



© О. В. Балберова, Е. Г. Сидоркина, К. С. Кошкина, Е. В. Быков

DOI: [10.15293/2658-6762.2105.07](https://doi.org/10.15293/2658-6762.2105.07)

УДК 796+612+378

Параметры вариабельности ритма сердца, сопряженные с высокой спортивной результативностью у спортсменов

О. В. Балберова, Е. Г. Сидоркина, К. С. Кошкина, Е. В. Быков (Челябинск, Россия)

Проблема и цель. На сегодняшний день в теории спорта нет четких критериев оценки функциональной подготовленности, которые бы отражали готовность спортсмена к соревновательной деятельности. Игра в футбол предъявляет высокие требования к функциональной подготовленности спортсменов, в том числе к вегетативному компоненту. Однако попытки улучшить результаты в футболе часто сосредотачиваются на технике и тактике в ущерб функциональной составляющей. Следует также отметить, что интенсивность упражнений различается в зависимости от игровой позиции во время матчей, и, следовательно, требуется точный диагностический критерий, позволяющий оценить функциональную готовность игроков разного амплуа к соревновательной деятельности. В исследовании выявляются параметры вариабельности ритма сердца, которые могли бы использоваться в качестве маркеров высоких функциональных возможностей спортсменов игровых видов спорта. Цель исследования – выявить параметры вариабельности ритма сердца как диагностический критерий, позволяющий оценить функциональную готовность футболистов к соревновательной деятельности.

Методология. Для оценки вариабельности ритма сердца использовали программное обеспечение к электрокардиографу «Полиспектр» с дополнительной функцией получения данных по вариабельности ритма сердца.

Результаты. Результаты исследования свидетельствуют о том, что футболисты с высоким спортивным результатом демонстрируют более высокую вагусную и более низкую

Статья подготовлена по результатам НИР в рамках выполнения государственного задания «Разработка и научное обоснование модельных характеристик квалифицированных спортсменов игровых видов спорта (футбол, хоккей) по показателям функциональной подготовленности» (приказ Минспорта РФ № 1080 от 20.12.2019 г.).

Балберова Ольга Владиславовна – кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник НИИ Олимпийского спорта, Уральский государственный университет физической культуры.

E-mail: olga-balberova@mail.ru

Сидоркина Елена Геннадьевна – научный сотрудник НИИ Олимпийского спорта, Уральский государственный университет физической культуры.

E-mail: rezenchik@bk.ru

Кошкина Ксения Сергеевна – лаборант-исследователь НИИ Олимпийского спорта, Уральский государственный университет физической культуры.

E-mail: caseychica@mail.ru

Быков Евгений Витальевич – доктор медицинских наук, профессор, проректор по НИР, Уральский государственный университет физической культуры.

E-mail: bev58@yandex.ru

симпатическую модуляцию ритма сердца, что указывает на их более высокую тренированность, адаптированность к нагрузкам и функциональную готовность к соревновательной деятельности. Напротив, у спортсменов, не показавших высокий спортивный результат, наблюдались признаки напряжения систем адаптации и перетренированности.

Заключение. Мониторинг variability ритма сердца у спортсменов (в частности, показатели волновой структуры ритма сердца, выраженные как площадь треугольника, образованного спектральной плотностью всех трех волн) может быть использован как эффективный инструмент в динамическом контроле за тренировками, в определении «спортивной формы», а также для прогноза спортивного результата.

Ключевые слова: вегетативная нервная система; соревновательная деятельность; функциональная подготовленность; теория спорта; variability ритма сердца; игровое амплуа; симпатический отдел автономной нервной системы; парасимпатический отдел автономной нервной системы.

Постановка проблемы

Футбол – самый популярный вид спорта в мире, которым занимается почти 200 млн человек [4]. Анализ физической нагрузки во время матчей показал, что в течение 90-минутной игры профессиональные игроки пробегают около 10 км с интенсивностью, близкой к анаэробному порогу (80–90 % максимальной частоты сердечных сокращений) [8; 11; 12; 23]. Игра характеризуется сочетанием многочисленных двигательных действий, таких как краткосрочный спринт, высокоинтенсивный бег, прыжки, повороты, удары ногами, захват, частая смена направления и темпа движения, движение назад, а также эпизоды ходьбы.

В нескольких исследованиях сообщается, что полузащитники пробегают самые длинные дистанции во время игры [16; 22]. Интенсивность упражнений снижается, а пройденное расстояние сокращается на 5–10 % во второй половине матча по сравнению с первой [16; 21]. Во время футбольного матча спринтерский бег реализуется примерно каждые 90 с., каждый длится в среднем 2–4 с. Спринт составляет до 11 % от общей пройденной дистанции во время матча и соответствует 0,5–3,0 % от эффективного времени (время, когда мяч находится в игре) [22]. Во время

всей игры игроки выполняют около 10–20 высокоинтенсивных ускорений; интенсивный бег примерно каждые 70 с., около 15 подкатов, 50 единоборств за мяч, около 30 передач (короткие, длинные, диагональные), а также изменение темпа и направления движения. Было отмечено, что крайние защитники выполняли ускорения более чем в два раза чаще, чем центральные защитники, в то время как полузащитники и нападающие значительно больше бегали, чем центральные защитники (в 1,6–1,7 раза дольше) [7; 20; 22]. Вышеуказанное свидетельствует о том, что игра в футбол предъявляет высокие требования к функциональной подготовленности игроков, в том числе к вегетативному компоненту. Однако попытки улучшить результаты в футболе часто сосредотачиваются на технике и тактике в ущерб функциональной составляющей.

Следует также отметить, что интенсивность упражнений различается в зависимости от игровой позиции во время матчей, и, следовательно, требуется точный диагностический критерий, позволяющий оценить функциональную готовность игроков разного амплуа к соревновательной деятельности (ответственным матчам).

Существует несколько методов количественной оценки функционального состояния вегетативной нервной системы, позволяющих определять влияние тренировки на состояние здоровья спортсмена. Изучение реакции вегетативной нервной системы на изменения тренировочной нагрузки может указывать на способность организма переносить физический стимул и адаптироваться к нему [6]. Поскольку вегетативная нервная система контролирует сердечно-сосудистую функцию посредством симпатической и парасимпатической модуляции, а баланс между парасимпатическими и симпатическими влияниями изменяется в ответ на интенсивность тренировочных воздействий и отражает степень физиологической адаптации организма спортсмена к предъявляемым нагрузкам [5; 6; 18; 19], исследования были сосредоточены на выявлении спортивного статуса футболистов посредством вегетативной регуляции сердечного ритма.

Создание маркера, способного точно передавать статус спортивной подготовки, который легко использовать в тренировочной программе, является популярной темой в исследованиях в области теории спорта и спортивной физиологии [10]. Такой маркер позволил бы своевременно диагностировать вызванную тренировкой усталость или достигнутый уровень восстановления/адаптации, что облегчило бы корректировку тренировочной нагрузки для индивидуализации тренировочных программ [6]. Цель исследования – выявить параметры variability ритма сердца как диагностический критерий, позволяющий оценить функциональную готовность футболистов к соревновательной деятельности.

Методология исследования

Исследование было проведено на базе лаборатории функциональной диагностики Научно-исследовательского института олимпийского спорта Уральского государственного университета физической культуры. В исследовании приняли участие 46 спортсменов мужского пола, занимающихся футболом, в возрасте 17–22 лет. Средняя длина тела обследуемых $183,7 \pm 1,83$ см, средняя масса $73,0 \pm 3,18$ кг, спортивная квалификация – I спортивный разряд, кандидаты в мастера спорта, мастера спорта. Среди полевых игроков (защитники/полузащитники, нападающие) было сформировано две группы в зависимости от спортивной результативности, показанной в соревновательном периоде. В первую группу вошли высокорезультативные спортсмены, вторая группа включала игроков, не показавших высокий спортивный результат на ответственных играх сезона. Спортивный результат оценивался по следующим параметрам: успешность длинной передачи мяча, результативность ударов по воротам противника, голевые передачи, обводка соперника, отбор и перехват мяча, отражение броска мяча по воротам.

Оценку variability ритма сердца проводили в подготовительном периоде, предшествующем соревнованиям. Для оценки variability ритма сердца использовали программное обеспечение к электрокардиографу «Полиспектр» с дополнительной функцией получения данных по variability ритма сердца (рис. 1).

ВСП использует неинвазивную оценку изменения временного интервала между последовательными ударами сердца, или R-R интервалами [5]. Время между последовательными R-R интервалами постоянно колеблется в результате взаимодействия нескольких пара-

метров, таких как легочная вентиляция, артериальное давление и сердечный выброс для

поддержания гомеостаза артериального давления в определенных пределах [15].



Рис. 1. Интерфейс получения данных по вариабельности ритма сердца с помощью программного обеспечения «Полиспектр»

Fig. 1. HRV Software Interface using the «Polyspectrum» software

Помимо анализа временных параметров вариабельности ритма сердца, существуют более сложные оценки, включающие анализ спектральных характеристик мощности. Эти анализы высокого спортивного результата могут предоставить исследователям прямую информацию о симпатическом/парасимпатическом вкладе в модуляцию частоты сердечных сокращений в покое и после тренировки, и при проведении различных функциональных проб (ортопроба, проба с задержкой дыхания и др.).

Наиболее часто используемые индексы высокого спортивного результата в спортивной практике – это стандартное отклонение (SD) последовательных интервалов нормальных (NN) и R пиков (SDNN), которые учитывают глобальную вегетативную активность

сердца (т. е. симпатические и парасимпатические ветви), и среднеквадратичная разница последовательных нормальных интервалов RR (RMSSD), которая изолирует парасимпатическую модуляцию синусового узла. Кроме того, колебания интервала RR в низкочастотном (LF) и высокочастотном (HF) диапазонах также использовались для индикации преимущественно симпатической и парасимпатической активности синусового узла соответственно [3; 9]. В недавнем исследовании с участием профессиональных футболистов предложено использовать 2 показателя высокого спортивного результата в качестве информативного критерия оценки вегетативного компонента функциональной подготовленности: оценка стресса (SI) – показатель, прямо пропорциональный симпатической активности; и

симпатическому/парасимпатическое соотношение (ИВР), которое оценивает баланс между 2 ветвями вегетативной сердечной системы [17].

По данным ряда авторов, наиболее информативным индикатором функционального состояния спортсменов является показатель общей мощности спектра (TP)¹. Н. А. Агаджанян на основании обследования 94 спортсменов различных видов спорта в тренировочном цикле установил также, что наиболее информативными показателями ритмокардиограммы, помимо TP, являются ИН, АМо,

LF/HF. Данные расчетные показатели легли в основу анализа variability ритма сердца в нашем исследовании.

Результаты исследования, обсуждение

Результаты проведенного исследования показали, что у высокорезультативных спортсменов 12 показателей из 21 имели статистически значимые различия в параметрах variability ритма сердца: по показателям R-R min, R-R max, R-R cp, RMSSD, RRNN, pNN50 ВПР, ИН, SI, HF, LF (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительный анализ параметров variability ритма сердца у спортсменов, показавших высокий спортивный результат и низкий спортивный результат

Table 1

Comparative analysis of HRV parameters in athletes who showed a high sports result and a low sports result

Показатель	Высокий спортивный результат (n = 21)	Низкий спортивный результат (n = 25)	Достоверность, p
HR, уд./мин	67,54±3,24	60,47±2,26	–
R-R min, мс	714,95±36,76	567,95±26,72	p ≤ 0,05
R-R max, мс	1137,76±70,04	925,71±47,46	p ≤ 0,05
R-R cp, мс	926,0±43,67	880,0±36,51	p ≤ 0,05
Mo, с.	1,239 ±0,41	0,840 ±0,05	–
АМо, %	24,1 ±4,11	31,9±3,81	–
CV (%)	8,80±0,93	6,52±0,67	–
SDNN, мс	86,04±11,35	60,76±5,66	–
RMSSD, мс	89,57±22,14	30,47±5,99	p ≤ 0,05
RRNN, мс	1001,76±35,39	708,66±31,90	p ≤ 0,05
pNN50 (%)	38,94±5,66	10,19±3,40	p ≤ 0,05

¹ Берснев Е. Ю. Спортивная специализация и особенности вегетативной регуляции сердечного ритма // Variability сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение: тезисы докладов IV Всероссийского симпозиума с международным участием. – Ижевск, 19–21 ноября 2008. – С. 42–45; Питкевич Ю. Э. Variability сердечного ритма у спортсменов // Гомельский государственный медицинский университет. Проблемы здоровья и экологии. – 2010. – Т. 26, № 4. – С. 101–106;

Шлык Н. И., Сапожникова Е. Н., Кириллова Т. И. Тип вегетативной регуляции и риск патологии сердца у спортсменов (по результатам динамических исследований ВРС и дисперсионного картирования ЭКГ) // Спортивная медицина. Здоровье и физическая культура: материалы Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции. – Сочи, Волгоград, 2012. – С. 17–25.

Окончание таблицы 1

ИВР, у. е.	24,9±3,21	53,7±5,41	–
ВПП, у. е.	1,07±0,02	3,75 ±0,31	$p \leq 0,05$
ПАПР, у. е.	17,1±6,51	27,7±6,81	–
ИН, у. е.	12,9±2,12	36,3±7,11	$p \leq 0,05$
SI	12,86 ±2,61	31,98 ±5,61	$p \leq 0,05$
TP (мс ²)	7209,33±1784,68	4230,64±928,32	$p \leq 0,05$
HF (мс ²)	3491,10±403,04	1320,77±257,09	$p \leq 0,05$
LF (мс ²)	2591,90±299,94	1717,18±264,62	$p \leq 0,05$
VLF (мс ²)	1022,52±1212,50	835,36±340,98	–
LF/HF	0,74±0,24	1,30±0,19	–

В многочисленных исследованиях подтверждено, что высокие значения показателей ритмограммы, таких как Mo, SDNN, CV, RMSSD, pNN 50 %, TP, HF указывают на рост variability и отражают вклад парасимпатической составляющей и автономного контура регуляции. В то же время снижение показателей КРГ, таких как LF, VLF, ВПП, ИВР, ИН, ПАПР, LF/HF, SI, свидетельствует об уменьшении симпатической регуляции и централизации управления функцией. Спортивная деятельность только тогда дает результаты, когда мастерство спортсмена отточено до автоматизма, т. е. проявляется минимальным участием со стороны центральных регулирующих систем.

Анализируя полученные результаты, мы определили достоверно более высокие значения в показателях RMSSD ($p \leq 0,05$), pNN 50 % ($p \leq 0,05$), TP ($p \leq 0,05$), HF ($p \leq 0,05$) и более низкие в показателях ВПП ($p \leq 0,05$), ИН ($p \leq 0,05$), LF ($p \leq 0,05$), SI ($p \leq 0,05$). Результаты исследования свидетельствуют о том, что футболисты с высоким спортивным результатом демонстрируют более высокую вагусную и более низкую симпатическую модуляцию ритма сердца, что указывает на их более высокую тренированность, адаптированность к

нагрузкам и функциональную готовность к соревновательной деятельности. Напротив, у спортсменов второй группы отмечаются признаки напряжения систем адаптации и перетренированности.

На рисунках 2 и 3 графически показаны различия по среднему значению параметров variability ритма сердца в двух группах футболистов (с высоким и низким спортивным результатом).

Межгрупповой анализ показал, что игроки с высоким спортивным результатом демонстрируют более высокую парасимпатическую и более низкую симпатическую модуляцию ритма сердца, несмотря на более высокие значения частоты сердечных сокращений. Полученные данные подтверждают мнение ряда авторов о том, что брадикардия не обязательно связана с более высокой парасимпатической активностью [2; 13; 14]. Авторы указывают, что на параметры частоты сердечных сокращений, например, могут влиять морфология сердечной мышцы и объем плазмы, и данный параметр не является эффективным критерием мониторинга уровня тренированности спортсменов. В то время как вагусные индексы высокого спортивного результата, вероятно, улучшаются у игроков с высокой функциональной подготовленностью.

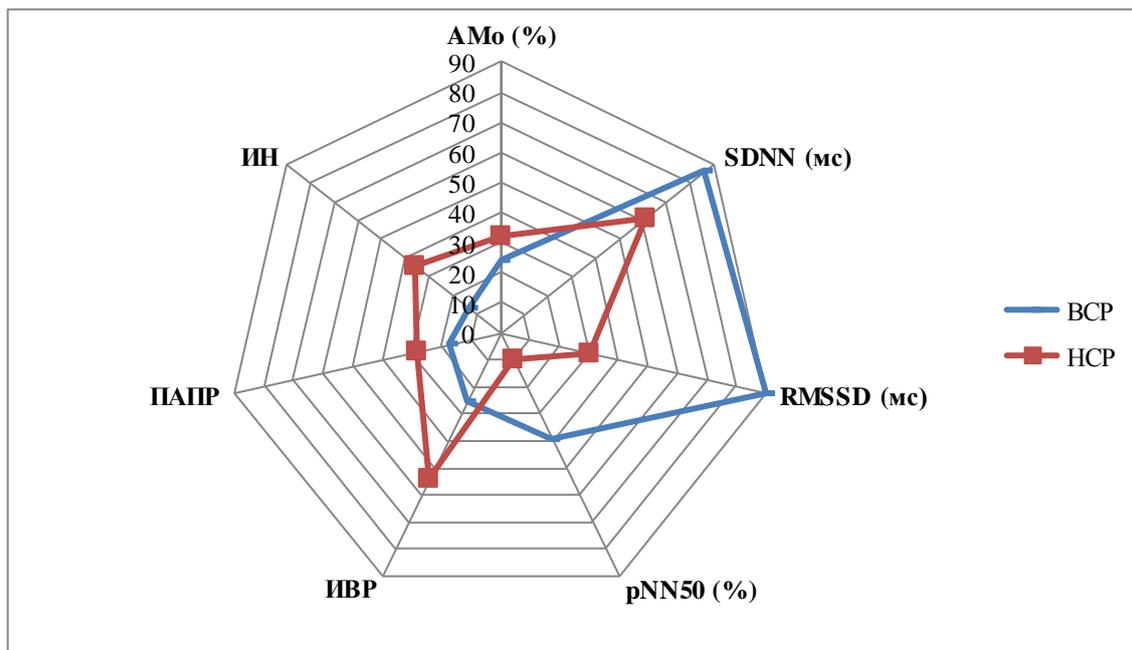


Рис. 2. Средние значения показателей ритмокардиограммы у спортсменов, показавших высокий спортивный результат и низкий спортивный результат

Fig. 2. The average values of RCG indicators for athletes who showed a high sports result and a low sports result

При анализе спектральных характеристик ритма сердца нами были получены следующие результаты. Общий спектр в группе высоко результативных спортсменов составил $7209,33 \pm 1784,68 \text{ мс}^2$, в то время как у спортсменов с низким спортивным результатом – $4230,64 \pm 928,32$ ($p \leq 0,05$). Статистически значимые различия были установлены и по показателям HF: $3491,10 \pm 403,04 \text{ мс}^2$ и $1320,77 \pm 257,09 \text{ мс}^2$ – и LF: $2591,90 \pm 299,94 \text{ мс}^2$

и $1717,18 \pm 264,62 \text{ мс}^2$ ($p \leq 0,05$) – соответственно у спортсменов первой и второй группы ($p \leq 0,05$).

Анализируя различия волновой структуры ритма сердца у спортсменов (рис. 3), мы установили, что площадь треугольника, образованного спектральной плотностью всех трех волн, у высокорезультативных футболистов существенно выше, чем у игроков с низким спортивным результатом.

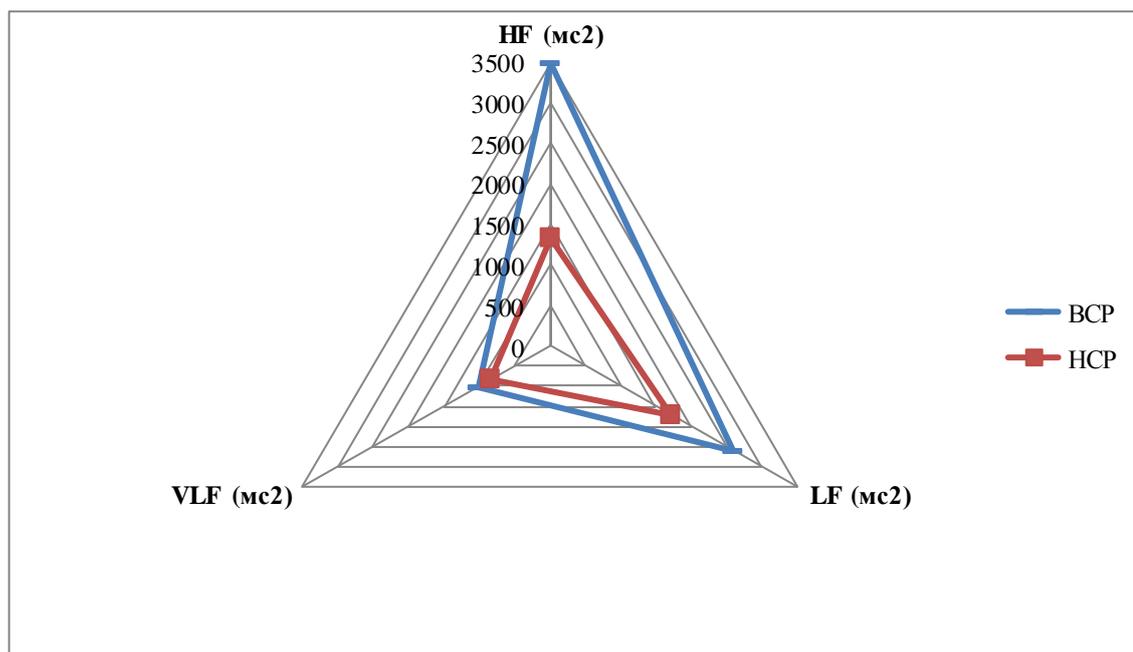


Рис. 3. Спектральные характеристики variability ритма сердца у спортсменов, показавших высокий спортивный результат и низкий спортивный результат

Fig. 3. Spectral characteristics of HRV in athletes who showed a high sports result and a low sports result

Это также отражает различия в вариативности, адаптированности к физической нагрузке, в уровне функциональной подготовленности и, как следствие, готовности к соревновательной деятельности.

Заключение

Таким образом, результаты нашего исследования позволяют констатировать, что мониторинг variability ритма сердца у спортсменов может быть использован как эффективный инструмент в динамическом контроле за тренировками, в определении «спортивной формы», а также для прогноза спортивного результата. Нами установлено, что на подготовительном этапе тренировочно-соревновательного цикла площадь треугольника, образованного спектральной плотностью всех

трех волн, у высокорезультативных футболистов существенно выше, чем у игроков с низким спортивным результатом. Это отражает наилучший уровень функциональной подготовленности у футболистов и подразумевает высокую variability функционирования, более высокую вагусную и более низкую симпатическую модуляцию ритма сердца. Достигается это структурно-функциональной перестройкой регуляции организма спортсмена под влиянием тренировочного процесса, что отражается в изменении показателей ритмокардиограммы. В дальнейшем спортсмены с более высоким уровнем вагально-опосредованной ВСР лучше справляются с высокими соревновательными нагрузками, демонстрируют более высокий спортивный результат.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Агаджанян Н. А., Батоцыренова Т. Е., Семенов Ю. Н., Кислицын А. Н., Иванов С. В. Соревновательный стресс у представителей различных видов спорта по показателям вариабельности сердечного ритма // Теория и практика физической культуры. – 2006. – № 1. – С. 2–4. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14344294>
2. Гаврилова Е. А. Использование вариабельности ритма сердца в оценке успешности спортивной деятельности // Практическая медицина. – 2015. – № 3–1. – С. 52–58. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28299888>
3. Гаврилова Е. А. Ритмокардиография в спорте: монография. – СПб.: СЗГМУ им. И. И. Мечникова, 2014. – 160 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25163528>
4. Alexandre D., da Silva C. D., Hill-Haas S., Wong del P., Natali A. J., De Lima J. R., Bara Filho M. G., Marins J. J., Garcia E. S., Karim C. Heart rate monitoring in soccer: interest and limits during competitive match play and training, practical application // Journal Strength Cond Research. – 2012. – Vol. 26 (10). – P. 2890–2906. DOI: <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182429ac7>
5. Bellenger C. R., Fuller J. T., Thomson R. L., Davison K., Robertson E. Y., Buckley J. D. Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis // Sports Medicine. – 2016. – Vol. 46 (10). – P. 1461–1486. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0484-2>
6. Borresen J., Lambert M. I. Autonomic control of heart rate during and after exercise: measurements and implications for monitoring training status // Sports Medicine. – 2008. – Vol. 38 (8). – P. 633–646. DOI: <https://doi.org/10.2165/00007256-200838080-00002>
7. Bradley P. S., Carling C., Archer D., Roberts J., Dodds A., Di Mascio M., Paul D., Diaz A. G., Peart D., Krstrup P. The effect of playing formation on high-intensity running and technical profiles in English FA Premier League soccer matches // Journal Sports Science. – 2011. – Vol. 29 (8). – P. 821–830. DOI: <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.561868>
8. Bradley P. S., Sheldon W., Wooster B., Olsen P., Boanas P., Krstrup P. High-intensity running in English FA Premier League soccer matches // Journal Sports Science. – 2009. – Vol. 27 (2). – P. 159–168. DOI: <https://doi.org/10.1080/02640410802512775>
9. Buchheit M., Chivot A., Parouty J., Mercier D., Al Haddad H., Laursen P. B., Ahmaidi S. Monitoring endurance running performance using cardiac parasympathetic function // European Journal of Applied Physiology. – 2010. – Vol. 108 (6). – P. 1153–1167. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1317-x>
10. Buchheit M., Simpson M. B., Al Haddad H., Bourdon P. C., Mendez-Villanueva A. Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players // European Journal of Applied Physiology. – 2012. – Vol. 112 (2). – P. 711–723. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2014-0>
11. Di Salvo V., Baron R., Tschan H., Calderon Montero F. J., Bachl N., Pigozzi F. Performance characteristics according to playing position in elite soccer // International Journal of Sports Medicine. – 2007. – Vol. 28 (3). – P. 222–227. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-2006-924294>
12. Di Salvo V., Gregson W., Atkinson G., Tordoff P., Drust B. Analysis of high intensity activity in Premier League soccer // International Journal of Sports Medicine. – 2009. – Vol. 30 (3). – P. 205–212. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0028-1105950>



13. Flatt A. A., Esco M. R. Evaluating Individual Training Adaptation With Smartphone-Derived Heart Rate Variability in a Collegiate Female Soccer Team // *Journal of Strength and Conditioning Research*. – 2016. – Vol. 30 (2). – P. 378–385. DOI: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001095>
14. Leicht A. S. Bradycardia: changes in intrinsic rate rather than cardiac autonomic modulation // *Clinical Autonomic Research*. – 2013. – Vol. 23 (6). – P. 343. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10286-013-0208-8>
15. Malpas S. C. Neural influences on cardiovascular variability: possibilities and pitfalls // *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. – 2002. – Vol. 282 (1). – P. H6–H20. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpheart.2002.282.1.H6>
16. Mohr M., Krustup P., Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue // *Journal Sports Science*. – 2003. – Vol. 21 (7). – P. 519–528. DOI: <https://doi.org/10.1080/0264041031000071182>
17. Naranjo J., De la Cruz B., Sarabia E., De Hoyo M., Domínguez-Cobo S. Heart Rate Variability: a Follow-up in Elite Soccer Players Throughout the Season // *International Journal of Sports Medicine*. – 2015. – Vol. 36 (11). – P. 881–886. DOI:
18. Pichot V., Busso T., Roche F., Garet M., Costes F., Duverney D., Lacour J. R., Barthélémy J. C. Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study // *Medicine Science Sports Exercise*. – 2002. – Vol. 34 (10). – P. 1660–1666. DOI: <https://doi.org/10.1097/00005768-200210000-00019>
19. Proietti R., di Fronso S., Pereira L. A., Bortoli L., Robazza C., Nakamura F. Y., Bertollo M. Heart Rate Variability Discriminates Competitive Levels in Professional Soccer Players // *Journal of Strength and Conditioning Research*. – 2017. – Vol. 31 (6). – P. 1719–1725. DOI: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001795>
20. Reilly T. An ergonomics model of the soccer training process // *Journal Sports Science*. – 2005. – Vol. 23 (6). – P. 561–572. DOI: <https://doi.org/10.1080/02640410400021245>
21. Rienzi E., Drust B., Reilly T., Carter J. E., Martin A. Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players // *The Journal of sports medicine and physical fitness*. – 2000. – Vol. 40 (2). – P. 162–169. URL: <https://pub-med.ncbi.nlm.nih.gov/11034438/>
22. Stølen T., Chamari K., Castagna C., Wisløff U. Physiology of soccer: an update // *Sports Medicine*. – 2005. – Vol. 35 (6). – P. 501–536. DOI: <https://doi.org/10.2165/00007256-200535060-00004>
23. Strøyer J., Hansen L., Klausen K. Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play // *Medicine Science Sports Exercise*. – 2004. – Vol. 36 (1). – P. 168–174. DOI: <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000106187.05259.96>



DOI: [10.15293/2658-6762.2105.07](https://doi.org/10.15293/2658-6762.2105.07)

Olga Vladislavovna Balberova

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher,

Research Institute of Olympic Sports,

Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russian Federation.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5513-6384>

E-mail: olga-balberova@mail.ru

Elena Gennadyevna Sidorkina

Researcher,

Research Institute of Olympic Sports,

Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russian Federation.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6854-7406>

E-mail: rezenchik@bk.ru

Ksenia Sergeevna Koshkina

Laboratory Assistant-Researcher,

Research Institute of Olympic Sports,

Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russian Federation.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1734-8276>

E-mail: caseychica@mail.ru

Evgeny Vitalievich Bykov

Doctor of Medical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research,

Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russian Federation.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7506-8793>

E-mail: bev58@yandex.ru

Parameters of heart rate variability associated with high sports performance in athletes

Abstract

Introduction. *The problem of developing clear criteria for assessing athletes' functional fitness, which would reflect their readiness for competitions, remains under-researched in the theory of sports. Football places high demands on athletes' functional fitness, including the vegetative component. However, attempts to improve results in football often focus on techniques and tactics to the detriment of the functional component. It should also be noted that the intensity of exercises varies depending on the playing position during matches, and, therefore, an accurate diagnostic criterion is required to assess the players' of different positions functional readiness for competitions. The article attempts to identify the parameters of heart rate variability which could be used as markers of athletes' playing game sports high functional performance. The aim of this research is to identify the parameters of heart rate variability as a diagnostic criterion for assessing football players' functional readiness for competitions.*



Materials and Methods. In order to assess the heart rate variability, the software for the “Polyspectrum” electrocardiograph was used with an additional function of obtaining data on heart rate variability.

Results. The research findings suggest that football players with high athletic performance demonstrate higher vagal and lower sympathetic modulation of the heart rhythm, which indicates their higher fitness, adaptability to loads and functional readiness for competitions. On the contrary, the athletes of the second group demonstrated signs of strain of adaptation systems and over-training.

Conclusions. Monitoring heart rate variability in athletes (in particular, heart rhythm wave structure indicators, expressed as the area of the triangle formed by the spectral density of all three waves) can be used as an effective tool in the dynamic control of training, in identifying athletes’ fitness, as well as for predicting sports results.

Keywords

Autonomic nervous system; Competitions; Functional fitness; Sports theory; Heart rate variability; Playing position; Sympathetic department of the autonomous nervous system; Parasympathetic department of the autonomous nervous system.

Acknowledgments

The study was financially supported by the Ministry of Sports of the Russian Federation. Project No. 1080 dated 20.12.2019 (within the framework of the state task “Development and scientific substantiation of model characteristics of qualified athletes of game sports (football, hockey) in terms of functional fitness”).

REFERENCES

1. Agajanyan N. A., Batotsyrenova T. E., Semenov Yu. N., Kislytsyn A. N., Ivanov S. V. Investigation of competition stress of athletes going in for different kinds of sport according to indices of heart rate variability. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2006, no. 1, pp. 2–4. (In Russian) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14344294>
2. Gavrilova E. A. The use of heart rate variability in assessing the success of sports activity. *Practical Medicine*, 2015, no. 3–1, pp. 52–58. (In Russian) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28299888>
3. Gavrilova E. A. Rhythmocardiography in sports: monograph. St. Petersburg: I. I. Mechnikov NWSMU, 2014. 160 p. (In Russian) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25163528>
4. Alexandre D., da Silva C. D., Hill-Haas S., Wong del P., Natali A. J., De Lima J. R., Bara Filho M. G., Marins J. J., Garcia E. S., Karim C. Heart rate monitoring in soccer: interest and limits during competitive match play and training, practical application. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2012, vol. 26 (10), pp. 2890–2906. DOI: <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182429ac7>
5. Bellenger C. R., Fuller J. T., Thomson R. L., Davison K., Robertson E. Y., Buckley J. D. Monitoring athletic training status through autonomic heart rate regulation: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 2016, vol. 46 (10), pp. 1461–1486. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0484-2>
6. Borresen J., Lambert M. I. Autonomic control of heart rate during and after exercise: Measurements and implications for monitoring training status. *Sports Medicine*, 2008, vol. 38 (8), pp. 633–646. DOI: <https://doi.org/10.2165/00007256-200838080-00002>



7. Bradley P. S., Carling C., Archer D., Roberts J., Dodds A., Di Mascio M., Paul D., Diaz A. G., Peart D., Krustup P. The effect of playing formation on high-intensity running and technical profiles in English FA Premier League soccer matches. *Journal Sports Science*, 2011, vol. 29 (8), pp. 821–830. DOI: <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.561868>
8. Bradley P.S., Sheldon W., Wooster B., Olsen P., Boanas P., Krustup P. High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal Sports Science*, 2009, vol. 27 (2), pp. 159–168. DOI: <https://doi.org/10.1080/02640410802512775>
9. Buchheit M., Chivot A., Parouty J., Mercier D., Al Haddad H., Laursen P. B., Ahmaidi S. Monitoring endurance running performance using cardiac parasympathetic function. *European Journal of Applied Physiology*, 2010, vol. 108 (6), pp. 1153–1167. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1317-x>
10. Buchheit M., Simpson M. B., Al Haddad H., Bourdon P. C., Mendez-Villanueva A. Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, 2012, vol. 112 (2), pp. 711–723. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2014-0>
11. Di Salvo V., Baron R., Tschan H., Calderon Montero F. J., Bachl N., Pigozzi F. Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 2007, vol. 28 (3), pp. 222–227. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-2006-924294>
12. Di Salvo V., Gregson W., Atkinson G., Tordoff P., Drust B. Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 2009, vol. 30 (3), pp. 205–212. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0028-1105950>
13. Flatt A. A., Esco M. R. Evaluating individual training adaptation with smartphone-derived heart rate variability in a collegiate female soccer team. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2016, vol. 30 (2), pp. 378–385. DOI: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001095>
14. Leicht A. S. Bradycardia: Changes in intrinsic rate rather than cardiac autonomic modulation. *Clinical Autonomic Research*, 2013, vol. 23 (6), pp. 343. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10286-013-0208-8>
15. Malpas S. C. Neural influences on cardiovascular variability: possibilities and pitfalls. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 2002, vol. 282 (1), pp. H6–H20. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpheart.2002.282.1.H6>
16. Mohr M., Krustup P., Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal Sports Science*, 2003, vol. 21 (7), pp. 519–528. DOI: <https://doi.org/10.1080/0264041031000071182>
17. Naranjo J., De la Cruz B., Sarabia E., De Hoyo M., Domínguez-Cobo S. Heart rate variability: A follow-up in elite soccer players throughout the season. *International Journal of Sports Medicine*, 2015, vol. 36 (11), pp. 881–886. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0035-1550047>
18. Pichot V., Busso T., Roche F., Garet M., Costes F., Duverney D., Lacour J. R., Barthélémy J. C. Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: A laboratory study. *Medicine Science Sports Exercise*, 2002, vol. 34 (10), pp. 1660–1666. DOI: <https://doi.org/10.1097/00005768-200210000-00019>
19. Proietti R., di Fronso S., Pereira L. A., Bortoli L., Robazza C., Nakamura F. Y., Bertollo M. Heart rate variability discriminates competitive levels in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2017, vol. 31 (6), pp. 1719–1725. DOI: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001795>
20. Reilly T. An ergonomics model of the soccer training process. *Journal Sports Science*, 2005, vol. 23 (6), pp. 561–572. DOI: <https://doi.org/10.1080/02640410400021245>



21. Rienzi E., Drust B., Reilly T., Carter J. E., Martin A. Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 2000, vol. 40 (2), pp. 162–169. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11034438/>
22. Stølen T., Chamari K., Castagna C., Wisløff U. Physiology of soccer: An update. *Sports Medicine*, 2005, vol. 35 (6), pp. 501–536. DOI: <https://doi.org/10.2165/00007256-200535060-00004>
23. Strøyer J., Hansen L., Klausen K. Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Medicine Science Sports Exercise*, 2004, vol. 36 (1), pp. 168–174. DOI: <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000106187.05259.96>

Submitted: 08 August 2021

Accepted: 10 September 2021

Published: 31 October 2021



This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License](#) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. (CC BY 4.0).