.

Изучение ВИК у больных людей было проведено в ГБУЗ Городской клинической больнице № 1 МЗ Кабардино-Балкарской республики (г. Нальчик). Было обследовано 27 больных (в возрасте от 59 до 86 лет) с диагнозом “атеросклероз аорты и коронарных артерий, артериальная гипертония третьей степени тяжести, четвертая степень риска здоровья”. В ходе медикаментозного лечения больные получали от 6 до 12 фармакологических препаратов. Основным был бисопролол, который относится к группе селективных блокаторов β_1-адренорецепторов сердца и вызывает отрицательный хронотропный эффект, замедляя ЧСС и уменьшает АД. Срок стационарного лечения больных был 11.0 ± 0.3 дней. ЧСС и АД у испытуемых данной группы регистрировали при поступлении и при выписке из больницы.

Статистический анализ результатов исследования проводили с помощью параметрического пакета обработки полученных результатов, используя программы *Statistica* 8 компании “*Microsoft*”. Для каждой группы обследуемых людей вы-

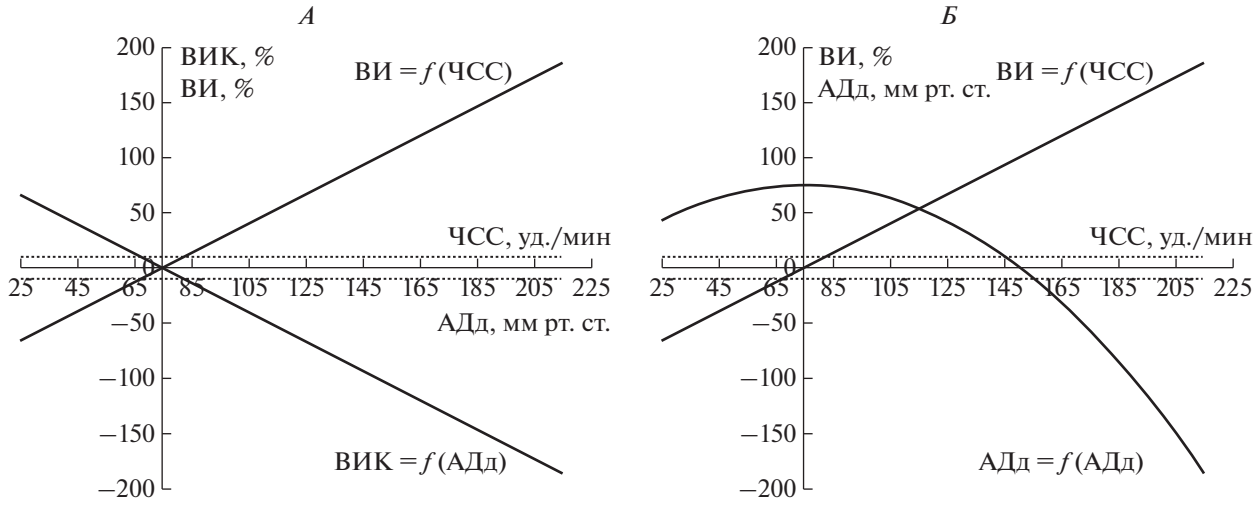


Рис. 1. Зависимость вегетативного индекса Кердо (ВИК) от диастолического давления крови (АДд), вегетативного индекса (ВИ) от частоты сердечных сокращений (ЧСС) и АДд от ЧСС.
А – график прямой убывающей зависимости ВИК от АДд при постоянной ЧСС = 75 уд./мин и график прямой возрастающей зависимости ВИ от ЧСС при постоянном АДд = 75 мм рт. ст. ВИК = *f*(АДд) – функция ВИК от АДд. ВИ = = *f*(ЧСС) – функция ВИ от ЧСС. *Б* – повторение графика зависимости ВИ от ЧСС при постоянном АДд = 75 мм рт. ст. и график убывающей перевернутой гиперполической зависимости АДд от ЧСС при прямолинейной зависимости ВИ от ЧСС. ВИ = *f*(ЧСС) – функция ВИ от ЧСС. АДд = *f*(ЧСС) – функция АДд от ЧСС. Две пунктирные горизонтальные прямые находятся на значениях ВИК и ВИ +10 и –10%.

числяли средние арифметические величины и средние квадратичные отклонения ($M \pm \sigma$) для каждого исследуемого параметра. Отличия между средними величинами параметров оценивали по *t*-критерию Стьюдента. Отличия между средними величинами параметров были при статистической значимости $p < 0.05$.

Наличие корреляционных связей между величинами зарегистрированных параметров оценивали параметрическим методом по величине коэффициента линейной корреляции (*r*), значения которого могли изменяться от 0 до 1.0. Корреляционные связи между исследуемыми параметрами были статистически значимыми ($p < 0.05$) при значениях *r* больше критического значения. Критическую величину статистически значимых величин *r* вычисляли по величине *t*-критерия Стьюдента и количеству сравниваемых между собой пар параметров в двух выборках исследуемых параметров.

Величины коэффициента корреляции были вычислены по 50 зарегистрированным параметрам у 25 спортсменов как до, так и после нагрузки. У 27 больных величины коэффициента корреляции вычисляли по 54 зарегистрированным параметрам как до, так и после лечения.

Функции зарегистрированных и вычисленных результатов исследования от других параметров исследовали графически.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты теоретического анализа зависимости ВИК от АДд и ЧСС. Различные перестройки функционального состояния организма по сравнению с функциональным покоем приводят к изменениям ЧСС и АДд. При симпатикотонии ЧСС увеличивается, а АДд уменьшается. При ваготонии ЧСС уменьшается, а АДд увеличивается. Изменения ЧСС и АДд влияют противоположным образом на расчетную величину ВИК.

Для визуальной наглядности эти зависимости анализировали графически. Началом построенной нами системы координат было нулевое значение для ординаты и значение 75 для абсциссы (рис. 1, *А* и *Б*).

Зависимость ВИК от АДд при постоянной ЧСС анализировали по обычной формуле ВИК = = (1 – АДд/75) × 100%, где 75 – средняя ЧСС в уд./мин здорового человека в покое при длительности каждого сердечного цикла 0.8 с. Функция ВИК от АДд была линейной убывающей (рис. 1, *А*). ВИК имел положительные значения при АДд < < 75 мм рт. ст., был равен нулю при АДд = = 75 мм рт. ст., и становился отрицательным при АДд > 75 мм рт. ст. Следовательно, представления И. Кердо об убывающей прямолинейной зависимости ВИК от АДд при постоянной ЧСС = = 75 уд./мин здорового человека оказались правильными.

Предполагаемая И. Кердо прямая зависимость ВИК от ЧСС могла быть только, если ЧСС нахо-

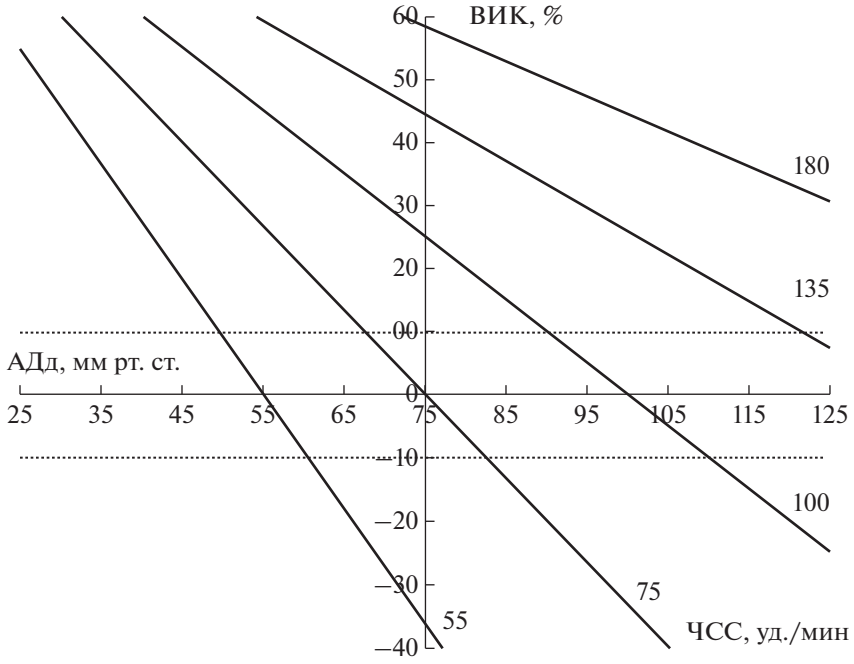


Рис. 2. Семейство линейно убывающих кривых зависимости вегетативного индекса Кердо (ВИК) от диастолического давления крови (АДд) при частоте сердечных сокращений (ЧСС) 55, 75, 100, 135 и 180 уд./мин.
Две пунктирные горизонтальные прямые находятся на значениях ВИК +10 и –10%.

дится в числителе дроби формулы ВИК. Поэтому мы изменили формулу вычисления ВИК, перенеся ЧСС из знаменателя в числитель дроби. Кроме того, единицу вычитали, а не прибавляли к дроби. Результатом вычисления был не ВИК, а другой интегральный показатель, который мы назвали по аналогии с ВИК "вегетативным индексом" (ВИ), и его вычисляли по формуле ВИ = = (ЧСС/АДд – 1) × 100%. Функция ВИ от ЧСС при постоянном АДд = 75 мм рт. ст. была выражена формулой ВИ = (ЧСС/75 – 1) × 100%, где 75 – средняя величина АДд в мм рт ст. у здорового человека. Ось ординат, с отложенными на ней значениями ВИ, пересекала ось абсцисс со значениями ЧСС при ЧСС = 75 уд./мин здорового человека (рис. 1, *А* и *Б*). Функция ВИ от ЧСС была линейной возрастающей. ВИ имел отрицательные значения при ЧСС < 75 уд./мин, был равен нулю при ЧСС = 75 уд./мин и становился положительным при ЧСС > 75 уд./мин. Следовательно, при изменении формулы ВИК на формулу ВИ увеличение ЧСС прямолинейно увеличивало ВИ, что могло бы быть доказательством правильности представлений И. Кердо о влиянии ЧСС на ВИК.

В связи с этим была проанализирована зависимость АДд от ЧСС при прямолинейной возрастающей зависимости ВИ от ЧСС. Вычисление значений АДд производили по формуле АДд = (1 – – ВИ/100) × ЧСС, которая была выведена путем математического преобразования из формулы ВИ. Зависимость АДд от ЧСС имела вид перевернутой гиперболы (рис. 1, *Б*). При ЧСС > 150 уд./мин АДд становилось меньше нуля, что физиологически невозможно. Поэтому при ЧСС ≥ 150 уд./мин физиологический смысл измерения ВИК терялся. Следовательно, зависимость ВИК от ЧСС не могла быть прямолинейной, как полагал И. Кердо.

Далее анализировали зависимость ВИК от АДд при различных постоянных величинах ЧСС. Зависимость ВИК от АДд была представлена графически в виде семейства кривых при различных величинах ЧСС (рис. 2). Ось ординат, с отложенными на ней значениями ВИК, пересекала ось абсцисс со значениями АДд при значении АДд = = 75 мм рт. ст. у здорового человека. Зависимость ВИК от АДд, при постоянстве ЧСС, была линейной убывающей функцией. При увеличении АДд величина ВИК уменьшалась при любых постоянных величинах ЧСС.

При ЧСС менее 100 уд./мин значения ВИК могли быть положительными и отрицательными, а при ЧСС более 100 уд./мин значения ВИК были преимущественно положительные. Значения ВИК становились положительными, когда АДд меньше ЧСС, и отрицательными, когда АДд больше ЧСС. При значениях ВИК больше или меньше ±10% АДд было меньше или больше ЧСС на 10%. Следовательно, предположение И. Кердо об обратной линейной зависимости ВИК от АДд подтвердилось при различных постоянных величинах ЧСС.

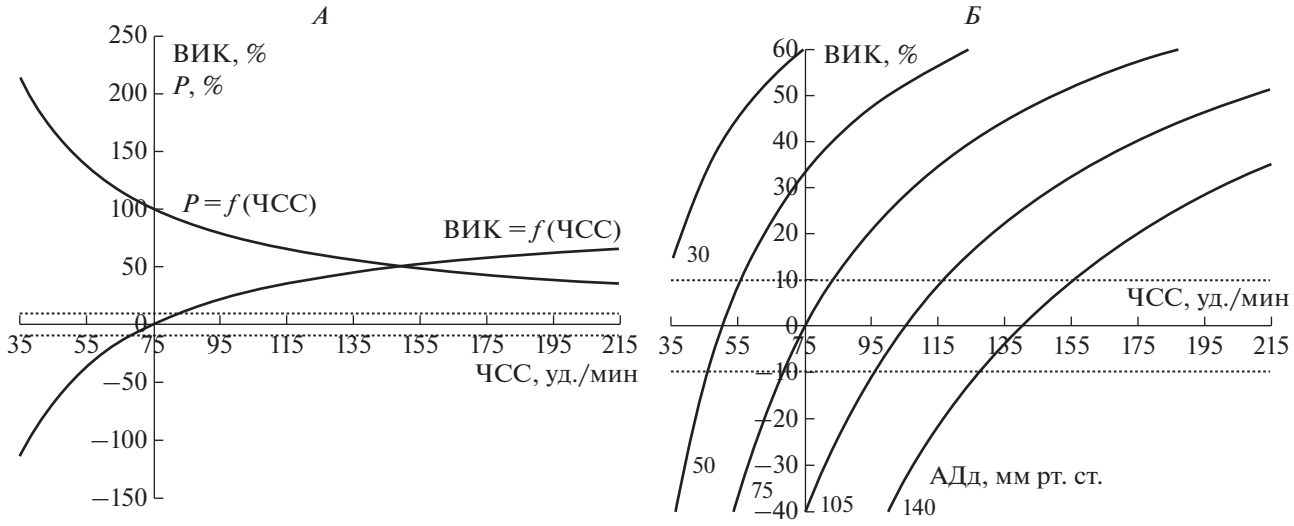


Рис. 3. Зависимость вегетативного индекса Кердо (ВИК) и результата (*P*) деления диастолического давления крови (АДд) на частоту сердечных сокращений (ЧСС) от ЧСС. *А* – график возрастающей перевернутой гиперболической зависимости ВИК от ЧСС и график убывающей гиперболической зависимости *P* от ЧСС при АДд = 75 мм рт. ст. *Б* – семейство возрастающих перевернутых гиперболических кривых зависимости ВИК от ЧСС при АДд 30, 50, 75, 105 и 140 мм рт. ст. Две пунктирные горизонтальные прямые находятся на значениях ВИК +10 и –10%.

Затем мы исследовали зависимость ВИК от ЧСС. Для этого графически анализировали зависимость ВИК и результата (*P*) деления ЧСС на АДд от ЧСС при постоянстве АДд = 75 мм рт. ст. Ось ординат со значениями *P* и ВИК пересекала ось абсцисс со значениями ЧСС при значении ЧСС = 75 уд./мин у здорового человека (рис. 3, *А*). В формуле ВИК ЧСС находится в знаменателе дроби АДд/ЧСС, поэтому график зависимости *P* от ЧСС был убывающей гиперболой. Значения *P* постепенно приближались к нулю и не становились отрицательными.

График зависимости ВИК от ЧСС был возрастающей перевернутой гиперболой, поскольку ВИК был разностью между 1.0 и *P* (рис. 3, *А*). При ЧСС < 75 уд./мин ВИК увеличивался от отрицательных значений до нуля. При ЧСС > 75 уд./мин увеличение ВИК постепенно приближалось к максимальному уровню.

Графическая зависимость ВИК от ЧСС представляла семейство кривых при различных постоянных значениях АДд (рис. 3, *Б*). Ось ординат, с отложенными на ней значениями ВИК, пересекала ось абсцисс со значениями ЧСС при значении ЧСС = 75 уд./мин у здорового человека.

Зависимость ВИК от ЧСС возрастала при любых величинах АДд. Однако ВИК зависит от ЧСС не прямо пропорционально. При низких величинах ЧСС значения ВИК быстро увеличивались. При высоких величинах ЧСС увеличение значений ВИК замедлялось, и величина ВИК приближалась к максимальному уровню.

Положительные и отрицательные значения ВИК были при любых величинах АДд. Значения ВИК становились положительными, когда ЧСС больше АДд, и отрицательными, когда ЧСС меньше АДд. При значениях ВИК больше или меньше ±10% ЧСС была больше или меньше АДд на 10%.

Следовательно, зависимость ВИК от ЧСС была не прямолинейная, как полагал И. Кердо, а возрастающая перевернутая гиперболическая. При увеличении ЧСС от 35 до 115 уд./мин ВИК быстро увеличивался, но при больших значениях ЧСС увеличение ВИК замедлялось. При этом возрастание ВИК теоретически могло продолжаться в основном за счет отставания увеличения АДд от ЧСС.

Таким образом, АДд и ЧСС по-разному влияли на величину ВИК. При увеличении АДд величина ВИК уменьшалась прямо пропорционально увеличению АДд при постоянстве ЧСС. При увеличении ЧСС величина ВИК увеличивалась непропорционально. При увеличении ЧСС до 75 уд./мин ВИК увеличивался быстро, но при увеличении ЧСС более 75 уд./мин ВИК увеличивался медленно. При этом ВИК мог увеличиваться в основном за счет замедления увеличения АДд по сравнению с ЧСС.

Результаты практических исследований. ВИК у здоровых и больных людей. Обследование спортсменов до и после физической нагрузки дало следующие результаты. Перед нагрузкой ЧСС была от 71 до 114 уд./мин, которая после нагрузки увеличивалась до 82–140 уд./мин. Средние значения

Таблица 1. Частота сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин), систолическое артериальное давление (АДс, мм рт. ст.), диастолическое артериальное давление (АДд, мм рт. ст.) и вегетативный индекс Кердо (ВИК, %) у спортсменов до и после физической нагрузки

Фамилия	Перед нагрузкой				После нагрузки			
	ЧСС	АДс	АДд	ВИК	ЧСС	АДс	АДд	ВИК
Абр-в	114	100	70	38.6	126	98	74	41.3
Ал-в	78	122	55	29.5	117	105	59	49.6
Аль-в	85	130	74	12.9	108	118	62	42.6
Арк-н	71	126	70	1.4	82	107	76	7.3
Аст-н	78	122	85	–9.0	106	134	78	26.4
Бак-в	74	117	66	10.8	109	114	64	41.3
Бас-н	80	134	76	5.0	104	124	75	27.9
Боб-в	87	114	79	9.2	95	126	78	17.9
Вахр-в	102	110	75	26.5	109	110	62	43.1
Граб-в	86	130	78	9.3	119	120	74	37.8
Дем-н	79	139	66	16.5	121	120	68	43.8
Джем-в	75	109	62	17.3	98	113	72	26.5
Ер-н	110	141	68	38.2	126	145	70	44.4
Зел-в	82	117	75	8.5	101	143	86	14.9
Мар-в	92	118	77	16.3	101	125	74	26.7
Мон-в	81	118	66	18.5	98	131	94	4.1
Мыл-в	78	123	78	0.0	107	119	82	23.4
Наз-в	82	129	74	9.8	107	136	74	30.8
Омель-к	85	117	62	27.1	117	115	78	33.3
Павл-ч	85	118	61	28.2	106	117	70	34.0
Покр-й	78	126	74	5.1	83	126	82	1.2
Сор-н	87	132	85	2.3	140	110	77	45.0
Ст-р	91	134	80	12.1	110	133	77	30.0
Шуг-в	81	139	86	–6.2	130	118	77	40.8
Юс-в	87	101	88	–1.1	89	119	68	23.6
$M \pm \sigma$	85.1 ± 2.1	122.6 ± 2.2	73.2 ± 1.7	13.1 ± 2.6	108.4 ± 2.8	121.0 ± 2.3	74.0 ± 1.6	30.3 ± 2.7
Статист. значимые отличия	*			*	*			*

ЧСС до и после нагрузки статистически значимо отличались. АДс перед нагрузкой было от 100 до 141 мм рт. ст., и после нагрузки – от 98 до 145 мм рт. ст. АДд перед нагрузкой было от 55 до 88 мм рт. ст., и после нагрузки – от 59 до 94 мм рт. ст. Средние значения АДс и АДд до и после нагрузки статистически значимо не отличались. Перед нагрузкой ВИК был от –9 до 38.6%, и после нагрузки увеличивался до 1.2–49.6%. Средние значения ВИК до и после нагрузки статистически значимо отличались (табл. 1).

Известно, что при совместном увеличении АДд и ЧСС значения ВИК могут быть положительными и отрицательными. При значениях ЧСС больше АДд величина ВИК становится положительной. При значениях ЧСС меньше АДд величина ВИК становится отрицательной. Условно считают, что при ЧСС больше АДд на 10% преобладает тонус СНС. При ЧСС меньше АДд на 10% преобладает тонус ПСНС [2, 3].

Для визуальной наглядности взаимосвязь между ЧСС и АДд у каждого спортсмена и у каждого больного человека анализировали графически. Началом построенной нами системы координат было значение 75 мм рт. ст. для абсциссы и 75 уд./мин для ординаты (рис. 1, *А* и *Б*).

Перед нагрузкой у 12 спортсменов ВИК был в пределах ±10%, а у 13 спортсменов был выше 10%, что возможно было обусловлено предстартовой симпатикотонией. После физической нагрузки

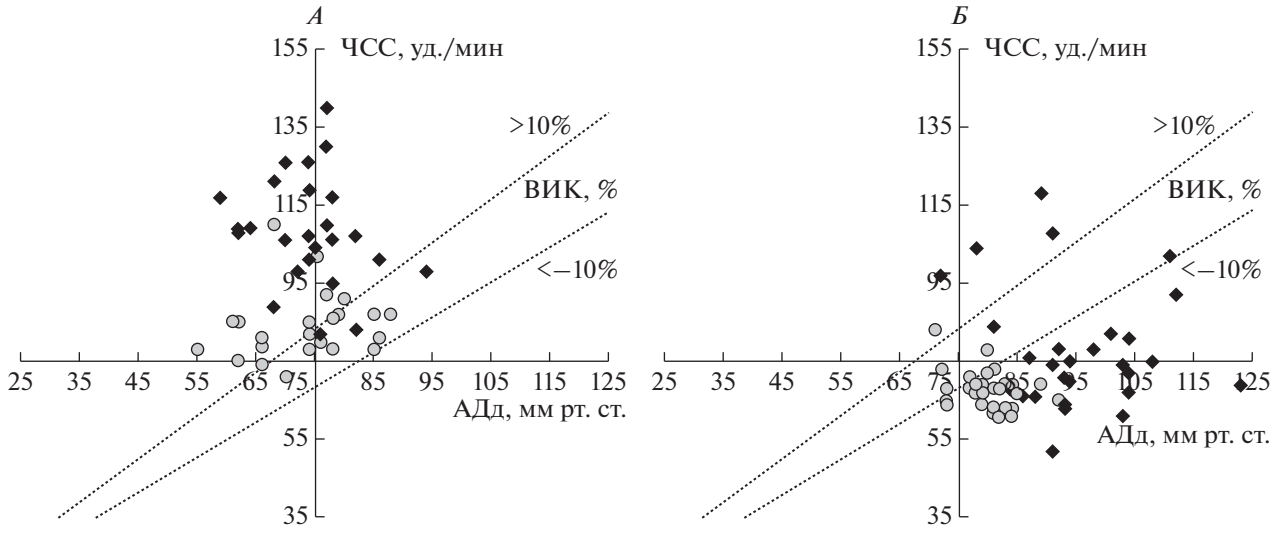


Рис. 4. Зависимость частоты сердечных сокращений (ЧСС) от диастолического давления крови (АДд) у спортсменов и больных с гипертонической болезнью.
А – зависимость ЧСС от АДд у спортсменов. Значения ЧСС и АДд у каждого спортсмена нанесены светлыми маркерами до физической нагрузки и темными маркерами после физической нагрузки. *Б* – зависимость ЧСС от АДд у больных с гипертонической болезнью. Значения ЧСС и АДд у каждого больного нанесены темными маркерами до лечения и светлыми маркерами после курса медикаментозного лечения. Две пунктирные возрастающие прямые характеризуют зависимость ЧСС от АДд при значениях ВИК +10 и –10%. Маркеры значений ЧСС от АДд, нанесенные на график между этими прямыми, характеризуют значения ВИК от –10 до +10%, выше верхней прямой характеризуют значения ВИК > 10% и ниже нижней кривой характеризуют значения ВИК < –10%.

ВИК у 3 спортсменов остался в пределах нормы, а у 22 спортсменов увеличился более чем на 10%. Максимальное значение ВИК у одного спортсмена достигло 49.6% (рис. 4, *А*).

Обследование больных до и после лечения дало следующие результаты. До лечения ЧСС была от 52 до 118 уд./мин, которая после лечения уменьшилась до 62–78 уд./мин. АДс перед лечением было от 110 до 210 мм рт. ст. и после лечения уменьшилось до 110–180 мм рт. ст. АДд перед лечением было от 70 до 120 мм рт. ст. и после лечения уменьшилось до 70–90 мм рт. ст. Средние значения ЧСС, АДс и АДд до и после лечения статистически значимо отличались. Перед лечением ВИК был от –73.1 до 30% и после лечения от –36.4 до 12.5%. Средние значения ВИК статистически значимо не отличались (табл. 2).

До лечения у 2 больных ВИК был в пределах ±10%, у 21 больного был меньше 10% и у 4 больных был выше 10%. После курса медикаментозного лечения у 5 больных ВИК был в пределах ±10%, у 22 больных был меньше 10% и у одного больного был выше 10%. Минимальное значение ВИК у одного больного до лечения было –73.1%, у другого больного после лечения было –36.4% (рис. 4, *Б*).

Вычисление величин коэффициента корреляции между ВИК и сердечно-сосудистыми параметрами дало следующие результаты. У спортсменов и больных с гипертонической болезнью статистически значимые величины коэффициента корреляции (r) были ≥+0.28 и ≥+0.27, соответственно, при $p < 0.05$ при прямой возрастающей зависимости одного параметра от другого. При прямой убывающей зависимости одного параметра от другого статистически значимые значения коэффициента корреляции (r) были ≤–0.28 и ≤–0.27, соответственно, при $p < 0.05$.

У спортсменов и больных гипертонией ВИК зависел прямо от ЧСС ($r = 0.82$ и $r = 0.69$) и обратно от АДд ($r = –0.57$ и $r = –0.55$). Это соответствовало представлениям И. Кердо о зависимости ВИК от ЧСС и АДд.

Дополнительно мы проанализировали корреляционную связь между величинами АДс и АДд, а также между ВИК и АДс. У спортсменов между величинами АДс и АДд корреляционная связь отсутствовала. У больных между величинами АДс и АДд корреляционная связь была статистически значимой ($r = 0.78$). Это было обусловлено одновременным уменьшением АДс и АДд в ходе лечения больных (табл. 2).

Величины АДс никак не могли повлиять на значения ВИК, потому что АДс не входит в формулу вычисления ВИК. Однако связь между ВИК и АДс могла быть не функциональной, а статистической. Поэтому имело смысл определить величину коэффициента корреляции между ВИК и АДс. У спортсменов корреляционная связь между величинами ВИК и АДс отсутствовала. У боль-

Таблица 2. Частота сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин), систолическое артериальное давление (АДс, мм рт. ст.), диастолическое артериальное давление (АДд, мм рт. ст.) и вегетативный индекс Кердо (ВИК, %) у больных с гипертонической болезнью до и после лечения

Шифр истории болезни	До лечения				После лечения			
	ЧСС	АДс	АДд	ВИК	ЧСС	АДс	АДд	ВИК
0182*F*	74	170	90	−21.6	68	125	80	−17.6
0281*F*	78	190	90	−15.4	68	130	90	−32.4
0379*F*	100	120	80	20.0	74	120	70	5.4
0477*M*	84	120	80	4.8	66	110	70	−6.1
0574*F*	70	190	120	−71.4	64	130	80	−25.0
0677*M*	60	200	100	−66.7	64	120	80	−25.0
0786*F*	118	180	90	23.7	68	180	80	−17.6
0868*F*	72	180	100	−38.9	70	130	80	−14.3
0977*F*	78	210	100	−28.2	78	180	80	−2.6
1078*F*	100	110	70	30.0	80	110	70	12.5
1176*F*	74	190	90	−21.6	66	130	80	−21.2
1258*F*	70	180	90	−28.6	62	130	80	−29.0
1379*M*	81	150	100	−23.5	70	130	80	−14.3
1465*M*	64	170	90	−40.6	64	130	80	−25.0
1582*F*	82	200	100	−22.0	64	130	80	−25.0
1676*F*	76	160	90	−18.4	66	130	85	−28.8
1779*F*	74	180	100	−35.1	67	120	70	−4.5
1871*F*	74	190	90	−21.6	62	130	80	−29.0
1977*F*	67	170	100	−49.2	66	130	90	−36.4
2064*F*	66	150	90	−36.4	64	130	70	−9.4
2167*M*	70	170	90	−28.6	60	120	80	−33.3
2259*F*	52	160	90	−73.1	68	130	80	−17.7
2380*F*	92	180	110	−19.6	68	130	80	−17.7
2467*F*	75	180	110	−46.7	70	120	80	−14.3
2576*M*	100	190	110	−10.0	72	130	80	−11.1
2677*F*	60	160	90	−50.0	68	120	80	−17.7
2781*M*	108	160	90	16.7	70	120	80	−14.3
$M \pm \sigma$	78.5 ± 3.0	170.7 ± 4.7	94.4 ± 2.0	−24.9 ± 5.2	67.7 ± 0.9	129.4 ± 3.0	79.1 ± 1.0	−17.4 ± 2.2
Статист. значимые отличия	*	*	*		*	*	*	

ных величина ВИК была связана обратной корреляционной связью с величиной АДс ($r = -0.39$). Это было обусловлено положительной корреляционной связью ($r = 0.78$) между значениями АДс и АДд у больных гипертонией.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Теоретический анализ зависимости ВИК от АДд и ЧСС. ВИК вычисляют по формуле: ВИК = = (1 – АДд/ЧСС) × 100%. Но можно вычислить вегетативный индекс (ВИ) и при других взаимоотношениях ЧСС и АДд: ВИ = (1 – ЧСС/АДд) × × 100%, ВИ = (АДд/ЧСС – 1) × 100%, ВИ = = (ЧСС/АДд – 1) × 100%.

При этом полученные результаты тоже будут характеризовать баланс между тонусом СНС и ПСНС. Однако данные индексы нельзя сравнить со значениями ВИК.

При вычислении ВИ с помощью первой формулы, основным параметром, определяющим ВИК, является частное от деления АДд на ЧСС. При этом утрачивается функциональное значение этих параметров. Физиологический смысл частного от деления двух разных сердечно-сосудистых параметров исчезает, и единицы измере-

ния его отсутствуют. Результат деления показывает насколько значение АДд больше или меньше ЧСС.

Принято считать, что в здоровом организме человека АД = 120/80 или 110/70 мм рт. ст., т.е. АДд равно в среднем 75 мм рт. ст. У здорового человека в покое длительность каждого сердечного цикла в среднем равна 0.8 с, при которой ЧСС равна 75 уд./мин. При этих значениях АДд и ЧСС частное от их деления равно единице. При увеличении или уменьшении АДд и ЧСС на одинаковую величину дробь АДд/ЧСС остается равной единице.

В своем исследовании И. Кердо обосновал это положение [1]. Для определения величины дроби АДд/ЧСС у здоровых людей было обследовано 1250 чел. Из них 1000 чел. были практически здоровыми (в возрасте от 9 до 65 лет) и 250 пациентов были с легкими расстройствами психики без органических заболеваний (в возрасте от 17 до 75 лет). Среднее значение частного от деления АДд на ЧСС у здоровых людей равнялось 1.035 ± 0.15 и у пациентов с нарушением психики – 1.036 ± 0.25.

Формула ВИК определяет, на какую величину отличаются значения АДд и ЧСС по сравнению с одинаковыми значениями этих параметров у здорового человека в покое. Для удобства оценки ВИК полученный результат переводится в проценты при умножении его на 100%.

Проведенный нами математический анализ корреляции между ВИК и исходными параметрами показал различие зависимости ВИК от АДд и ЧСС. Графическое представление зависимостей ВИК от АДд и ЧСС дало возможность понять закономерности образования ВИК визуально, что облегчает понимание этих закономерностей. Зависимость между ВИК и АДд обратно пропорциональная. Чем больше АДд, тем меньше ВИК. Зависимость ВИК от ЧСС возрастающая, не прямо пропорциональная. При увеличении ЧСС сначала ВИК увеличивается быстро, но затем это увеличение замедляется, и значения ВИК приближаются к плато.

И. Кердо связывал увеличение ВИК с симпатикотонией и уменьшение – с ваготонией. Для обоснования первоначальных предположений были обследованы 100 испытуемых в положении лежа при подкожном введении 1 мл адреналина. Адреналин вызывал увеличение ЧСС в течение 1 ч, начиная с 2 мин. АДд уменьшалось медленно в течение 1 ч, начиная с 15 мин ВИК постепенно увеличивался до 36%. Это послужило доказательством симпатикотонического действия адреналина на сердечно-сосудистые параметры.

Как известно, адреналин имеет более высокое сродство к β-адренорецепторам по сравнению с α-адренорецепторами. Поэтому адреналин увеличивает ЧСС, возбуждая β_1-адренорецепторы в сердце, и уменьшает АДд, возбуждая β_2-адренорецепторы в сосудах.

У тех же испытуемых уменьшение симпатических влияний на параметры гемодинамики И. Кердо вызывал подкожным введением 1 мл гидергина, обладающего адренолитическим и сосудорасширяющим эффектом. ЧСС уменьшалась в течение 1.5 ч, начиная с 30 мин АДд не изменялось. ВИК уменьшался незначительно в течение 1 ч, а через 1.5 ч до –24%. Полученный результат был интерпретирован, как доказательство уменьшения сипатикотонии при отрицательных значениях ВИК [1].

Исследования И. Кердо показали, что ЧСС изменяется быстрее, а изменения АДд запаздывают. Поэтому ВИК отражает симпатикотонические и ваготонические изменения в организме в большей степени по изменениям ЧСС и в меньшей степени по изменениям АДд.

Несмотря на эти исследования, отсутствуют экспериментальные доказательства прямого влияния СНС и ПСНС на ВИК. При расчете ВИК не учитывали действие других гормонов, увеличивающих или уменьшающих системное давление крови и функции сердца. Не были учтены процессы миогенной регуляции постоянства кровотока в органах и влияние депонирования крови на кровообращение.

И. Кердо полагал, что при симпатикотонии ЧСС увеличивается, а АДд уменьшается. Увеличение ЧСС приводит к увеличению минутного объема крови (МОК) и систолического давления. При этом среднее АД сохраняется постоянным за счет уменьшения периферического сосудистого сопротивления и АДд. При ваготонии ЧСС уменьшается, что сопровождается уменьшением МОК, и для сохранения среднего давления и кровотока АДд увеличивается за счет увеличения сосудистого сопротивления [1].

Можно предполагать, что такой механизм саморегуляции среднего давления происходит при незначительных изменениях ЧСС и АДд у здоровых людей. Но возможен и другой процесс регуляции кровяного давления. Это эффект или феномен Анрепа, при котором увеличение периферического сосудистого сопротивления увеличивает АДс, АДд и среднее АД без изменения ЧСС и ударного объема сердца [20].

Кроме того известно, что одновременное увеличение ЧСС, АДс и АДд происходит при физической и умственной работе, эмоциональном стрессе и гипертонической болезни. Уменьшение ЧСС, АДс и АДд бывает при отдыхе, глубоком сне, коллапсе, гипотонии.

Проведенный теоретический анализ показал, что ВИК является интегральным параметром, который зависит от ЧСС и АДд, взаимодействие которых в формуле вычисления ВИК имеет слож-

ный характер. При некоторых функциональных состояниях организма ВИК адекватно отражает вагосимпатический баланс и может являться надежным критерием изменения вагосимпатического баланса организма [2, 3, 12].

Оценка вагосимпатического баланса у спортсменов и больных гипертонией по величине ВИК. В нашем исследовании сердечно-сосудистых функций спортсменов, при физической нагрузке до предела их физических возможностей были зарегистрированы характерные изменения ВИК. У части спортсменов ВИК был повышен уже в предстартовом состоянии, что, возможно, было связано с настроем на достижение высокого спортивного результата при физической нагрузке. После выполнения нагрузки у большинства спортсменов ВИК увеличивался и становился более 10%, что отражало увеличение тонуса симпатической нервной системы. Полученные результаты соответствовали проведенным нами ранее исследованиям ВИК при физической нагрузке [13–15].

В клинических журналах отсутствуют данные об использовании ВИК для оценки баланса между тонусом СНС и ПСНС у больных с нарушениями АД. Нами была найдена только одна клиническая статья, в которой использовали ВИК для разделения обследованных больных на группы по величине вагосимпатического баланса организма. Было установлено, что симпатикотония, которую оценивали по высоким значениям ВИК, в 70% является сопутствующим фактором для возникновения хронического простатита у мужчин [19].

В связи с отсутствием литературных сведений об изменении ВИК у больных с изменением АД, мы провели у таких больных исследование ВИК. Было установлено, что у больных с гипертонией до лечения и после лечения преобладали отрицательные значения ВИК. В соответствии с теоретическими представлениями о ВИК, это должно было быть свидетельством ваготонии. Но одновременно с этим у больных до лечения были высокое значение АДс, которое является главным показателем диагноза гипертониии. Отрицательные значения ВИК обусловлены высоким значением АДд, которое превышает значение ЧСС. После лечения больных АДс уменьшилось, что было основным показателем успешности лечения. ЧСС также уменьшилась, но АДд осталось выше ЧСС. Поэтому значения ВИК оставались отрицательными. У многих больных гипертонией АДд было больше, чем ЧСС. Это могло быть ошибочно расценено как ваготония.

Следовательно, ВИК адекватно отражает изменение вагосимпатического баланса у людей при изменении ЧСС без существенного изменения АДд. При изменении АДд с сохранением значений ЧСС может возникнуть неправильное представление о вагосимпатическом балансе при анализе величины ВИК. При изучении вагосимпатического баланса в организме человека ВИК должен быть одной из составляющих комплексного обследования здоровых и больных людей.

ВЫВОДЫ

1. Вегетативный индекс Кердо (ВИК), разработанный венгерским врачом И. Кердо, применялся российскими физиологами для оценки баланса тонуса между СНС и ПСНС. ВИК дает косвенную характеристику вагосимпатического баланса в организме, не раскрывая механизмы этого баланса.

2. У спортсменов и больных гипертонией корреляционная связь между ВИК и ЧСС положительная, а между ВИК и АДд – отрицательная, что подтверждает представления И. Кердо.

3. Теоретический анализ показал, что АДд и ЧСС по-разному влияют на величину ВИК. ВИК имеет убывающую прямолинейную зависимость от АДд и возрастающую перевернутую гиперболическую зависимость от ЧСС. ВИК отражает вагосимпатический баланс в организме в большей степени по ЧСС и в меньшей по АДд.

4. Практическое использование ВИК подтверждает, что ВИК рекомендуется применять для характеристики вагосимпатического баланса в организме здоровых людей при изменении их функционального состояния. ВИК создает основу для оценки тонуса СНС и ПСНС без анализа механизмов симпатикотонии или ваготонии.

5. Применение ВИК для оценки вагосимпатического баланса у больных с гипертонией не рекомендуется. При высоких значениях артериального давления у больных с гипертонией ВИК имеет отрицательные значения у многих из них, что может быть неправильно интерпретировано как ваготония.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биометрической этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и в ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАН (Москва).

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kérdö I.* Ein aus Daten der Blutzirkulation kalkulierter Index zur Beurteilung der vegetativen Tonuslage // Acta Neurovegetativa. 1966. V. 29. № 2. P. 250.
2. Вегетативные расстройства: клиника, лечение и диагностика. Под ред. Вейна А.М. М.: МИА, 2000. 752 с.
3. *Вейн А.М., Соловьева А.Д., Колосова О.А.* Вегетососудистая дистония. М.: Медицина, 1981. 320 с.
4. *Криволапчук И.А.* Факторная структура функционального состояния детей 5–6 лет // Физиология человека. 2014. Т. 40. № 5. С. 48.
   Krivolapchuk I.A. Factor structure of the functional state of five- and six-year-old children // Human Physiology. 2014. V. 40. № 5. P. 513.
5. *Криволапчук И.А., Чернова М.Б.* Факторная структура функционального состояния мальчиков 13–14 лет // Физиология человека. 2017. Т. 43. № 2. С. 43.
   Krivolapchuk I.A., Chernova M.B. The factor structure of the functional state of boys agead 13–14 years // Human Physiology. 2017. V. 43. № 2. P. 157.
6. *Илюхина В.А., Кривощапова М.Н., Манжосова Г.В.* Особенности мозговых механизмов регуляции уровня бодрствования, сформированности познавательных функций и приспособительных реакций у детей с синдромом дефицита внимания и гиперреактивности и здоровых сверстников // Физиология человека. 2011. Т. 37. № 2. С. 25.
   Ilyukhina V.A., Krivoshchapova M.N., Manzhosova G.V. Characteristies of the cerebral mechanisms controling the level of wakefulness, the maturity of cognitive functions, and adaptive responses in children with attention deficit hyperreactivity disorder and healthy children of the same age // Human Physiology. 2011. V. 37. № 2. P. 148.
7. *Будук-оол Л.К., Айзман Р.И., Красильникова В.А.* Динамика процессов адаптации к обучению студентов, проживающих в дискомфортном климато-географическом регионе // Физиология человека. 2009. Т. 35. № 4. С. 103.
   Buduk-ool L.K., Aizman R.I., Krasilnikova V.A. The time required for adapting to academic load for students living in a climatically uncomfortable geographic region // Human Physiology. 2009. V. 35. № 4. P. 484.
8. *Поборский А.Н., Юрина М.А., Лопацкая Ж.Н., Дерягина Е.Ю.* Уровень тревожности и состояние вегетативной регуляции в зависимости от прогнозируемой экзаменационной оценки у студентов, проживающих в неблагоприятных условиях среды // Физиология человека. 2009. Т. 35. № 4. С. 28.
   Poborsky A.N., Yurina M.A., Lopatskaya Zh.N., Deryagina E.Yu. The level of anxiety and state of autonomic regulation depending on the predicted examination grades in students living under unfavorable environmental conditions // Human Physiology. 2009. V. 35. № 4. P. 416.
9. *Солонин Ю.Г., Марков А.Л., Бойко Е.Р. и др.* Функциональные показатели у участников сателлитных исследований по проекту “Марс-500” на севере России в разные сезоны года // Физиология человека. 2014. Т. 40. № 6. С. 58.
   Solonin Yu.G., Markov A.L., Boyko E.R. et al. Functional indices in participants of the satellite study on the Mars-500 project in the Russian north during different seasons // Human Physiology. 2014. V. 40. № 6. P. 634.
10. *Солонин Ю.Г., Марков А.Л., Бойко Е.Р. и др.* Сравнение результатов сателлитных исследований по проекту “Марс-500” в Сыктывкаре и Алмааты // Физиология человека. 2015. Т. 41. № 3. С. 98.
    Solonin Yu.G., Markov A.L., Boyko E.R. et al. Comparison of the results of satellite studies of the Mars-500 experiment in Syktyvkar and Almaty // Human Physiology. 2015. V. 41. № 3. P. 311.
11. *Авилов О.В., Судаков К.В.* Эффекты обонятельных воздействий на студентов с разным тонусом вегетативной нервной системы // Физиология человека. 2008. Т. 34. № 6. С. 63.
    Avilov O.V., Sudakov K.V. Effects of olfactory stimuli on students with different tones of the autonomic nervous system // Human Physiology. 2008. V. 34. № 6. P. 709.
12. *Граевская Н.Д., Долматова Т.И.* Спортивная медицина: курс лекций и практических занятий. М.: Советский спорт, 2004. 349 с.
13. *Фудин Н.А., Классина С.Я., Вагин Ю.Е.* Восстановительные эффекты тепловых воздействий после интенсивной физической нагрузки // Вестник новых медицинских технологий. 2013. Т. 20. № 4. С. 74.
14. *Фудин Н.А., Классина С.Я., Вагин Ю.Е., Пигарева С.Н.* Физиологические эффекты влияния гиповентиляционного дыхания на кардиореспираторную и мышечную систему человека при физической работе до отказа // Спортивная медицина: наука и практика. 2016. Т. 6. № 3. С. 22.
15. *Фудин Н.А., Классина С.Я.* Влияние гиповентиляционного дыхания на кардиореспираторные показатели у лиц с различным исходно-преобладающим вегетативным тонусом при выполнении физической работы до отказа // Вестник новых медицинских технологий. 2017. Т. 24. № 3. С. 128.
16. *Судаков К.В., Андрианов В.В., Вагин Ю.Е. и др.* Нормальная физиология: учебник. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. 880 с.
17. *Андрианов В.В., Бадиков В.И., Бунина Т.П. и др.* Нормальная физиология: практикум. М.: МИА, 2016. 232 с.
18. *Судаков К.В., Андрианов В.В., Вагин Ю.Е., Киселев И.И.* Физиология человека: атлас динамических схем. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. 416 с.
19. *Зайцев Д.Н., Говорин А.В.* Некоторые маркеры эндотелиальной дисфункции у больных хроническим простатитом // Артериальная гипертензия. 2015. Т. 21. № 4. С. 436.

Kerdo Vegetative Index: Role of Initial Parameters, Areas and Limitations of Application

Yu. E. Vaguine[a, b, *], S. M. Deunezhewa[a, b], A. A. Khlytina[a, b]

[a]*Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia*
[b]*Anokhin Research Institute of Normal Physiology, Moscow, Russia*
**E-mail: yuvaguine@yandex.ru*

The Kerdo Vegetative Index (KVI) was developed by the Hungarian physician I. Kerdo and was used by Russian physiologists to assess the balance of tone between the sympathetic and parasympathetic nervous systems. KVI gives an indirect characteristic of the vagosympathetic balance in the body, without revealing the mechanisms of this balance. It was found that in athletes and patients with hypertension, the correlation between KVI and heart rate (HR) is positive, and between KVI and diastolic blood pressure (BPd) negative, which confirms the ideas of I. Kerdo. A theoretical graphical analysis of the dependence of the KVI on its constituent parameters showed that the KVI has a decreasing rectilinear dependence on BPd and increasing inverted hyperbolic dependence on HR. KVI reflects the vagosympathetic balance in the body to a greater extent in HR and to a lesser extent in BPd. KVI correctly characterizes the vagosympathetic balance in the body of athletes before and after physical activity. The use of KVI to assess vagosympathetic balance in patients with hypertension is not recommended. With high blood pressure in patients with hypertension, KVI values can lead to an erroneous conclusion about the vagosympathetic balance in the body.

Keywords: Kerdo vegetative index, vagosympathetic balance, sympathicotonia, vagotonia, heart rate, systolic and diastolic blood pressure.