

ТИШУТИН Николай Алексеевич

ЛОЙКО Татьяна Васильевна, канд. пед. наук, доцент

РУБЧЕНЯ Ирина Николаевна, канд. биол. наук, доцент

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

ВЕГЕТАТИВНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ФУТБОЛИСТОВ В ПРОЦЕССЕ ПОДДЕРЖАНИЯ ПОСТУРАЛЬНОГО БАЛАНСА И РЕШЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ ЗАДАЧ

В статье рассмотрены особенности вегетативной регуляции сердечного ритма у футболистов в процессе поддержания постурального баланса в двухопорной и одноопорной стойках с одновременным решением когнитивных задач. Выявлено, что решение дополнительной когнитивной задачи в процессе поддержания вертикальной позы сопровождается снижением парасимпатических влияний, а также повышением активности симпатической нервной системы и центрального контура управления ритмом сердца. Футболисты по сравнению со студентами, не занимающимися спортом, как при одиночном поддержании позы, так и в условиях выполнения двойных задач, характеризуются более экономным функционированием сердечно-сосудистой системы, вегетативная регуляция которой осуществляется с меньшим участием симпатической нервной системы и центрального контура, а также большим включением парасимпатической нервной системы. Полученные результаты дополняют имеющиеся представления о роли вегетативного регуляторного звена в реализации специфических для футболистов двойных задач.

Ключевые слова: вегетативная регуляция сердечного ритма; постуральный баланс; двойные задачи; футболисты; когнитивные задачи; двухопорная стойка; одноопорная стойка; сердечно-сосудистая система; вариабельность сердечного ритма.

VEGETATIVE REGULATION OF HEART RATE IN FOOTBALL PLAYERS IN THE PROCESS OF MAINTAINING POSTURAL BALANCE AND SOLVING COGNITIVE TASKS

The article examines the features of autonomic regulation of heart rate in football players in the process of maintaining postural balance in double-support and single-support stances while simultaneously solving cognitive problems. It was revealed that solving an additional cognitive task in the process of maintaining a vertical posture is accompanied by a decrease in parasympathetic influences, as well as an increase in the activity of the sympathetic nervous system and the central circuit for controlling heart rhythm. Football players, compared to students who do not go in for sports, both when maintaining a single posture and when performing dual tasks, are characterized by a more economical functioning of the cardiovascular system, the autonomic regulation of which is carried out with less participation of the sympathetic nervous system and the central circuit, as well as a greater activation of the parasympathetic nervous system. The results obtained complement the existing ideas about the role of the autonomic regulatory link in the implementation of dual tasks specific to football players.

Keywords: types of autonomic regulation of heart rate; postural balance; dual tasks; football players; cognitive tasks; two-support stance; single-support stance; the cardiovascular system; heart rate variability.

В игровой деятельности футболистов присутствуют ситуации, в которых необходимо одновременно решать постуральные и когнитивные задачи [1]. Футболисты постоянно анализируют изменяющуюся игровую ситуацию на поле с целью выбора наиболее оптимальных позиций и технико-тактических действий, при этом параллельно поддерживая постуральный

баланс (ПБ) в двухопорных и одноопорных стойках [2]. Данные условия спортивной деятельности футболистов, связанные с решением нескольких одновременных задач разного типа, можно обозначить как двойные задачи.

Совместное выполнение постуральной и когнитивной задач требует активизации вегетативного регуляторного звена,

которое необходимо для реализации трофотропных и эрготропных функций организма. Сегментарные и надсегментарные отделы вегетативной нервной системы (ВНС) являются важным звеном реализации интегративных функций, обеспечивающих целесообразные реакции организма, направленных на его адаптацию к изменяющимся условиям окружающей среды, а также составляющих основу успешного выполнения двойных задач [3].

К настоящему времени выявлены особенности вегетативной регуляции сердечного ритма в процессе поддержания позы в двухопорной и одноопорной стойках у футболистов [4, 5]. Однако малочисленны исследования, связанные с изучением вегетативной регуляции сердечного ритма футболистов при выполнении двойных задач, характерных для их вида спорта. Результаты подобных исследований расширят имеющиеся представления о роли вегетативного регуляторного звена в обеспечении постурального контроля в процессе поддержания различных поз с параллельным решением когнитивных задач. Это обуславливает целесообразность настоящего исследования.

Цель исследования – выявление особенностей вегетативной регуляции сердечного ритма у футболистов в процессе поддержания постурального баланса в двухопорной и одноопорной стойках в условиях решения когнитивных задач и при их отсутствии.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 100 студентов Белорусского государственного университета физической культуры. Все исследуемые были мужского пола в возрасте от 17 до 20 лет. Основную группу составили 50 студентов, являвшихся действующими игроками различных футбольных клубов Республики Беларусь. Все футболисты имели I или II спортивные разряды. Стаж занятий футболом превышал 10 лет. Группа контроля состояла из 50 студентов-сверстников,

которые не имели спортивных разрядов и не занимались спортом. Все студенты обследовались в одно и то же время суток (9.00–11.00).

Условия выполнения двойных задач создавались с использованием стабилметрической платформы “ST-150” (ООО Мера-ТСП, г. Москва) и монитора “Acer V136L”. Сначала выполнялась только одна задача – поддержание ПБ в двухопорной стойке и одноопорной стойке. Одноопорная стойка поддерживалась на недоминирующей ноге, которая определялась с использованием методики Е.М. Бердичевской [6].

Далее решались двойные задачи в виде поддержания ПБ в двухопорной и одноопорной стойках с параллельным решением когнитивных задач. Когнитивные задачи заключались в просмотре и анализе нарезки моментов футбольного матча от первого лица. Сначала было необходимо подсчитать количество передач первого лица (подсчет передач), а затем общее количество голов и голов с участием первого лица (подсчет голов).

Последовательность решения задач участниками исследования:

1. Поддержание ПБ в двухопорной стойке (в течение 60 секунд).
2. Поддержание ПБ в одноопорной стойке (в течение 60 секунд).
3. Поддержание ПБ в двухопорной стойке с подсчетом передач (в течение 60 секунд).
4. Поддержание ПБ в одноопорной стойке с подсчетом передач (в течение 60 секунд).
5. Поддержание ПБ в двухопорной стойке с подсчетом голов (в течение 60 секунд).
6. Поддержание ПБ в одноопорной стойке с подсчетом голов (в течение 60 секунд).

Синхронно с выполнением двойных задач на электрокардиографе «Полиспектр-8» фирмы «Нейрософт» (г. Иваново, РФ) осуществлялась регистрация кардиоинтервалограммы. Производился автоматический расчет показателей

вариабельности сердечного ритма (BCP), который позволил выявить особенности текущей вегетативной регуляции сердечного ритма. Для анализа BCP использовалось то количество кардиоинтервалов, которое попадало в 60-секундный регистрируемый промежуток (около 80–110 кардиоинтервалов). Из анализируемого ряда исключались все артефакты, а также эктопические сокращения и ритмы.

С целью характеристики особенностей вегетативной регуляции сердечного ритма использовали следующие показатели временного и спектрального анализа BCP: ЧСС – частота сердечных сокращений (уд/мин), ИН – индекс напряжения (у. е.), RMSSD – квадратный корень из суммы разностей ряда последовательных пар кардиоинтервалов (мс), TP – показатель суммарной мощности спектра (мс²), %VLF – процентный вклад очень низкочастотных волн в общую мощность спектра, %LF – процентный вклад низкочастотных волн в общую мощность спектра, %HF – процентный вклад высокочастотных волн в общую мощность спектра.

Полученные результаты статистически обрабатывались с использованием программ Microsoft Excel 2010 и Statistica 12. Поскольку большая часть анализируемых данных характеризовалась ненормальным распределением, то для описания результатов использовалась медиана (Me) и интерквартильный размах (25 %, 75 %). Для определения достоверности межгрупповых различий применялся U-критерий Манна – Уитни. Внутригрупповые различия определялись с использованием W-критерия Уилкоксона. Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. В условиях поддержания позы в двухопорной стойке без решения когнитивных задач у представителей основной группы значения ЧСС и ИН оказались ниже по сравнению с группой контроля соответственно на 10 %

($p < 0,05$) и 36 % ($p < 0,05$) (таблица). Значения показателей RMSSD и TP не имели достоверных межгрупповых различий, однако у представителей основной группы они были выше по сравнению с группой контроля соответственно на 17 и 9 %. Процентный вклад волн различных частот в регуляцию сердечным ритмом также не имел значимых межгрупповых различий.

Подключение когнитивной задачи в виде подсчета передач в процессе поддержания двухопорной стойки у представителей основной группы привело к достоверному увеличению значений ЧСС – на 11 % ($p < 0,05$), ИН – на 63 % ($p < 0,05$) и %LF – на 8 % ($p < 0,05$). В группе контроля отмечалась схожая динамика анализируемых показателей. Их прирост составил соответственно 6 % ($p < 0,05$), 55 % ($p < 0,05$) и 40 % ($p < 0,05$).

Добавление к поддержанию двухопорной стойки когнитивной задачи в виде подсчета голов сопровождалось схожей динамикой значений ЧСС, ИН и %LF, причем в обеих исследуемых группах. В процессе поддержания двухопорной стойки с параллельным подсчетом как передач, так и голов, значения RMSSD у представителей основной группы снижались на 21 % ($p < 0,05$) и 25 % ($p < 0,05$) соответственно. В группе контроля в аналогичных условиях значения RMSSD снижались на 25 % ($p < 0,05$) как при подсчете передач, так и голов (таблица).

Поддержание ПБ в двухопорной стойке с параллельным подсчетом передач у представителей основной группы сопровождалось более низкими значениями показателей ЧСС на 6 % ($p < 0,05$) и ИН – на 31 % ($p < 0,05$), а также более высокими значениями RMSSD – на 22 % ($p < 0,05$) по сравнению с группой контроля. Решение двойной задачи, связанной с подсчетом голов в двухопорной стойке, характеризовалось схожими различиями значений анализируемых показателей BCP у обеих исследуемых групп. Однако достоверные

Таблица – Показатели вариабельности сердечного ритма в процессе поддержания постурального баланса в двухопорной и одноопорной стойках без решения когнитивных задач, а также при их параллельном решении у представителей основной группы и группы контроля

Условия	Показатель	Основная группа (n=50)		Группа контроля (n=50)	
		Стойка			
		двухопорная стойка	одноопорная стойка	двухопорная стойка	одноопорная стойка
Поддержание позы без решения когнитивных задач	ЧСС, уд/мин	76* ^{&^} [67; 89]	81* ^{&} [74; 90]	84* [^] [74; 95]	90* [79; 102]
	ИИ, у. е.	128* ^{&^} [89; 199]	170* [116; 322]	201* [110; 284]	235* [151; 377]
	RMSSD, мс	28* [^] [21; 39]	26* [15; 34]	24* [^] [17; 30]	19* [13; 28]
	TP, мс ²	2468* [1766; 4070]	2131* [1113; 3517]	2256 [1168; 3357]	1785 [1018; 2766]
	%VLF	32 [15; 41]	32 [19; 52]	30* [16; 43]	35* [20; 49]
	%LF	52 [34; 65]	47* [29; 63]	47* [36; 63]	49* [32; 57]
	%HF	16 [9; 28]	13 [9; 21]	19 [10; 26]	18* [10; 25]
Поддержание позы с подсчетом передач	ЧСС, уд/мин	84* ^{&^} [74; 91]	88 ^{&} [79; 96]	89 [^] [82; 101]	95 [86; 107]
	ИИ, у. е.	209* [^] [121; 277]	250 [183; 351]	311 [151; 409]	264 [165; 395]
	RMSSD, мс	22* ^{&^} [16; 31]	19 [14; 26]	18 [^] [14; 28]	15 [12; 25]
	TP, мс ²	2034 [1381; 3089]	1814 [984; 2486]	1517 [948; 2759]	1937 [1109; 3023]
	%VLF	25 [^] [15; 35]	37 [23; 49]	21 [^] [13; 28]	47 [26; 68]
	%LF	56 [^] [46; 70]	44 [34; 60]	66 [^] [52; 72]	31 [21; 53]
	%HF	14 [11; 21]	13 [7; 20]	13 [10; 20]	10 [7; 17]
Поддержание позы с подсчетом голов	ЧСС, уд/мин	83* ^{#&^} [77; 94]	89* ^{#&} [80; 96]	91* ^{#^} [83; 101]	97* [#] [89; 106]
	ИИ, у. е.	225* [#] [149; 326]	225* ^{#&} [144; 376]	288* [#] [156; 582]	325* [#] [186; 530]
	RMSSD, мс	21* [#] [16; 29]	18* ^{#&} [13; 26]	18* ^{#^} [12; 24]	16* [#] [11; 21]
	TP, мс ²	2029* [#] [1159; 2859]	1886 [1229; 2986]	1420 [813; 2660]	1495 [1015; 2521]
	%VLF	22 [^] [12; 38]	33 ^{&} [19; 52]	25 [^] [14; 35]	49 [26; 63]
	%LF	58* [#] [48; 73]	53 ^{&} [38; 64]	58* ^{#^} [44; 70]	42 [26; 60]
	%HF	13 [^] [9; 23]	10* [#] [6; 17]	14 [^] [9; 23]	9* [#] [7; 13]

Примечания: * – достоверность внутригрупповых различий между значениями показателей в процессе поддержания позы без решения когнитивных задач и при подсчете передач (p<0,05); # – достоверность внутригрупповых различий между значениями показателей в процессе поддержания позы без решения когнитивных задач и при подсчете голов (p<0,05); & – достоверность различий между значениями показателей в основной группе и группе контроля (p<0,05); ^ – достоверность внутригрупповых различий между значениями показателей при поддержании позы в двухопорной и одноопорной стойках (p<0,05).

различия отмечены лишь по показателю ЧСС, который был на 9 % (p<0,05) ниже в основной группы.

При поддержании постурального баланса в одноопорной стойке без решения когнитивных задач у представителей основной группы зафиксированы более низкие значения ЧСС – на 10 % (p<0,05) и ИИ – 28 %. Значения показателей RMSSD и TP были выше соответственно на 37 и 19 % по сравнению с группой контроля.

Однако по ним, как и по показателям процентного вклада волн различной частоты, значимых различий не выявлено.

Добавление к поддержанию одноопорной стойки параллельного подсчета передач в основной группе сопровождалось повышением значений ЧСС на 9 % (p<0,05) и ИИ – на 47 % (p<0,05), а также снижением RMSSD – на 27 % (p<0,05). У представителей группы контроля также отмечалось повышение значений ЧСС на 6 % (p<0,05)

и ИН – на 12 % ($p < 0,05$), и снижение RMSSD на 21 % ($p < 0,05$). Вместе с этим у представителей группы контроля отмечено значимое возрастание %VLF, а в основной группе достоверных различий не выявлено. В условиях подсчета голов в одноопорной стойке выявлена схожая динамика рассматриваемых стабилметрических показателей в обеих исследуемых группах.

В процессе поддержания позы в одноопорной стойке с параллельным подсчетом передач у представителей основной группы значения ЧСС и %VLF оказались ниже соответственно на 7 % ($p < 0,05$) и 21 % ($p = 0,08$), а значения %LF выше на 13 % ($p < 0,05$) по сравнению с группой контроля.

В условиях поддержания одноопорной стойки с подсчетом голов у представителей основной группы зафиксированы более низкие значения ЧСС на 8 % ($p < 0,05$) и ИН – на 31 % ($p < 0,05$). Значения RMSSD и %LF были выше соответственно на 13 % ($p < 0,05$) и 11 % ($p < 0,05$), а %VLF на 16 % ($p < 0,05$) ниже по сравнению с группой контроля.

При отсутствии когнитивной задачи поддержание ПБ в одноопорной стойке в отличие от двухопорной стойки у представителей основной группы сопровождалось более высокими значениями ЧСС на 7 % ($p < 0,05$), ИН – на 33 % ($p < 0,05$) и более низкими значениями RMSSD на 7 % ($p < 0,05$). У студентов группы контроля в аналогичных условиях зафиксированы более высокие значения ЧСС на 7 % ($p < 0,05$) и ИН – на 17 % ($p < 0,05$), а также более низкие RMSSD – 21 % ($p < 0,05$).

В основной группе подсчет количества передач в одноопорной стойке по сравнению с двухопорной сопровождался более высокими значениями ЧСС – на 7 % ($p < 0,05$), ИН – на 20 % ($p < 0,05$), %VLF – на 48 % ($p < 0,05$) и более низкими значениями RMSSD – на 14 % ($p < 0,05$) и %LF – на 21 % ($p < 0,05$). У представителей группы контроля в аналогичных условиях выявлены более высокие значения ЧСС на 7 % ($p < 0,05$) и %VLF – на 124 % ($p < 0,05$),

а также более низкие значения RMSSD – на 17 % ($p < 0,05$) и %LF – на 53 % ($p < 0,05$).

При подсчете голов в процессе поддержания одноопорной стойки по сравнению с двухопорной стойкой у представителей обеих групп отмечаются достоверно более высокие значения ЧСС и %VLF, а также более низкие %HF.

Следовательно, в процессе поддержания ПБ в двухопорной и одноопорной стойках в условиях наличия когнитивных задач или их отсутствия футболисты характеризовались более экономным функционированием сердечно-сосудистой системы по сравнению со студентами группы контроля. Активность парасимпатической нервной системы (\downarrow ЧСС, \uparrow RMSSD) у спортсменов была выше, а вовлечение симпатической нервной системы и центрального контура управления сердечным ритмом (\downarrow ИН) было менее выражено. По данным процентного вклада волн различной частоты, у футболистов при выполнении двойных задач в одноопорной стойке вегетативная регуляция сердечного ритма осуществлялась с относительно меньшей активностью симпатического звена (\downarrow %VLF) и большим вкладом вазомоторного центра продолговатого мозга (\uparrow %LF).

Добавление когнитивных задач к поддержанию ПБ в двухопорной и одноопорной стойках у представителей обеих групп сопровождалось снижением вклада парасимпатических влияний (\downarrow RMSSD, \downarrow %HF), а также повышением активности симпатической нервной системы и центрального контура регуляции сердечного ритма (\uparrow ИН). Решение дополнительной когнитивной задачи приводило к возрастанию ЧСС у представителей как основной группы, так и группы контроля.

У представителей обеих групп в процессе поддержания одноопорной стойки, независимо от наличия или отсутствия когнитивных задач, зафиксирована меньшая активность парасимпатического отдела ВНС (\downarrow RMSSD, \downarrow %HF) по сравнению

с двухопорной стойкой. В условиях выполнения двойных задач в одноопорной стойке по сравнению с двухопорной в обеих исследуемых группах также отмечается большая активность симпатического звена вегетативной регуляции ($\uparrow\%VLF$) и меньшая активность вазомоторного центра ($\downarrow\%LF$).

Результаты настоящего исследования подтверждают имеющиеся в научной литературе данные о снижении вариабельности сердечного ритма при выполнении двойных задач по сравнению с решением только поструральной задачи [7]. Кроме этого, имеются сведения, что при совместном выполнении поструральной и когнитивной задач отмечается более высокая реакция симпатико-адреналовой системы, чем в процессе отдельного решения данных задач [8].

Полученные в настоящем исследовании данные подтверждают важную роль вегетативных регуляторных механизмов в выполнении двойных задач. Следовательно, функциональная система, формирующаяся для выполнения пострурально-когнитивной задачи, включает и вегетативный регуляторный компонент [9].

Срочная адаптация к условиям выполнения двойных задач у представителей обеих исследуемых групп осуществлялась за счет повышения активности центрального контура управления и симпатической нервной системы. Мобилизация энергетических ресурсов через усиление активности симпатической нервной системы является важным регуляторным механизмом, обеспечивающим не только поддержание поз, но и осуществление когнитивной деятельности [10, 11], что в совокупности реализуется при выполнении двойных задач. Вегетативная регуляция необходима для функционирования мышц и других органов, входящих в поструральную систему, а также для распределения когнитивных ресурсов в центральной нервной системе.

Недостаточная степень мобилизации вегетативного регуляторного звена может снижать успешность выполнения двойных задач. С другой стороны, избыточная активация симпатической нервной системы в условиях выполнения двойных задач также не может рассматриваться как оптимальный вариант срочной адаптации.

Заключение. Таким образом, выявлены особенности вегетативной регуляции сердечного ритма у футболистов в процессе поддержания пострурального баланса в двухопорной и одноопорной стойках без решения когнитивных задач, а также при их параллельном решении. Добавление когнитивных задач к поддержанию позы в двухопорной и одноопорной стойках сопровождается снижением парасимпатических влияний, а также повышением активности симпатической нервной системы и центрального контура управления ритмом сердца как у спортсменов-футболистов, так и у студентов-сверстников, не занимающихся спортом. У футболистов в обоих случаях отмечается более экономное функционирование сердечно-сосудистой системы, вегетативная регуляция которой обеспечивается с меньшим участием симпатической нервной системы и центрального контура, а также большим вовлечением парасимпатического отдела ВНС.

В более сложных поструральных условиях, связанных с поддержанием ПБ в одноопорной стойке, у представителей обеих групп зафиксирована меньшая активность парасимпатического отдела ВНС по сравнению с двухопорной стойкой. Выполнение двойных задач в одноопорной стойке по сравнению с двухопорной в обеих группах сопровождалось большей активизацией симпатического звена вегетативной регуляции и меньшей активизацией вазомоторного центра продолговатого мозга.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Б23М-038).

1. *Age peculiarities of interaction of motor and cognitive brain systems while processing information of different modality and complexity / V. S. Lyzohub [et al.] // Regulatory Mechanisms in Biosystems. – 2019. – Vol.10, iss. 3. – P. 288–294.*
2. *The Acute and Chronic Effects of Dual-Task on the Motor and Cognitive Performances in Athletes: A Systematic Review / P. E. D. Moreira [et al.] // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2021. – Vol. 18, iss. 4. – P. 1732.*
3. *Переверзев, В. А. Физиология вегетативной нервной системы / В. А. Переверзев, А. И. Кубарко. – Минск : МГМИ, 1995. – 25 с.*
4. *Тишутин, Н. А. Особенности вегетативной регуляции организма спортсменов-футболистов в различных условиях поддержания позы / Н. А. Тишутин, И. Н. Рубчя // Ценности, традиции и новации современного спорта : материалы II Междунар. науч. конгр., Минск, 13–15 окт. 2022 г. : в 3 ч. / Беларус. гос. ун-т физ. культуры ; редкол. : С. Б. Репкин (гл. ред.), Т. А. Морозевич-Шилюк (зам. гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2022. – Ч. 1. – С. 375–378.*
5. *Тишутин, Н. А. Особенности поддержания постурального баланса и текущей вегетативной регуляции у футболистов в одноопорной стойке / Н. А. Тишутин, И. Н. Рубчя // Мир спорта. – 2023. – № 2 (91). – С. 75–80.*
6. *Бердичевская, Е. М. Стабилографическая билатеральная характеристика вертикальной устойчивости футболистов с правым и левым профилем сенсомоторной асимметрии / Е. М. Бердичевская, А. М. Пантелеева // Физическое воспитание и спортивная тренировка. – 2021. – Т. 2, № 36. – С. 77–86.*
7. *Cullen, R. H. Comparing Different Measures of Overall Workload in a Multimodal Postural / Auditory Dual-Task Environment / R. H. Cullen, M. J. Agnew // IIE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors. – 2016. – Vol. 4, iss. 2–3. – P. 115–127.*
8. *Autonomic Stress Response and Perceived Effort Jointly Inform on Dual Tasking in Aging / G. Condello [et al.] // Brain Sciences. – 2019. – Vol. 9, iss. 11. – P. 290.*
9. *Анохин, П. К. Очерки по физиологии функциональных систем / П. К. Анохин. – М. : Медицина, 1975. – С. 17–62.*
10. *Вегетативное обеспечение целенаправленной деятельности и ее результативность у практически здоровых лиц / Р. А. Зорин [и др.] // Наука молодых (Eruditio Juvenium). – 2019. – Т. 7, № 1. – С. 38–45.*
11. *Динамика показателей ВСР при когнитивной деятельности и степень усвоения ритма световых мельканий / Н. А. Каратыгин [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – № 4. – С. 156–161.*

Статья поступила в редакцию 20.10.2023