

УДК 612.1

DOI: 10.26456/vtbio195

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ЛЫЖНИКОВ-ГОНЩИКОВ С РАЗНОЙ ИСХОДНОЙ ЧАСТОТОЙ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ*

А.Л. Марков, Ю.Г. Солонин

Институт физиологии Коми НЦ Уральского отделения РАН
ФИЦ Коми научный центр Уральского отделения РАН, Сыктывкар

У 83 мужчин из сборных Республики Коми по лыжным гонкам с помощью комплекса «Экосан-2007» проведен анализ variability сердечного ритма (BCP) в положении лежа и стоя (ортостатическая проба). Возраст спортсменов составлял от 18 до 30 лет. Для выявления особенностей BCP у лиц с разной исходной частотой сердечных сокращений (ЧСС) добровольцы были разделены на две группы (группа 1 - ЧСС от 40 до 55 уд/мин, n=45; группа 2 – ЧСС 56-70 уд/мин, n=38). Исходная ЧСС была измерена в покое лежа. В положении лежа у спортсменов из группы 1 статистически значимо выше значения временных показателей (RMSSD, pNN50, SDNN), абсолютная мощность VLF-волн и ниже относительная мощность LF-волн, SI, LF/HF, чем у добровольцев из группы 2. При ортостазе у мужчин из обеих групп наблюдались однонаправленные сдвиги по большинству параметров BCP. Однако у лыжников из группы 2 также выявлен статистически значимый рост значений абсолютной мощности LF- и VLF-волн. При анализе сдвигов параметров BCP при ортостазе у лыжников группы 2 выявлены более выраженные снижения SDNN, TP, абсолютных значений HF-, LF- и VLF-волн, при этом рост ЧСС был более выраженным у лиц из группы 1. Установлено, что на вегетативную регуляцию ритма сердца в положении лежа у мужчин из группы 1, по сравнению с добровольцами из группы 2, большее влияние оказывает парасимпатическая нервная система, при этом роль более высоких уровней регуляции снижена. Аналогичные закономерности выявлены и при ортостазе.

Ключевые слова: *вариабельность сердечного ритма, лыжники, ортостатическая проба, частота сердечных сокращений.*

Введение. Лыжные гонки – один из самых распространенных зимних видов спорта. Спорт высших достижений сопряжен с риском и необходимостью воздействия предельно допустимых физических

* Работа выполнена в рамках проекта № ГР АААА-А17-117012310157-7 по Программе ФНИ на 2017-2021 гг.

нагрузок на организм (Лубышева, 2014). Подвергаясь ежедневным тренировкам, у лыжников-гонщиков происходит ряд перестроек в работе сердечно-сосудистой системы и механизмах ее регуляции (Hedelin et al., 2001; Martin, Hadmas, 2019). Известно, что у лыжников-гонщиков и атлетов, занимающихся спортом на выносливость по сравнению с людьми не занимающихся профессиональным спортом, снижается ЧСС (Дерновой, Прошева, 2018), вегетативный баланс смещен в сторону парасимпатической нервной системы и т.д. (Hedelin et al., 2000; Stang et al., 2016; Uusitalo et al., 1996).

В литературе (Polat et al., 2018; Schäfer et al., 2015; Schmitt et al., 2018), особенно отечественной (Брагин и др., 2018; Варламова и др., 2020; Корнякова и др., 2020; Солонин и др., 2018 и др.), ВСР и ЧСС у лыжников-гонщиков довольно подробно описаны. Однако сравнительных данных по оценке вегетативной регуляции ритма сердца при ортостатической пробе у лыжников, имеющих разную ЧСС в покое не найдено. ЧСС отражает конечный результат деятельности многочисленных регуляторных влияний на ритм сердца и потому зависит не только от вегетативной нервной системы. Поэтому представляет интерес есть ли различия в ВСР у лыжников-гонщиков отличающихся по ЧСС в покое. Цель данного исследования – изучить особенности вегетативной регуляции ритма сердца у лыжников имеющих разную исходную ЧСС и выполняющих ортостатическую пробу.

Методика. В общеподготовительный период тренировок (июнь 2015-2019) обследовано 83 мужчины из сборных Республики Коми по лыжным гонкам (кандидаты в мастера спорта и мастера спорта России). Возраст добровольцев составлял от 18 до 30 лет.

Для выявления особенностей ВСР у лиц с разной исходной частотой сердечных сокращений добровольцы были разделены на две группы. В группу 1 вошли лыжники с ЧСС от 40 до 55 уд/мин (n=45), в группу 2 – с ЧСС от 56 до 70 уд/мин (n=38). Базовый уровень ЧСС был измерен с помощью аппаратно-программного комплекса «Экосан-2007» («Медицинские компьютерные системы», г. Зеленоград) у добровольцев, находящихся в покое в положении лежа. Перед началом обследования спортсмены проходили период адаптации к окружающим условиям помещения в течение 5-10 минут.

Регистрация электрокардиограммы (ЭКГ) и анализ ВСР также проведены с помощью комплекса «Экосан-2007». ЭКГ регистрировали в одном из стандартных отведений, в течение 5 мин в положении лежа и 5 мин в положении стоя (ортостатическая проба). Одноминутный промежуток времени между положениями не записывали.

Вычисляли статистические характеристики динамического ряда кардиоинтервалов, отражающие активность парасимпатических и

симпатических влияний на ритм сердца: квадратный корень суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов (RMSSD), число пар кардиоинтервалов с разностью более 50мс, в % к общему числу кардиоинтервалов в массиве (pNN50), стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов (SDNN). По результатам спектрального анализа ВСР рассчитывали суммарную мощность спектра (TP) - отражает суммарную активность вегетативного воздействия на сердечный ритм, абсолютную (мс²) и относительную (%) мощность спектра высокочастотного (HF), низкочастотного (LF), очень низкочастотного (VLF) компонентов ВСР. Основной составляющей HF является вагусная активность, LF - как симпатическая (преимущественно), так и парасимпатическая активность. Показатель VLF характеризует влияние высших вегетативных центров на сердечно-сосудистый подкорковый центр, отражает состояние метаболического и нейрогуморального уровней регуляции. Для оценки активности механизмов симпатической регуляции также рассчитывали стресс-индекс (SI), симпато-вагальный индекс (LF/HF) и индекс централизации (IC). Нормативы по параметрам ВСР были взяты из рекомендаций группы Российских экспертов (Баевский и др., 2001).

Кроме того, у спортсменов определяли рост и массу тела, рассчитывали индекс массы тела (ИМТ). Рост измеряли на стандартном ростомере с точностью до 1 см. Массу тела определяли без обуви и верхней одежды на медицинских весах с точностью до 100 граммов.

Исследование одобрено локальным комитетом по биоэтике при Институте физиологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. Все спортсмены подписали добровольное согласие на участие в исследовании.

Данные обрабатывали в программе Statistica 6.0. Осуществляли проверку выборки на нормальность распределения вариант. Вследствие асимметричного распределения ряда параметров ВСР результаты исследования ВСР представлены в виде медианы (Me) и 25-го и 75-го перцентилей. Данные по антропометрическим параметрам представлены в виде средней арифметической (M) и стандартного отклонения (SD). Статистическую значимость различий между группами оценивали с помощью критерия Манна-Уитни. Различия внутри группы (положение лежа – стоя) оценивали с помощью критерия Уилкоксона. Различия считали значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Данные табл. 1 показывают, что между группами лыжников с разным уровнем частоты сердечных сокращений нет существенных различий по возрасту, росту и массе

тела, а также ИМТ. Таким образом, по возрасту и антропометрическим параметрам группы являются достаточно однородными.

У обследуемых спортсменов, находившихся в положении лежа, установлено, что ряд значений параметров ВСП выходят за границы нормативов (Баевский и др., 2001). Так значения временных показателей RMSSD и pNN50 превышающие верхнюю границу нормы отмечены у спортсменов обеих групп. Согласно классической интерпретации при стандартной регистрации 5-минутного отрезка сердечного ритма все показатели временного анализа ВСП снижаются при активации симпатического тонуса и увеличиваются при усилении парасимпатических влияний (Олейников и др., 2009). Стресс индекс, характеризующий активность механизмов симпатической регуляции и состояние центрального контура регуляции (Баевский, Берсенева, 2008), как можно видеть из таблицы 2, был ниже норматива в обеих группах добровольцев.

Таблица 1

Антропометрические параметры у лиц с разным уровнем частоты сердечных сокращений (M±SD)

Параметры	Частота сердечных сокращений		P
	группа 1 (40-55 уд/мин) n=45	группа 2 (56-70 уд/мин) n=38	
Возраст, лет	22,80±4,19	21,61±3,46	0,234
Рост, см	176,45±5,64	177,54±5,24	0,467
Масса тела, кг	70,92±4,54	71,05±5,02	0,680
Индекс массы тела, кг/м ²	22,79±1,27	22,54±1,20	0,239

По результатам спектрального анализа как у спортсменов из группы 1, так и группы 2 выявлены высокие значения относительной мощности HF-волн, что указывает о повышении тонуса парасимпатической нервной системы. Кроме того у спортсменов из группы 2 выявлен выход значения относительной мощности VLF-волн, отражающего состояние нейрогуморального и метаболического уровней регуляции, за нижнюю границу норматива. Таким образом, показатели ВСП у лыжников обеих групп свидетельствуют о смещении вегетативного баланса в сторону парасимпатической нервной системы.

Схожие данные показаны и в работе Викулова и соавторов (2017). У лыжников по сравнению с практически здоровыми лицами, такого же возраста, но не занимающихся спортом выявлены более высокие значения HF-волн и более низкие цифры по параметрам, отражающим симпатическую активность (LF, SI, LF/HF). TP,

отражающий суммарную активность вегетативного воздействия на сердечный ритм у лыжников также был существенно выше.

В ходе анализа ВСП у обследуемых мужчин, находившихся в положении лежа, выявлено, что у лиц из группы 1 статистически значимо выше значения временных показателей (RMSSD, pNN50, SDNN), абсолютная мощность VLF-волн и ниже относительная мощность LF-волн, SI, LF/HF, чем у добровольцев из группы 2 (табл. 2). Из чего следует, что у лыжников с ЧСС от 40 до 55 уд/мин на вегетативную регуляцию ритма сердца большее влияние оказывает парасимпатическая нервная система, при этом роль более высоких уровней регуляции снижена.

Таблица 2

Показатели ВСП у лыжников в положении лежа,
Me (25-75 перцентили)

Параметры	Норматив	Частота сердечных сокращений		P
		группа 1 (40-55 уд/мин) n=45	группа 2 (56-70 уд/мин) n=38	
ЧСС, уд/мин	55-75	50,00 (48,00-52,00)	59,00 (58,00-61,75)	<0,001
RMSSD, мс	20-50	81,00 (63,00-107,00)	62,00 (47,00-75,75)	<0,001
pNN50, %	15-40	56,40 (44,50-66,00)	43,75 (28,88-53,25)	0,001
SDNN, мс	40-80	69,21 (61,82-94,89)	62,39 (56,12-79,65)	0,035
SI, усл. ед.	80-150	26,00 (19,00-37,00)	36,50 (29,00-55,50)	<0,001
TP, мс ²		4115,91 (3011,36-6040,12)	3493,28 (2592,30-5183,54)	0,109
HF, мс ²		1818,39 (959,57-2871,86)	1380,06 (894,02-1958,78)	0,113
LF, мс ²		1155,41 (824,32-1816,40)	1121,48 (836,89-1820,76)	0,960
VLF, мс ²		537,49 (379,22-899,19)	362,74 (234,73-684,51)	0,012
HF, %	15-25	48,70 (37,00-59,40)	43,95 (33,40-54,38)	0,173
LF, %	15-40	33,40 (23,60-40,90)	38,15 (30,05-52,78)	0,015
VLF, %	15-30	16,10 (10,70-22,30)	14,80 (8,30-20,28)	0,238
LF/HF, усл. ед.		0,66 (0,38-1,24)	0,93 (0,51-1,65)	0,049
IC, усл. ед.	2-8	1,05 (0,68-1,70)	1,28 (0,84-2,00)	0,167

Ортостатическая проба – это широко используемый тест в медицине, а также спортивной физиологии. С помощью данного тестирования можно выявить скрытые изменения в деятельности сердечно-сосудистой системы и механизмах ее регуляции (Гаврилова, 2016).

Как известно из опубликованных ранее работ (Михайлов, 2000; Schäfer et al., 2015), при ортостазе, как правило, происходит снижение

временных параметров, мощности HF-волн, а также общей мощности спектра ВСР. Аналогичные данные получены и нами. При ортостазе у мужчин из групп 1 и 2 наблюдались однонаправленные сдвиги по большинству параметров ВСР. Существенно снизились значения RMSSD ($p < 0,001$ и $p < 0,001$, соответственно), pNN50 ($p < 0,001$ и $p < 0,001$), SDNN ($p < 0,001$ и $p < 0,001$), TP ($p < 0,001$ и $p < 0,001$), абсолютная ($p < 0,001$ и $p < 0,001$) и относительная мощность HF-волн ($p < 0,001$ и $p < 0,001$). Помимо этого, в положении стоя у добровольцев из обеих групп статистически значимо возросли ЧСС ($p < 0,001$ и $p < 0,001$), SI ($p < 0,001$ и $p < 0,001$), LF/HF ($p < 0,001$ и $p < 0,001$), IC ($p < 0,001$ и $p < 0,001$), относительная мощность LF- ($p < 0,001$ и $p < 0,001$) и VLF-волн ($p < 0,001$ и $p < 0,001$). Кроме того, у лыжников из группы 2 при ортостазе выявлен статистически значимый рост значений абсолютной мощности LF- ($p = 0,014$) и VLF-волн ($p = 0,046$), тогда как у спортсменов из группы 1 существенных сдвигов по данным показателям не выявлено.

Таблица 3
Показатели ВСР у лыжников в положении стоя, Me (25-75 перцентили)

Параметры	ЧСС		P	Сдвиг параметров при ортостазе, %	
	группа 1 (40-55 уд/мин) n=45	группа 2 (56-70 уд/мин) n=38		группа 1	группа 2
ЧСС, уд/мин	75,00 (67,00-84,00)	85,00 (81,00-91,75)	<0,001	+50,0	+44,1
RMSSD, мс	29,00 (24,00-35,00)	21,00 (20,00-28,75)	0,001	-64,2	-66,1
pNN50, %	8,60 (5,80-11,40)	5,20 (4,33-7,53)	0,001	-84,8	-88,1
SDNN, мс	58,15 (46,77-68,17)	45,00 (36,26-52,73)	<0,001	-16,0	-27,9
SI, усл. ед.	64,00 (48,00-89,00)	109,00 (77,00-155,50)	<0,001	+146,2	+198,6
TP, мс ²	2671,95 (1790,05-3927,95)	1802,03 (1008,02-2506,26)	<0,001	-35,1	-48,4
HF, мс ²	275,38 (187,76-417,87)	179,50 (110,90-304,90)	0,003	-84,8	-87,0
LF, мс ²	1064,07 (651,98-1701,97)	785,81 (516,49-1182,09)	0,037	-7,9	-29,9
VLF, мс ²	534,79 (329,76-761,96)	296,30 (134,47-459,08)	<0,001	-0,5	-18,3
HF, %	13,80 (9,70-24,70)	13,75 (10,95-18,50)	0,749	-71,7	-68,7
LF, %	50,70 (41,20-62,20)	63,45 (51,25-70,50)	0,015	+51,8	+66,3
VLF, %	29,20 (17,20-36,90)	21,80 (16,15-27,70)	0,052	+81,4	+47,3
LF/HF, усл. ед.	3,82 (1,92-6,32)	4,31 (3,35-6,15)	0,267	+478,8	+363,4
IC, усл. ед.	6,23 (3,04-9,34)	6,27 (4,41-8,16)	0,742	+493,3	+389,8

Также были рассчитаны и проанализированы сдвиги параметров ВСР при ортостазе (табл. 3). По сравнению со спортсменами из группы 1, у лыжников группы 2 выявлены более

выраженные снижения SDNN ($p=0,042$), TP ($p=0,009$), абсолютных значений HF- ($p=0,007$), LF- ($p=0,029$) и VLF-волн ($p=0,046$). При этом рост ЧСС при ортостазе был более выраженным у лиц из группы 1 ($p=0,031$).

Заключение. У лыжников-гонщиков, имеющих разный базовый уровень ЧСС (группа 1 - лыжники с ЧСС от 40 до 55 уд/мин, группа 2 – с ЧСС от 56 до 70 уд/мин), выявлен ряд различий в вегетативной регуляции ритма сердца при выполнении ортостатической пробы. Установлено, что на вегетативную регуляцию ритма сердца в положении лежа у мужчин из группы 1, по сравнению с добровольцами из группы 2, большее влияние оказывает парасимпатическая нервная система, при этом роль более высоких уровней регуляции снижена. Аналогичные закономерности выявлены и при ортостазе.

Список литературы

- Баевский Р.М., Берсенева А.П.* 2008. Введение в донозологическую диагностику. Москва: фирма «Слово». 220 с.
- Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В., Гаврилушкин А.П., Довгалецкий П.Я., Кукушкин Ю.А., Миронова Т.Ф., Прилуцкий Д.А., Семенов А.В., Федоров В.Ф., Флейшман А.Н., Медведев М.М.* 2001. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем // Вестник аритмологии. № 24. С. 65-87.
- Брагин М.А., Киш А.А., Матюшев Т.В.* 2018. Прогноз физической работоспособности спортсменов-лыжников по параметрам variability сердечного ритма // Медицинская наука и образование Урала. № 3. С. 100-104.
- Варламова Н.Г., Гарнов И.О., Логинова Т.П., Бойко Е.Р.* 2020. Восстановление кардиореспираторной функции у лыжников – гонщиков разной квалификации после велоэргометрического теста «до отказа» // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. № 4. С. 19-24.
- Викулов А.Д., Бочаров М.В., Каунина Д.В., Бойков В.Л.* 2017. Регуляция сердечной деятельности у спортсменов высокой квалификации // Вестник спортивной науки. № 2. С. 31-36.
- Гаврилова Е.А.* 2016. Variability ритма сердца и спорт // Физиология человека. Т. 42. № 5. С. 121-129.
- Дерновой Б. Ф., Прошева В. И.* 2018. Комплексная оценка сердечно-сосудистой системы спортсменов-лыжников зимой в период подготовки к соревнованиям // Экология человека. № 8. С. 46-51.
- Корнякова В.В., Бадтиева В.А., Конвай В.Д.* 2020. Функциональная готовность спортсменов циклических видов спорта // Человек. Спорт. Медицина. Т. 20. № 1. С. 128-134.
- Лубышева Л.И.* 2014. Современный спорт: проблемы и решения // Вестник

- Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура. Т. 14. № 1. С. 12-14.
- Михайлов В.М.* 2000. Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения метода. Иваново: Иванов. гос. мед. акад. 200 с.
- Олейников В.З., Кулюцин А.В., Лукьянова М.В.* 2009. Клиническое значение частотного анализа ритмической деятельности сердца // *Сердце*. Т. 8. № 6. С. 319-323.
- Солонин Ю.Г., Гарнов И.О., Марков А.Л., Нутрихин А.В., Черных А.А., Бойко Е.Р.* 2018. Функциональная характеристика лыжников-гонщиков Республики Коми // *Спортивная медицина: наука и практика*. Т. 8. № 2. С. 12-20.
- Hedelin R., Bjerle P., Henriksson-Larsen K.* 2001. Heart rate variability in athletes: relationship with central and peripheral performance // *Medicine and Science in Sports and Exercise*. V. 33. № 8. P. 1394-1398.
- Hedelin R., Wiklund U., Bjerle P., Henriksson-Larsén K.* 2000. Pre- and post-season heart rate variability in adolescent cross-country skiers // *Scand. J. Med. Sci. Sports*. V. 10. № 5. P. 298-303.
- Martin S.A., Hadmas R.M.* 2019. Individual adaptation in cross-country skiing based on tracking during training conditions // *Sports*. V. 7. № 9. A. 211.
- Polat M., Korkmaz Eryilmaz S., Aydođan S.* 2018. Seasonal variations in body composition, maximal oxygen uptake, and gas exchange threshold in cross-country skiers // *Open Access J. Sports Med.* № 9. P. 91-97.
- Schäfer D., Gjerdalen G.F., Solberg E.E., Khokhlova M., Badtieva V., Herzig D., Trachsel L.D., Noack P., Karavirta L., Eser P., Saner H., Wilhelm M.* 2015. Sex differences in heart rate variability: a longitudinal study in international elite cross-country skiers // *Eur. J. Appl. Physiol.* V. 115. № 10. P. 2107-2114.
- Schmitt L., Willis S.J., Coulmy N., Millet G.P.* 2018. Effects of different training intensity distributions between elite cross-country skiers and nordic-combined athletes during live high-train low // *Front Physiol.* № 9. A. 932.
- Stang J., Stensrud T., Mowinckel P., Carlsen. K.H.* 2016. Parasympathetic activity and bronchial hyperresponsiveness in athletes // *Medicine and science in sports and exercise*. V. 48 № 11. P. 2100-2107.
- Uusitalo A.L.T., Tahvanainen K.U.O., Uusitalo A.J., Rusko H.K.* 1996. Non-invasive evaluation of sympathovagal balance in athletes by time and frequency domain analyses of heart rate and blood pressure variability // *Clin. Physiol.* V. 16. № 6. P. 575-588.

HEART RATE VARIABILITY IN CROSS-COUNTRY SKIERS WITH DIFFERENT BASELINE HEART RATE

A.L. Markov, Iu. G. Solonin

Institute of Physiology of Komi Science Centre of the Ural Branch RAS Federal Research Centre «Komi Science Centre of the Ural Branch RAS», Syktyvkar

Heart rate variability (HRV) analysis was carried out in 83 men from the national teams of the Komi Republic in cross-country skiing using the Ecosan-2007 complex in the lying and standing positions (orthostatic test). The age of the athletes ranged from 18 to 30 years old. To identify the features of HRV in individuals with different heart rates, the volunteers were divided into two groups (group 1 - heart rate from 40 to 55 beats / min, n = 45; group 2 - heart rate 56-70 beats/min, n = 38). Baseline heart rate was measured at rest lying down. In the supine position, athletes from group 1 have statistically significantly higher values of time parameters (RMSSD, pNN50, SDNN), absolute power of VLF waves and lower relative power of LF waves, SI, LF/HF, than volunteers from group 2. With orthostasis in men from both groups, unidirectional shifts in most HRV parameters were observed. However, skiers from group 2 also showed a statistically significant increase in the absolute power of LF and VLF waves. When analyzing the shifts in HRV parameters during orthostasis in skiers of group 2, more pronounced decreases in SDNN, TP, absolute values of HF-, LF- and VLF-waves were revealed, while the increase in heart rate was more pronounced in persons from group 1. It was found that the autonomic regulation of the heart rate in the supine position in men from group 1, compared with volunteers from group 2, is more influenced by the parasympathetic nervous system, while the role of higher levels of regulation is reduced. Similar patterns were found in orthostasis.

Keywords: *heart rate variability, cross-country skiers, orthostatic test, heart rate.*

Об авторах:

МАРКОВ Александр Леонидович – кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела экологической и медицинской физиологии, Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения РАН ФГБУН Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения РАН», 167982, Сыктывкар, ул. Первомайская, 50; e-mail: volkarb@mail.ru.

СОЛОНИН Юрий Григорьевич – доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник отдела экологической и медицинской физиологии, Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения РАН ФГБУН Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения РАН», 167982, Сыктывкар, ул. Первомайская, 50; e-mail: solonin@physiol.komisc.ru.

Марков А.Л. Вариабельность сердечного ритма у лыжников-гонщиков с разной исходной частотой сердечных сокращений / А.Л. Марков, Ю.Г. Солонин // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2021. № 2(62). С. 15-23.