

ТИШУТИН Николай Алексеевич

КИСЕЛЬ Алеся Дмитриевна

РУБЧЕНЯ Ирина Николаевна, канд. биол. наук, доцент

*Белорусский государственный университет физической культуры,  
Минск, Республика Беларусь*

## ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОСТУРАЛЬНОГО БАЛАНСА И ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА СПОРТСМЕНОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ДВИГАТЕЛЬНО-КОГНИТИВНЫХ ТЕСТОВ

Статья посвящена изучению особенностей взаимосвязи постурального баланса и вегетативной регуляции сердечного ритма спортсменов при прохождении двигательно-когнитивных тестов на стабилоплатформе. Установлено, что для оптимального уровня постурального баланса и одновременного решения когнитивных задач необходим достаточно высокий уровень центральной регуляции, который должен сочетаться с оптимальным соотношением активности вазомоторного центра, а также симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы. Функционирование вегетативной нервной системы целесообразно рассматривать как один из компонентов создания оптимальных условий для поддержания постурального баланса.

**Ключевые слова:** постуральный баланс; вегетативная регуляция; сердечный ритм; спортсмены; двигательно-когнитивные тесты.

## RELATIONSHIP OF POSTURAL BALANCE AND VEGETATIVE REGULATION OF THE HEART RATE OF ATHLETES DURING MOTOR-COGNITIVE TESTS

The article is devoted to the study of the peculiarities of the relationship between postural balance and vegetative regulation of the heart rate in athletes during the motor-cognitive tests on a stabiloplatfrom. It was found that for the optimal level of postural balance and simultaneous solution of cognitive tasks, a sufficiently high level of central regulation is required, which should be combined with the optimal ratio of the activity of the vasomotor center, as well as the sympathetic and parasympathetic divisions of the vegetative nervous system. It is advisable to consider the functioning of the vegetative nervous system as a component of creating optimal conditions for maintaining postural balance.

**Keywords:** postural balance; vegetative regulation; heart rate; athletes; motor and cognitive tests.

**Введение.** Постуральный баланс (ПБ) – это координационная способность, проявляющаяся в поддержании и управлении общим центром масс тела в пределах базы поддержки его опоры для недопущения падения либо потери равновесия в статических и динамических положениях [1, 2, 5]. Постуральный баланс рассматривается с позиций положения тела в пространстве и условий окружающей среды. Так, в статических условиях поддержание ПБ заключается в минимизации раскачивания тела в простых стойках (на двух ногах и т. п.) или сложных с небольшой опорой (стойка на руках, стойка на одной ноге). В динамических условиях ПБ поддерживается при выполнении сложных техниче-

ских действий или сторонних механических воздействий (толчки) [3].

Оптимальный постуральный баланс играет крайне важную роль как в жизнедеятельности обычного человека, так и для выполнения спортивных упражнений. Эффективность его поддержания зависит от работы сенсорных систем, рецепторные отделы которых постоянно посылают афферентную информацию в центральную нервную систему (ЦНС). В свою очередь, ЦНС реализует корковые и подкорковые двигательные ответы, активирующие деятельность аксиальной мускулатуры и мышц, позволяя вносить постоянные корректировки в позные реакции [1].

С одной стороны, вертикальная поза человека накладывает определенный отпечаток на работу всех физиологических систем его организма, а с другой, для оптимального поддержания ПБ необходим определенный уровень функционирования этих систем, а также их межсистемного взаимодействия. В связи с этим, отмечается отсутствие единой концепции, которая объясняла бы развитие соматических и вегетативных реакций, создающих условия для эффективной постуральной устойчивости [4, 5]. Особенно важными и актуальными видятся исследования по проблемам взаимодействия ПБ и вегетативных функций [1, 4].

При выполнении двигательных действий, в том числе прохождении двигательного-когнитивных тестов (ДКТ) в вертикальной стойке, вегетативная нервная система (ВНС) является мобилизирующей и активизирующей системой. Характеризуя деятельность ВНС, целесообразно рассматривать ее с позиции баланса активности симпатического и парасимпатического звена. Симпатическая нервная система обеспечивает активацию деятельности органов, физиологических систем и организма в целом, а также мобилизацию энергетических ресурсов, необходимых для адаптации. Напротив, парасимпатический отдел отвечает за восстановление физиологических показателей после выполненной физической работы, активизирует процессы биосинтеза, тем самым восстанавливая энергетические ресурсы организма [6].

В связи с этим весьма актуальным видится исследование взаимосвязи постурального баланса при выполнении ДКТ и особенностей вегетативной регуляции сердечного ритма в текущий момент у спортсменов.

Цель – выявление особенностей взаимосвязи постурального баланса и вегетативной регуляции сердечного ритма спортсменов при выполнении статического и

динамического тестов на стабиллоплатформе.

**Материалы и методы.** Исследование проведено на базе лаборатории кафедры физиологии и биохимии Белорусского государственного университета физической культуры с информированного согласия участников. Обследованы 32 спортсмена мужского пола циклических видов спорта, преимущественно легкоатлеты (легкая атлетика – 20, лыжные гонки – 8, велоспорт – 4). Уровень спортивной квалификации обследованных (II разряд – 6, I разряд – 16, КМС – 10). Средний возраст спортсменов составлял  $19,4 \pm 1$  лет. Спортсмены обследовались в утреннее время с 9.00 до 11.00. На момент обследования все испытуемые были практически здоровы и не болели острыми респираторными и другими заболеваниями.

Дизайн исследования представлял собой синхронную запись выполнения двигательного-когнитивных тестов на стабиллоплатформе и вариабельности сердечного ритма (ВСР). В качестве ДКТ применялись статический и динамический тесты (оба по 60 секунд). Статический тест (СТ) относится к тестам типа «мишень» и заключается в удержании проекции центра давления (ЦД) в течение 60 секунд в выделенной зоне экрана монитора, которая представляет собой синюю мишень [7]. Динамический тест (ДТ) требовал от испытуемого наведения метки ЦД на круги-мишени, которые появлялись после необходимого удержания метки ЦД в центральном круге [7]. Тесты проводились с использованием стабиллометрической платформы ST-150 с программным обеспечением STPL (ООО «Мера-ТСП», г. Москва).

Относительно устойчивая вертикальная стойка и незначительные колебания ЦД связанные с изменением угла в голеностопном суставе и, крайне редко, в тазобедренном суставе позволили нам параллельно с выполнением тестов на

стабилоплатформе регистрировать вариабельность сердечного ритма. Для ее регистрации использовался 12-канальный кардиограф «Полиспектр-8» фирмы «Нейрософт» (г. Иваново). Осуществлялась запись разброса кардиоинтервалов (КИ) в положении стоя на протяжении всего процесса выполнения статической и динамической пробы (около 100 КИ). Все аппаратные устройства, использованные в настоящем исследовании, прошли метрологическую проверку.

Для оценки ПБ и эффективности выполнения ДКТ применялись следующие показатели: L – длина статокинезиограммы (мм), V – скорость перемещения ЦД (мм/с), S – площадь статокинезиограммы с 95 % доверительным интервалом (мм<sup>2</sup>), D<sub>x</sub>, D<sub>y</sub> – среднеквадратическое отклонение ЦД во фронтальной и сагиттальной плоскостях (мм), A<sub>m</sub> – удельные энергозатраты на килограмм веса (мДж/кг), очки – количество набранных очков в пробах, скорость реакции – показатель скорости реакции на появление кругов-мишеней в динамическом тесте (секунды).

Для оценки уровня ВСР в период выполнения тестов применялись показатели кардиоинтервалографии по Р.М. Баевскому и спектрального анализа: A<sub>Mo</sub> – амплитуда моды (%); ВПП – вегетативный показатель ритма; ИН – индекс напряжения регуляторных систем; Total (mc<sup>2</sup>) – отражает суммарную мощность спектра; LF/HF – отношение значений низкочастотных и высокочастотных волн ВСР; HF (%), LF (%), VLF (%) – мощность спектра одного из компонентов ВСР в % от суммарной мощности колебаний [8].

Статистическая обработка данных проводилась с применением программ Microsoft Excel 2010 и Statistica 12. Нормальность распределения проверялась с использованием критерия Шапиро – Уилка. Статистические данные с нормальным распределением представлены в виде  $X_{cp} \pm S_{ct.откл}$ , а с ненормальным в виде

медианы (Me) и центилей (25 %, 75 %). Для определения уровня достоверности различий использовали U-критерий Манна – Уитни (Pu), а в случае нормального распределения – t-критерий Стьюдента (Pt). Корреляционный анализ проводился с использованием ранговой корреляции Spearman (r) или корреляции Пирсона в зависимости от распределения полученных данных.

**Результаты и обсуждение.** Постуральный баланс в настоящем исследовании выступает как базовый компонент, от которого зависит успешность прохождения двигательного-когнитивных тестов с биологической обратной связью [9]. Данные тесты дают информацию о состоянии как двигательной сферы спортсмена, так и когнитивной. Эта особенность приближает полученные результаты к специфике спортивной деятельности, в которой спортсмену необходима мощная активизация когнитивных процессов с целью анализа происходящей ситуации и выбора наиболее оптимального тактического решения с одновременным выполнением сложных двигательных действий и технических элементов.

В таблице 1 представлены данные выполнения ДКТ спортсменами циклических видов спорта. Помимо того, что оба теста предъявляют высокие требования к уровню постурального баланса, у них есть также ряд своих особенностей. При прохождении статического теста все стабилметрические показатели значительно ниже, чем в ДТ. Это объясняется тем, что результат данного теста оказывается более высоким при меньшем значении стабилметрических показателей, что подтверждается данными их связи с набранными очками: V (-0,864, p<0,05), S (-0,895, p<0,05), A<sub>m</sub> (-0,719, p<0,05). Результат в динамическом тесте более сложно увязан со стабилметрическими показателями, поскольку их увеличение, с одной стороны, позволяет спортсмену набирать большее количество очков, но с

другой, их большие значения могут быть маркером неоптимальности выбора траектории движения к метке. Связь количества очков с показателями постурального баланса в двигательном тесте следующая: V (-0,218), S (-0,480), скорость реакции (-0,923). Наиболее информативными показателями для оценки результатов ДТ являются скорость реакции и количество набранных очков.

При анализе вегетативного обеспечения сердечного ритма при прохождении обоих тестов отмечена схожая тенденция у более успешно их проходивших спортсменов. В связи с этим, в таблице 2 рассмотрены показатели ВСП спортсменов в совокупности по обоим тестам в группах выше и ниже среднего (по количеству набранных очков).

Группа с результатами выполнения ДКТ выше среднего характеризуется более высокими значениями индекса напряжения (выше среднего – 175, ниже среднего – 126), АМо (выше среднего – 44,6 %, ниже среднего – 38,4 %), ВПР (выше среднего – 7,2 у.е., ниже среднего – 6,2 у.е.). В волновом спектре сердечного ритма в обеих группах отмечается преобладание низкочастотных,

однако проходившие ДКТ более успешно характеризуются меньшим вкладом %VLF (выше среднего – 27,4 %, ниже среднего – 32,4 %) в регуляцию и большим %HF (выше среднего – 25,2 %, ниже среднего – 20 %). Таким образом, вегетативная регуляция, которая рассматривается как один из компонентов создания оптимальных условий для прохождения ДКТ у более успешных спортсменов, характеризуется высоким уровнем централизации управления сердечным ритмом. Также на фоне высокой активности вазомоторного центра (%LF), группа с высокими результатами по пробам обладает меньшим вкладом надсегментарных и метаболических влияний (%VLF), а большей активностью парасимпатического отдела ВНС (%HF).

Корреляционная связь показателей вегетативной регуляции сердечного ритма с показателями, отражающими результат выполнения СТ и ДТ представлена на рисунке 1.

В статическом тесте показатель АМо связан с площадью колебаний центра давления (-0,289), показателем энергозатрат (-0,438), а также количеством очков (+0,334). По показателям ИВР и ИН отме-

Таблица 1. – Полученные результаты при выполнении двигательно-когнитивных тестов (Ме; 25 %; 75 %)

Показатели	Статическая	Динамическая
Длина траектории (мм)	519 (445; 813)	2310 (1985; 2599)
Скорость (мм/с)	8,7 (7,5; 13,6)	38,6 (33; 43)
Площадь статокинезиограммы с 95 % доверительным интервалом (мм <sup>2</sup> )	57,6 (46,3; 126,7)	5141 (4239; 5383)
Среднеквадратическое (ЦД) относительно X (мм)	1,9 (1,6; 2,7)	20,9 (17,5; 23,5)
Среднеквадратическое (ЦД) относительно Y (мм)	2,5 (2; 3,5)	20,5 (19,2; 22,8)
Работа без учета массы (мДж/кг)	47,3 (40,9; 99)	719 (468; 834)
Очки	42 (30; 60)	11 (10; 12)
Скорость реакции (с)	–	2,72 (2,48; 3,3)

Таблица 2. – Уровень вариабельности сердечного ритма спортсменов, показавших результаты в двигательнo-когнитивных тестах выше и ниже среднего (Ме; 25 %; 75 %; Xcp. ± Cт.откл.)

Показатель	Выше среднего (n=33)	Ниже среднего (n=31)	Достоверность
ЧСС	79±13,1	77,8±9,2	$P_t=0,385$
АМо	44,6±12	38,4±9	$P_t=0,047$
ИН	175±82	126±62	$P_t=0,083$
ВГР	7,2±3,9	6,2±2,4	$P_t=0,171$
TP, мс <sup>2</sup>	2396 (1334; 4263)	2406 (1981; 1803)	$P_u=0,461$
LF/HF	1,8 (1,1; 4,1)	2,9 (1,4; 5,9)	$P_u=0,222$
%VLF	27,4±13,6	32,4±15,2	$P_t=0,160$
%LF	47,4±15,8	47,6±18,2	$P_t=0,487$
%HF	25,2±13,5	20±11,9	$P_t=0,124$

чается та же тенденция направленности и силы связи с показателями СТ, что и с амплитудой моды. Симпато-вагальный индекс и процентный вклад очень низкочастотных волн в регуляцию сердечным ритмом положительно связаны с уровнем энергозатрат на выполнение СТ и отрицательно – с количеством набранных спортсменами очков. То есть в статическом тесте усиление активности центрального контура в регуляции (по данным АМо, ИВР, ИН) сопровождается меньшими значениями стабилметрических показателей

и, соответственно, большим количеством набранных очков. Также большему их количеству способствуют меньшие значения LF/HF и %VLF.

Количество набранных очков в динамическом тесте более сложно связано со стабилметрическими показателями, чем в СТ (рисунок). Наиболее информативным показателем здесь оказывается скорость реакции на появляющуюся метку, которая сильно коррелирует с количеством набранных очков. Так, показатель ИН положительно связан с уровнем энерго-

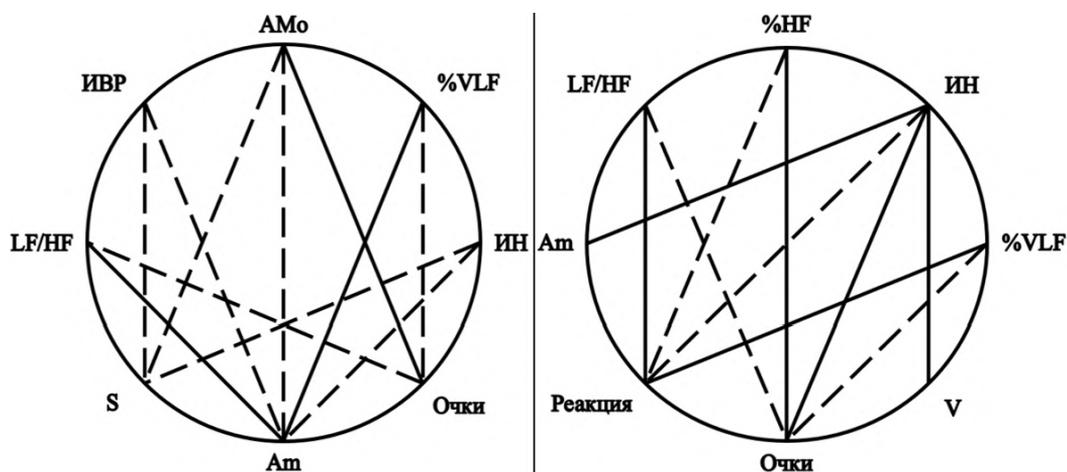


Рисунок – Корреляционная связь вариабельности сердечного ритма и показателей эффективности выполнения ДКТ (слева – статический тест, справа – динамический тест; «—» – положительная связь, «- -» – отрицательная)

затрат (+0,295), скоростью колебаний ЦД (V) и отрицательно связан со скоростью реакции на появляющуюся метку (-0,222). Показатели LF/HF и %VLF положительно связаны со скоростью реакции (+0,316 и +0,261, соответственно), что обуславливает их отрицательную взаимосвязь с количеством очков за пробу. Несмотря на явное преобладание в волновом спектре сердечного ритма при выполнении ДТ низкочастотных компонентов, увеличение в этом соотношении компонента %HF положительно влияет на скорость реакции (-0,354) и, соответственно, на количество набранных очков (+0,479, при  $p < 0,05$ ).

**Заключение.** Таким образом, выявлены особенности взаимосвязи постурального баланса и эффективности выполнения двигательного-когнитивных тестов с вегетативной регуляцией сердечного ритма спортсменов. Особенности функционирования вегетативной нервной системы можно рассматривать как один из компонентов создания оптимальных условий для поддержания постурального баланса и прохождения ДКТ. Причем более успешно их проходившие спортсмены характеризуются высоким уровнем централизации в управлении сердечным

ритмом. Также более высокие результаты в ДКТ сочетаются с преобладанием в регуляции низкочастотных компонентов ВСП и высокой активностью вазомоторного центра, меньшим вкладом надсегментарного уровня регуляции и метаболических влияний, и, напротив, большим уровнем активности парасимпатического звена ВНС. Вероятно, для оптимального уровня постурального баланса и одновременного выполнения когнитивных задач необходим достаточно высокий уровень центральной регуляции, которая обеспечивается оптимальным соотношением активности вазомоторного центра, а также симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы. В спортивной деятельности необходим достаточно высокий уровень активизации и мобилизации ресурсов организма, выражающийся в усилении симпатотонии и централизации управления, который, помимо всего прочего, обеспечивает фон для эффективного постурального баланса. Его высокий уровень крайне важен для выполнения практически любого технического действия, а его неоптимальность может выступать фактором, лимитирующим спортивный результат.

1. Грибанов, А. В. Физиологические механизмы регуляции постурального баланса человека (обзор) / А. В. Грибанов, А. К. Шерстенникова // *Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Мед.-биол. науки.* – 2013. – № 4. – С. 20–29.

2. Longitudinal Study Evaluating Postural Balance of Young Athletes / N. Steinberg [et al.] // *Perceptual and Motor Skills.* – 2016. – 122 (1). – P. 256–279.

3. Paillard, T. Relationship between sport expertise and postural skills / T. Paillard // *Frontiers in Psychology.* – 2019. – Vol. 10. – P. 14–28.

4. Кораблёва, Ю. Б. Характеристика ритма и проводимости сердца у спортсменов циклических и ациклических видов спорта в зависимости от механизмов поддержания вертикальной позы : дис. ... канд. биол. наук: 03.03.01 / Ю. Б. Кораблёва. – Челябинск, 2020. – 145 с.

5. Гудков, А. Б. Постуральный баланс у пожилых на севере : моногр. / А. Б. Гудков, А. В. Дёмин, А. В. Грибанов. – Архангельск : Северное отд-ние Акад. полярной медицины и экстремальной экологии человека, 2014. – 189 с.

6. Кудря, О. Н. Роль вегетативной регуляции в формировании механизмов долговременной адаптации к физическим нагрузкам / О. Н. Кудря // *Лечебная физкультура и спортивная медицина.* – 2011. – № 2. – С. 17–24.

7. Кубряк, О. В. Руководство по работе с программой STPL / О. В. Кубряк, С. С. Гроховский, А. В. Доброродный. – М. : Мера-ТСП, 2016. – 34 с.

8. Шлык, Н. И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов : моногр. – Ижевск : Удмуртский университет, 2009. – 255 с.

9. Кубряк, О. В. Практическая стабилметрия. Статические двигательные-когнитивные тесты с биологической обратной связью по опорной реакции / О. В. Кубряк, С. С. Гроховский. – М. : Маска, 2012. – 88 с.