

Антропофизиологический анализ гемодинамического обеспечения физической работы у здоровых лиц

Диленян Л. Р.¹

к.м.н., ассистент, кафедра реабилитации

Белкания Г. С.²

д.м.н., профессор, руководитель лаборатории

Мартусевич А. К.¹

д.б.н., руководитель, лаборатория медицинской биофизики университетской клиники

1 – Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород, Россия

2 – Лаборатория медицинских экспертных систем «Антропос Системс Лэб.», Винница, Украина

Автор для корреспонденции: Мартусевич Андрей Кимович; **e-mail:** cryst-mart@yandex.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Аннотация

У 212 здоровых мужчин проводилась стандартная велоэргометрическая проба со ступенчатым повышением физической нагрузки в положениях сидя и лежа. Регистрировалась электрокардиограмма, манжетным методом на плече измерялось давление крови, частота сердечных сокращений (ЧСС), методом тетраполярной грудной реографии и реоэнцефалографии измерялись минутный объем крови (МОК), ударный объем сердца (УОС), мозговой кровоток (МК), электрометрически (по проводимости) оценивался кожный кровоток (КК). Анализ полученных данных проводился в соответствии с I и III типом динамической организации кровообращения, который определялся по антропофизиологическому соотношению МОК «стоя/лежа». При общей направленности изменений гемодинамических параметров показаны принципиально существенные типологические различия по гемодинамической реактивности лежа и сидя у здоровых лиц по периоду физической нагрузки, а также по сохраняющейся активности сердечно-сосудистой системы (ССС) в восстановительном периоде. Получены данные о наиболее длительном сохранении повышенного МК и, особенно, КК после прекращения физической нагрузки в восстановительном периоде как проявление гемодинамического долга, отражающего напряжение адаптации к физической нагрузке и организменные возможности восстановления.

Ключевые слова: велоэргометрия, адаптация, физическая нагрузка, антропофизиологический тип кровообращения

doi: 10.29234/2308-9113-2019-7-1-81-98

Традиционно гемодинамическое обеспечение физической работы рассматривается, прежде всего, как энергетический метаболический и кислородный запрос работающих мышц. Действительно, сложные физиологические, биохимические и биофизические инсталляции организменных и тканевых механизмов реализации этого запроса обеспечиваются, прежде всего, циркуляторно. Увеличение минутного объема кровообращения и кровотока в работающих мышцах обеспечивает наиболее эффективный аэробный механизм срочной адаптации к физической нагрузке.

Однако это и гемодинамическая база реализации и других составляющих такой адаптации, например, терморегуляторной, конечный результат которой не мог бы состояться без увеличения кровотока в коже, включая потовые железы. Можно рассматривать различные пути поддержания теплового баланса (излучение, конвенция, испарение) при физической работе, но для их биофизической реализации нужна тепловая масса, которая и обеспечивается кожным кровотоком, как и циркуляторное обеспечение секреторной активности потовых желез. И, хотя в рассмотрении физиологии физической нагрузки и отмечается напряжение теплового баланса, особенно при больших нагрузках, и есть данные и об увеличении кожного кровотока, однако, сохраняющаяся активность сердечно-сосудистой системы (ССС) после прекращения нагрузки, как правило, ассоциируется с «кислородным долгом».

По-видимому, сосредоточенность на соотношениях аэробного и анаэробного процессов в энергетическом обеспечении работающих мышц и привела к прямолинейному рассмотрению сохраняющейся активности ССС и соответствующего повышенного потребления кислорода после прекращения работы преимущественно с «кислородным долгом». Однако, очевидна определенная проблематичность этого понятия в объяснении сохраняющейся активности ССС после прекращения работы в связи с необходимостью гемодинамического обеспечения, в том числе и по кислороду, и других важных составляющих адаптации к физической нагрузке, как например, регуляции теплового баланса, поддержания мозгового кровообращения, а также других факторов [10].

Целью проведенной работы явилось более широкое рассмотрение на основе антропofизиологического подхода [2,6,7], на наш взгляд, более правильного понятия «гемодинамического долга» при выполнении физической работы, одной из безусловных составляющих которого, понятно, является и «кислородный долг».

Материал и методы исследования

Гемодинамическое обеспечение динамической физической работы изучалось при проведении велоэргометрии в положениях тела сидя и лежа у 212 здоровых мужчин (282 исследования) репродуктивного возраста. С использованием велоэргометра «Елeта» при скорости педалирования 50 оборотов в минуту осуществлялась трехступенчатая (по 4 минуты каждая ступень) нагрузка нарастающей мощности. Начальная мощность составляла 50 ватт. Полнота выполнения протокола нагрузки определялась исходным соматическим и текущим клиническим состоянием.

При проведении пробы осуществлялся протокольный клинический контроль за состоянием, регистрировалась электрокардиограмма (ЭКГ) в отведениях Неба (5) и измерялось артериальное давление (АД, мм рт. ст.) манжетным методом по Короткову (6). Методом тетраполярной грудной реографии (4) и реоэнцефалографии (2,3) в общей

токовой сети (1) определялись ударный объем сердца (УОС, мл), частота сердечных сокращений (ЧСС, в минуту) и минутный объем крови (МОК, мл), мозговой кровоток (МК, в усл. ед.) оценивался по амплитуде первой производной дифференциальной реоэнцефалограммы (РЭГ, ом/сек). Проводилась электрометрия кожи [5,7,8]: в измерительной схеме с источником постоянного тока (200 мкА) «влажным» (смоченная водой гигроскопическая прокладка) металлическим дисковым электродом (с активной поверхностью диаметром 8 мм) локально измерялась электрокожная проводимость (в мкА) на плече (7) и бедре (8), по которой оценивался кровоток кожи (КК, в усл. ед.).

Оцениваемые параметры измерялись в исходном состоянии и дискретно на 1, 2, 3 и 4-й минутах по каждой ступени нагрузки, а также в периоде восстановления сразу после остановки работы (0), на 1, 3, 5, 7, 10 и 15 минутах покоя в исходной позе (сидя или лежа). Данные, полученные продольно-поперечным методом, для анализа группировались соответственно объему выполненной физической работы (в кГм) – 500, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000 и 8000 кГм и по обозначенным выше минутным интервалам в периоде восстановления.

Анализ гемодинамического обеспечения проводился с учетом типа кровообращения по антропофизиологическому соотношению МОК «стоя/лежа» [2,7,8]. Выделялись выборки лиц с I типом, который определялся снижением сердечного выброса (93% и ниже) в положении стоя относительно лежа (гипокинетическое состояние), со II типом (эукинетическое состояние) при отсутствии различий по МОК стоя и лежа (94-106%) и с III типом, при котором МОК в положении стоя увеличивается (107% и больше) относительно его величины в положении лежа (гиперкинетическое состояние).

Для анализа общей динамики по периодам нагрузки и восстановления использовались непараметрические статистические характеристики прямых величин гемодинамических параметров и их величины относительно исходного состояния – по медиане (Me) и перцентильному диапазону: k-значение перцентили определялось с 95% вероятностью ($P \leq 0.05$) с учетом объема выборки – перцентиль с $k \geq 0$ определялся как нижний предел перцентильного диапазона, а с $k \geq 1$ как верхний предел. В дальнейшем для удобства упоминания по тексту использовались определения – нижний и верхний перцентиль. Обработка рядов данных проводилась с помощью пакета статистических программ Microsoft Excel.

По исходному состоянию Me по прямой величине оцениваемых гемодинамических параметров принималась за 100%, а верхний и нижний перцентиль по прямым величинам выражался, соответственно, и в относительных (%), величинах. По прямым величинам оценивались изменения состояния по базовым характеристикам, а по относительным исходного состояния, собственно, по реактивным характеристикам. Таким образом, по каждому из оцениваемых гемодинамических параметров по двум группам (прямых и относительных величин) использовалось 6 характеристик – две по Me и четыре по перцентильям. Такая комплексная характеристика (по прямым и относительным

величинам), на наш взгляд, более полно верифицирует состояние, как по отдельным дискретным выборкам, так и по динамике в целом. Критическое значение статистических критериев для анализа при принятом уровне значимости определялось по порогу (критического предела) достоверной ($P \leq 0.05$) специфичности наибольшей из подгрупп [12,13] по суммарной выборке долей с одинаковым признаком (синдромом) из сопоставляемых выборок (групп, состояний).

Более полное представление о комплексе использованных характеристик и алгоритме статистического анализа дают представленные ниже в таблицах 1 – 4 данные по результатам велоэргометрии у здоровых лиц. С использованием непараметрического критерия знаков ($R_{кз}$) оценивалось превалирование однонаправленных изменений использованных 6-ти статистических характеристик по прямым (черный шрифт) и относительным (красный шрифт) величинам относительно исходного состояния (больше, меньше) дискретно по каждой из 10 последовательных групповых выборок по объему выполненной физической работы (в кГм) в периоде нагрузки и по минутам восстановления после остановки. Однонаправленные изменения по 5-6 из 6 используемых непараметрических характеристик по отдельным групповым выборкам (на рисунках 3 и 4 одноцветные квадратики по вертикали) принимаются как достоверные и специфические ($R_{кз} \leq 0.05$). Однонаправленное отклонение M_e гемодинамических параметров по 10 последовательным групповым выборкам в периоде велоэргометрической нагрузки от исходной величины отдельно (по прямыми или относительным величинам) – по 7 и больше из 10 позиций, а суммарно (прямые + относительные величины) – по 13 и больше из 20 позиций с принятой 95% вероятностью определялось достоверно специфическим изменением ($R_{кз} \leq 0.05$) по динамике состояния.

Интегральная характеристика по отдельным гемодинамическим параметрам общей динамики осуществлялась на основе сопоставления с исходным состоянием и анализа всех 6 непараметрических статистических характеристик (прямых и относительных величин) по каждой и суммарно по всем групповым выборкам периода нагрузки (кГм) и по временным (минуты) этапам восстановления. Так, по рассматриваемым данным (см. таблицы) по периоду физической нагрузки такой комплекс характеристик составляет 6 (число статистических характеристик) по каждой из 10 групповых выборок по объему выполненной физической работы (в кГм), итого суммарная выборка составляет $n=6 \times 10=60$. Однонаправленные изменения 37 и больше характеристик по суммарной выборке из 60 (на рисунках 3 и 4 соответствующее число одноцветных квадратики) с 95% вероятностью являются достоверно специфическими ($R_{кз} < 0.05$). По такому же алгоритму (по превалированию направленности отличий) сопоставлялись основные состояния (сидя–лежа, I–III типы), а также оценивались фазовые изменения по динамике и в периоде нагрузки, и в периоде восстановления у здоровых лиц и пациентов с постинфарктным кардиосклерозом.

Полученные данные и их обсуждение

Типологическая структура динамической организации кровообращения исследованной выборки здоровых мужчин по антропофизиологическому соотношению МОК «стоя/лежа» представлена преимущественно I типом или гипокинетическим состоянием гемодинамики в ортостатике (70%), II типом или эукинетическим состоянием (11%) и гиперкинетическим состоянием (III тип) в ортостатике (19%) и соответствует характеристике ССС у здоровых лиц [2,9]. В настоящей статье рассматриваются данные по динамике гемодинамического обеспечения физической работы у лиц (здоровых и с постинфарктным кардиосклерозом) при I и III типах кровообращения как принципиально противоположных состояний, определяющих и качественное различие гемодинамической реактивности (по МОК), в том числе, на физическую нагрузку [2,7]. Сразу следует отметить, что ранее отмеченные типологические и позные особенности проявления гемодинамической реактивности по изменениям МОК по ступеням повышающейся мощности физической нагрузки [1,7,11] четко проявляются и при анализе развернутой динамики по объему выполненной динамической физической нагрузки (рис. 1). При этом выражены и фазовые изменения гемодинамических параметров, как в процессе адаптации к физической нагрузке, так и в восстановительном периоде после ее прекращения.

На рис. 1 приводится динамика гемодинамического обеспечения физической работы на велоэргометре по медиане (Me) относительных к исходной величин МОК, УОС, ЧСС, АД, МК и КК на протяжении периода нагрузки и после прекращения ее (период восстановления). Верхний край серого профиля соответствует Me исходного уровня гемодинамических параметров, принятого за 100%. Розовым цветом выделен профиль, ограниченный МОК (верхняя кривая) и УОС (нижняя кривая), как отражение основного механизма циркуляторного обеспечения всех гемодинамических составляющих адаптации к физической нагрузке.

Хорошо видно, что при физической нагрузке у лиц с I типом кровообращения в вертикальном положении (сидя) увеличение МОК в целом на протяжении всего периода нагрузки обеспечивается как за счет увеличения УОС, так и ЧСС. И такая направленность абсолютно однозначно определялась по Me как по прямым (базовым), так и относительным (реактивным) характеристикам по всему периоду нагрузки – суммарно (базовые + реактивные) по 20 из 20 позиций. При этом на начальном этапе вработывания (до 1000 кГм) отмечается наибольший прирост по МОК (до 300%), нарастая в дальнейшем с увеличением мощности и объема выполненной работы. На начальном этапе вработывания при умеренном увеличении ЧСС (до 150%) определяется почти полная мобилизация сердечного ресурса по УОС (203%), уровень которого стабилизируется на постоянном уровне (177–192%) на протяжении всего периода нарастания нагрузки и перманентного увеличения объема выполненной физической работы (табл. 1). Такие отношения между МОК, УОС и ЧСС можно определить как оптимальные и аэробно ориентированные в гемодинамическом обеспечении адаптации к физической нагрузке

при I типе в вертикальном положении сидя. И только при нарастании нагрузки с объема выполненной физической работы в 5000 кГм частотная составляющая насосной функции (по ЧСС) начинает превалировать над приростом по УОС (табл. 1 и рис. 2).

Рис. 1. Комплексная характеристика динамики гемодинамического обеспечения динамической физической работы (в кГм) при велоэргометрии у здоровых мужчин в положении тела сидя и лежа (обозначено фигурками) и в восстановительном периоде по медиане (Me) минутного объема крови (МОК), ударного объема сердца (УОС), частоты сердечного ритма (ЧСС), артериального давления (АД), мозгового кровотока (МК) и кожного кровотока поверхности тела (КК) при I и III типе кровообращения (по антропoфизиологическому соотношению МОК стоя/лежа). Динамика по Me учитываемых гемодинамических параметров представлена цветными кривыми, которые получены на основе полиномиальной аппроксимации. Исходная величина (уровень) гемодинамических параметров принята за 100%.

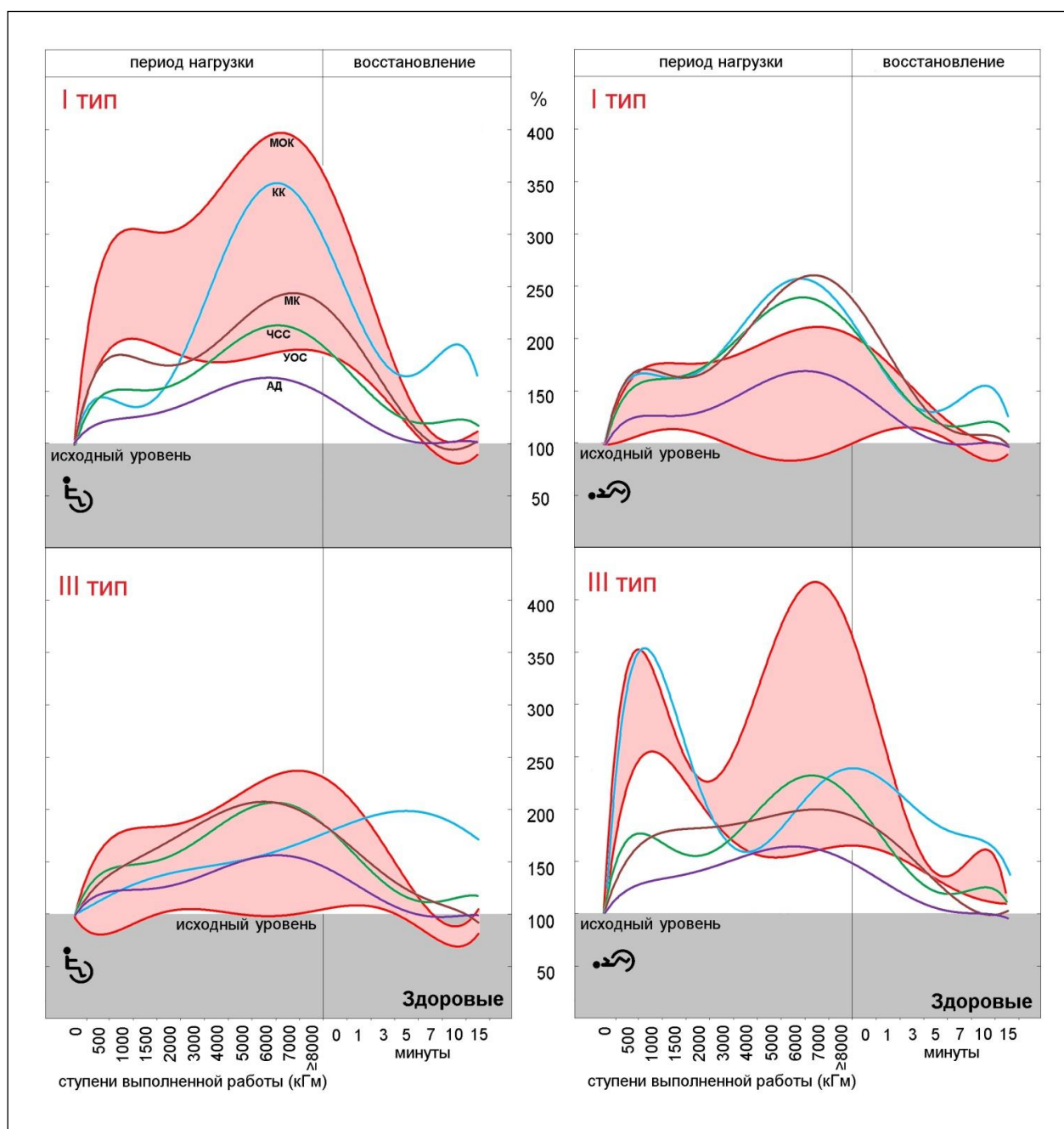


Таблица 1. Непараметрические статистические характеристики (Ме – жирный шрифт, верхний и нижний перцентиль) гемодинамических параметров (черный шрифт – базовые, прямые величины, красный шрифт – реактивные, относительные величины), используемые для анализа динамики гемодинамического обеспечения физической работы (кГм) и восстановления (минуты) в положении СИДЯ у здоровых лиц с I ТИПОМ кровообращения.

Исход- ные	Физическая нагрузка (кГм)											Восстановительный период (минуты)						
	500	1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	7000	>8000		0	1	3	5	7	10	15
Минутный объем крови (МОК)																		
4030	8276	8704	10815	11849	13800	14063	14019	13152	16660	16517		14076	10909	7377	5597	4797	4557	4349
2537	5822	6800	7519	8890	6214	8982	10909	8652	10655	11218		9707	7067	4553	3560	2893	2897	2614
6042	15697	15507	15984	18814	18706	20773	20342	21298	25575	22274		20383	15888	11022	8797	7660	7002	6311
100%	275	293	285	278	362	320	376	368	367	367		370	272	193	135	118	114	109
65	202	221	201	199	266	248	270	270	272	272		269	194	120	102	89	86	80
150	368	470	460	397	529	483	455	539	542	465		511	395	280	217	175	158	143
Частота сердечных сокращений (ЧСС)																		
72	110	107	109	110	118	130	145	145	150	143		134	108	94	90	89	86	84
64	102	96	102	100	105	120	125	132	137	132		117	94	83	81	80	77	76
79	123	119	120	121	139	146	158	163	162	154		148	122	107	100	97	95	94
100%	149	148	149	157	172	179	205	202	209	206		186	151	134	127	123	121	119
89	135	137	141	135	157	165	178	185	184	185		153	125	116	111	110	107	105
110	167	169	166	179	196	206	236	241	228	223		217	176	148	142	139	134	133
Ударный объем сердца (УОС)																		
56	76	78	102	104	114	105	100	96	109	113		108	106	82	64	54	51	49
34	53	65	74	78	54	67	69	60	65	69		78	66	51	41	36	33	32
86	138	145	149	165	158	161	150	141	189	155		154	145	110	94	83	80	74
100%	177	203	184	188	192	177	180	184	181	178		200	173	143	113	95	93	89
61	127	144	138	140	143	144	130	121	135	122		149	132	96	81	75	75	67
154	250	272	306	302	301	267	235	241	248	231		275	243	206	158	137	127	122
Артериальное давление (АД, систолическое)																		
117	141	150	150	145	160	170	180	180	180	180		160	145	130	120	120	116	116
110	119	129	137	130	152	150	167	166	160	170		142	130	120	110	110	110	108
125	150	162	170	170	200	190	208	205	210	204		175	160	140	130	126	125	124
100%	115	123	127	126	143	145	158	155	157	159		134	123	109	103	100	100	99
94	109	120	117	114	126	132	143	139	140	144		120	112	104	98	96	95	93
107	127	138	137	141	159	161	176	168	172	172		150	133	119	109	105	104	102
Мозговой кровоток (МК)																		
0.58	1.49	1.32	0.95	1.11	1.40	1.25	1.12	1.31	1.49	1.32		1.41	1.15	0.96	0.68	0.65	0.63	0.59
0.41	0.89	0.73	0.61	0.68	0.88	0.87	0.74	0.97	0.78	0.99		0.97	0.77	0.59	0.48	0.43	0.40	0.40
0.86	2.21	2.32	2.07	1.66	1.71	1.63	2.21	1.74	1.94	2.03		1.66	1.30	1.01	0.79	0.68	0.67	0.68
100%	167	193	158	180	192	193	214	205	253	235		236	188	149	119	107	100	100
71	140	127	132	140	148	161	170	163	169	201		187	149	117	100	91	88	80
148	278	259	222	264	278	235	276	274	334	300		253	208	158	123	111	105	119
Кожный кровоток (КК)																		
47	94	81	70	73	74	62	83	55	64	96		72	70	67	60	64	56	54
19	45	44	31	26	30	26	26	25	35	37		22	23	22	21	20	19	19
94	101	120	125	79	79	94	94	62	62	105		107	101	94	95	95	87	78
100%	119	136	143	138	239	232	258	289	455	310		200	199	177	172	184	162	164
40	92	107	83	81	93	177	146	172	179	119		97	98	93	81	76	78	72
200	154	124	250	325	355	232	352	690	730	456		417	308	366	333	285	279	260

Хотя в положении лежа изменения МОК в периоде физической нагрузки носят принципиально однонаправленный характер с изменениями сидя (рис. 1; рис. 2А и Б), однако уровень мобилизации насосной функции сердца, как по МОК, так и, особенно, по УОС выражено и достоверно ниже, как по Ме (рис. 1), так и по интегральной оценке (рис. 2А←Б).

На рис. 2 приводятся сравнительные аналитические данные по интегральной характеристике направленности динамики гемодинамического обеспечения физической нагрузки при I типе в положении сидя (А) и лежа (Б) относительно исходного состояния и их сравнительная оценка в положении лежа относительно сидя (А←Б). При понятной принципиально однотипной направленности изменений МОК, УОС и ЧСС – достоверное увеличение (5-6 из 6-ти статистических характеристик – красные ячейки) по каждому из 10 этапов (вертикальные столбики) выполненной работы и в целом по всему периоду нагрузки (красные стрелки вверх) отмечается фазовая динамика по УОС лежа (рис. 2 Б). При этом отмечается достоверно более низкий уровень сердечного выброса (как по МОК, так и УОС) в положении лежа относительно сидя (рис. 2А←Б).

Таблица 2. Непараметрические статистические характеристики (Ме – жирный шрифт, верхний и нижний перцентиль) гемодинамических параметров (черный шрифт – базовые, прямые величины, красный шрифт – реактивные, относительные величины), используемые для анализа динамики гемодинамического обеспечения физической работы (кГм) и восстановления (минуты) в положении ЛЕЖА у здоровых лиц с I ТИПОМ кровообращения.

Исход- ные	Физическая нагрузка (кГм)										Восстановительный период (минуты)						
	500	1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	7000	>8000	0	1	3	5	7	10	15
Минутный объем крови (МОК)																	
6020	9864	8624	11825	11342	12786	11128	10240	10863	14454	15980	13516	11087	8833	7930	7360	7043	7110
3883	6432	5713	9230	6546	10340	9668	6991	7711	9165	6377	8338	6520	5737	5043	4684	4348	3783
9320	15236	15920	16352	15579	16433	16833	17967	19072	21930	35570	18734	16523	13636	12429	10918	10345	9366
100%	175	168	161	178	213	178	211	184	186	242	209	172	144	128	120	112	99
64	160	149	128	145	128	127	141	139	172	173	170	131	106	109	98	93	84
155	209	193	208	222	294	247	254	331	293	375	276	225	194	181	157	146	130
Частота сердечных сокращений (ЧСС)																	
65	108	110	106	104	125	122	138	154	140	143	125	93	84	82	80	78	73
58	101	103	89	94	110	100	110	143	135	129	101	75	66	66	65	64	63
77	121	120	113	118	140	143	167	167	163	165	150	121	100	96	91	87	81
100%	157	160	152	166	209	204	223	220	239	230	195	151	130	127	123	114	114
89	145	148	136	146	179	161	163	201	209	184	150	112	102	104	99	100	101
118	174	170	178	200	228	249	283	260	265	265	238	186	156	145	145	139	128
Ударный объем сердца (УОС)																	
97	86	83	111	105	101	111	84	66	114	104	112	114	112	106	99	100	90
59	59	52	85	71	77	80	43	93	69	60	76	66	69	65	57	58	54
135	164	163	244	190	129	132	101	114	130	190	146	175	168	151	132	133	125
100%	115	109	117	108	105	106	94	79	84	99	115	121	118	105	101	92	92
61	95	97	84	90	63	52	52	57	75	74	90	86	89	90	77	82	75
139	141	166	146	146	148	128	142	130	115	123	146	162	145	129	129	115	106
Артериальное давление (АД, систолическое)																	
118	138	145	140	154	173	168	175	203	200	202	160	145	130	125	118	115	115
105	119	130	131	131	164	159	160	170	186	182	140	130	120	110	110	105	106
129	168	163	180	165	200	195	198	212	212	218	190	168	145	135	127	128	121
100%	126	126	125	131	147	144	162	170	161	171	140	127	112	106	102	100	99
89	112	117	113	119	140	130	141	152	153	151	125	113	102	100	96	94	92
109	138	138	148	145	170	161	170	206	183	184	154	138	122	114	108	105	106
Мозговой кровоток (МК)																	
0,54	1,25	1,25	0,8	0,97	0,98	0,74	1,13	0,86	1,21	1,38	1,06	0,94	0,79	0,67	0,59	0,59	0,51
0,36	0,86	0,83	0,48	0,61	0,74	0,56	0,78	0,68	0,76	1,08	0,81	0,66	0,60	0,50	0,41	0,40	0,40
0,83	1,85	2,01	2,29	1,65	1,50	0,85	1,30	1,71	2,04	2,78	1,70	1,47	1,19	1,04	0,85	0,80	0,76
100%	167	167	156	172	182	194	260	232	237	278	210	175	148	121	115	105	100
67	134	137	129	140	163	144	169	181	180	158	170	137	115	103	92	91	88
154	198	214	206	216	212	221	298	355	389	353	255	206	175	156	133	128	124
Кожный кровоток (КК)																	
70	110	100	80	69	80	88	89	103	105*	103	55	53	44	41	43	45	38
32	49	50	32	31	57	43	43	100	100	100	30	24	25	24	20	19	17
99	134	139	122	100	85	94	94	105	105	105	105	102	103	104	104	100	84
100%	157	167	167	164	159	223	270	237	240*	237	166	156	147	140	139	140	130
46	96	100	102	102	111	109	143	134	134	134	115	109	100	93	93	92	79
141	205	219	290	304	183	543	547	319	319	339	231	227	209	187	187	187	179

Примечание. звездочкой «*» обозначены единичные измерения

Последовательность квадратов по горизонтали соответствует по периоду нагрузки последовательности групповых выборок по объему выполненной работа на велоэргометре (в кГм) – 500, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000 и больше, по периоду восстановления – 0, 1, 3, 5, 7, 10 и 15 минут после прекращения нагрузки (рис. 1).

Квадратики по вертикали соответствуют 6 непараметрическим статистическим характеристикам учитываемых гемодинамических параметров по отдельным групповым выборкам (см. табл. 1–4). Направленность отличий по сравнению с исходной величиной (до нагрузки) показана цветом: увеличение – красным, уменьшение – синим. Цветными стрелками выделены фазы и периоды на основе интегральной оценки достоверных ($P_{кз} < 0,05$) по направленности изменений.

Таблица 3. Непараметрические статистические характеристики (Ме – жирный шрифт, верхний и нижний перцентиль) гемодинамических параметров (черный шрифт – базовые, прямые величины, красный шрифт – реактивные, относительные величины), используемые для анализа динамики гемодинамического обеспечения физической работы (кГм) и восстановления (минуты) в положении СИДЯ у здоровых лиц с III ТИПОМ кровообращения.

Исход- ная	Физическая нагрузка (кГм)											Восстановительный период (минуты)						
	500	1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	7000	>8000		0	1	3	5	7	10	15
Минутный объем крови (МОК)																		
4814	6400	6606	10003	10736	8325	11160	16614	9788	10795	12464		13712	11657	7836	6693	6320	5350	5487
3630	6389	6024	5990	6104	6961	7602	8365	7157	5238	8306		7570	6041	5064	3848	3691	3465	3086
8819	6438	13990	13914	16553	16805	14594	23600	15071	16847	16692		21144	15705	13017	11066	9050	8860	8065
100%	184	152	168	224	184	210	202	223	221	225		273	199	139	127	107	106	101
75	156	124	141	157	130	155	160	156	146	180		164	123	91	77	80	70	60
183	185	235	229	272	242	281	290	273	301	293		360	323	267	188	167	146	142
Частота сердечных сокращений (ЧСС)																		
75	112	112	109	111	138	126	139	139	130	143		135	116	97	91	90	88	86
66	100	104	98	104	120	118	127	132	127	131		122	99	84	78	77	79	78
81	125	121	131	114	145	153	143	156	134	152		145	125	111	101	100	98	95
100%	140	140	150	149	184	180	182	200	208	196		181	151	125	113	118	116	117
88	139	139	144	144	164	169	181	182	194	192		162	132	113	107	107	106	107
108	167	159	172	150	185	204	199	207	221	235		198	166	146	137	132	126	128
Ударный объем сердца (УОС)																		
97	60	60	95	131	96	89	121	95	77	87		112	109	98	81	70	72	70
76	48	52	60	97	74	69	81	69	49	77		92	78	62	52	53	49	53
130	150	123	118	149	141	112	160	106	94	119		203	171	152	139	94	115	106
100%	84	84	94	130	101	90	112	105	88	104		129	114	100	87	83	85	80
78	72	76	81	106	76	72	100	62	66	85		96	91	70	64	65	63	60
134	155	134	122	148	141	127	123	124	113	130		169	157	150	119	91	101	95
Артериальное давление (АД, систолическое)																		
120	150	150	150	150	160	166	175	185	184	180		160	150	135	125	120	115	117
110	134	140	130	127	145	144	157	150	160	167		138	130	120	110	107	105	103
130	152	172	171	162	170	206	207	203	216	205		200	170	150	140	130	125	125
100%	118	119	127	127	136	138	146	154	154	156		137	125	109	104	100	98	99
92	117	117	112	115	118	124	133	139	133	149		116	108	98	96	93	90	91
108	119	136	139	134	148	163	175	165	178	172		159	142	125	116	109	108	105
Мозговой кровоток (МК)																		
0.50	1.00	1.16	1.20	0.78	0.97	1.16	1.52	1.14	1.10	1.39		1.38	1.11	0.96	0.78	0.72	0.71	0.65
0.37	0.92	0.93	0.97	0.61	0.78	0.85	1.06	1.02	0.75	1.22		0.81	0.83	0.68	0.60	0.51	0.56	0.44
0.77	1.05	1.32	1.56	1.75	1.16	2.11	2.68	2.23	1.56	1.9		2.36	1.8	1.47	1.38	1.12	1.11	1.02
100%	132	149	162	154	186	218	180	227	195	166		205	156	131	131	110	109	94
57	117	112	116	91	154	147	163	144	86	143		162	133	101	99	85	77	66
141	202	178	181	240	218	272	266	272	310	269		255	254	228	176	147	145	129
Кожный кровоток (КК)																		
45	52	55	84	63	27	80	59	63	38	134		33	30	26	30	30	29	22
5	41	42	58	10	6	53	19	37	33	100		13	12	13	10	12	9	6
81	62	61	89	101	74	132	133	95	143	148		87	75	78	91	77	45	80
100%	103	124	135	134	136	138	160	151	155	158		191	182	202	182	180	197	162
11	86	90	117	102	101	131	112	106	107	156		110	100	123	118	100	101	87
180	120	225	227	190	219	209	370	196	201	182		400	400	314	400	415	498	222

Мобилизация УОС на этапе вработывания по Ме лежа хотя и проявлялась, но была несравненно менее выраженной, по сравнению с нагрузкой сидя (рис. 1). Так, по Ме относительных показателей УОС был абсолютно ниже – по 10 из 10 позиций ($P_{кз} < 0,01$), а суммарно (Ме по прямым и относительным показателям) – по 14 из 20 ($P_{кз} < 0,05$). Мобилизация сердечного выброса (по МОК и УОС) однозначно была более низкой в положении лежа и по интегральной характеристике в целом (рис. 2 А←Б) по всем 6 характеристикам (показателям) и по всему периоду нагрузки – по 39 по УОС ($P_{кз} < 0,05$) и по 42 по МОК из всех по периоду нагрузки 60 характеристик ($P_{кз} < 0,01$).

При абсолютно однозначно направленной в положении сидя и лежа адаптации к физической нагрузке по приросту ЧСС (на рис. 2А и Б сплошной красный профиль) в положении лежа, усиление хронотропной функции сердца было достоверно большим по сравнению с нагрузкой в положении сидя, как по Ме (рис. 1) – по 14 из 20 позиций ($P_{кз} < 0,05$), так и по интегральной оценке ЧСС (рис. 2 А←Б) – по 39 показателям из 60 ($P_{кз} < 0,05$). Это, в отличие от положения сидя, отражает преимущественное увеличение МОК в положении лежа за счет прироста ЧСС, то есть по энергетически более затратному

пути (табл. 2; рис. 3, Б и А←Б). Отмеченные соотношения между изменениями по УОС и ЧСС свидетельствуют о том, что I типе ведущим гемодинамическим механизмом поздних отличий адаптации к физической нагрузке по МОК является инотропная составляющая насосной функции сердца.

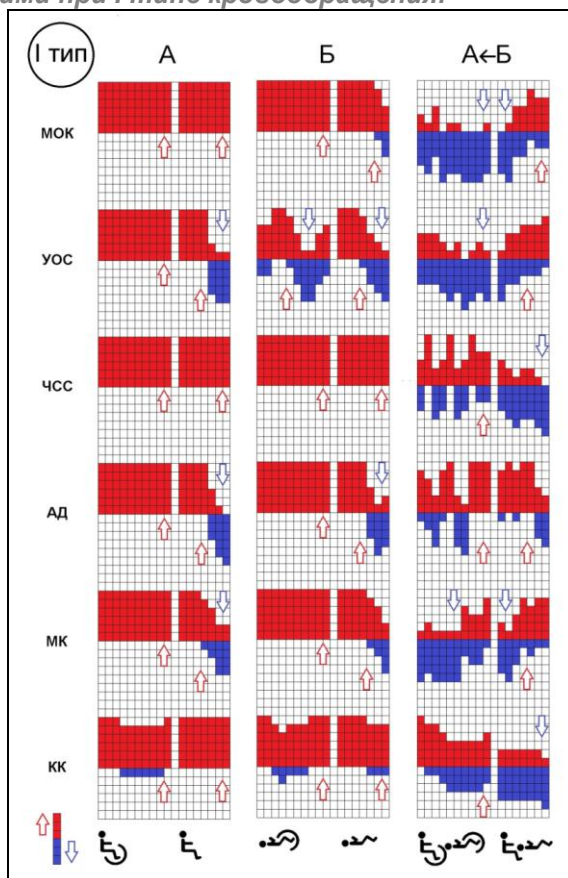
При однотипном (сидя и лежа) характере и направленности общей динамики при I типе по увеличению АД – по Ме (рис. 1) и интегральной оценке (рис. 2А и Б, сплошной красный профиль) адаптация к физической нагрузке в положении лежа сопровождалась достоверно большим его приростом по сравнению с положением сидя как по Ме ($P_{кз} < 0,05$), так и интегрально по всему периоду нагрузки (рис. 2 А←Б) – по 47 показателям из 60 ($P_{кз} < 0,01$). Это свидетельствует о более оптимальном циркуляторном обеспечении перфузии при I типе в положении сидя за счет более высокого прироста по МОК (рис. 1). Отражением тому является и более высокая мозговая перфузия, в отличие от положения лежа. И хотя в обоих положениях МК однонаправленно повышался (рис. 1А и Б, сплошной красный профиль), однако при физической работе в положении лежа по периоду нагрузки до объема физической работы 4000 кГм он был достоверно ниже, чем в положении сидя. – синий профиль (29 из 36 показателей, $P_{кз} < 0,01$). На рисунке 2 (А←Б,) эта фаза выделена синей стрелкой. В дальнейшем при увеличении нагрузки, хотя МК и оставался однозначно увеличенным по сравнению с исходным состоянием (рис. 2А и Б), однако различия лежа и сидя по МК носили неопределенный характер.

Таблица 4. Непараметрические статистические характеристики (Ме – жирный шрифт, верхний и нижний перцентиль) гемодинамических параметров (черный шрифт – базовые, прямые величины, красный шрифт – реактивные, относительные величины), используемые для анализа динамики гемодинамического обеспечения физической работы (кГм) и восстановления (минуты) в положении ЛЕЖА у здоровых лиц с III ТИПОМ кровообращения.

Исход- ная	Физическая нагрузка (кГм)										Восстановительный период (минуты)							
	500	1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	7000	>8000	0	1	3	5	7	10	15	
Минутный объем крови (МОК)																		
3747	10218	10477	11536	12940	11970	10394	15082	13858	19439	18242	12496	9302	7731	6893	6967	5615	5036	
2109	9340	5500	7700	10969	8556	9027	14615	12159	15835	10607	9077	7570	5884	4248	3349	2626	3067	
6757	15552	20019	20666	16674	12058	18630	2047	14338	25886	25886	20008	14251	12394	11519	11049	9606	8386	
100%	424	315	207	218	325	258	316	536	373	283	355	264	206	161	151	131	136	
56	313	151	204	201	257	240	285	376	306	263	280	210	152	112	110	111	100	
180	462	439	326	301	510	295	446	544	420	356	445	408	364	336	295	222	179	
Частота сердечных сокращений (ЧСС)																		
71	102	106	115	113	121	126	145	149	164	156	139	102	90	89	87	84	80	
59	100	102	109	105	116	124	125	141	162	154	99	82	71	67	68	66	63	
77	105	121	119	121	125	137	150	150	164	167	157	120	105	98	97	93	90	
100%	161	171	156	152	165	184	195	201	248	224	186	150	130	124	120	118	109	
83	161	165	152	144	154	184	191	197	248	207	152	120	107	102	107	107	102	
108%	172	179	171	155	178	187	203	207	288	254	247	172	151	143	132	135	127	
Ударный объем сердца (УОС)																		
57	94	100	165	106	95	73	105	102	82	92	94	88	84	73	81	68	65	
33	88	88	100	59	80	51	51	82	71	66	72	79	73	52	49	41	46	
77	177	197	242	242	135	96	165	119	96	138	124	139	131	123	128	114	114	
100%	264	251	214	211	207	176	159	166	168	141	185	176	164	130	130	120	120	
56	143	143	159	132	196	128	129	129	103	100	142	135	130	94	103	103	98	
131	294	294	286	315	369	369	179	216	216	168	239	255	263	245	212	163	140	
Артериальное давление (АД, систолическое)																		
119	150	138	172	173	212	180	176	200	186	188	173	156	129	124	123	116	116	
107	144	111	143	163	198	158	168	199	168	185	140	133	120	117	110	113	103	
129	164	159	176	188	225	215	198	208	194	199	187	169	150	140	131	125	123	
100%	132	124	130	142	168	149	147	167	155	166	142	125	109	107	104	102	96	
90	129	93	124	135	159	138	141	164	147	150	124	119	100	100	93	89	84	
108	153	150	144	153	176	170	163	172	168	180	163	145	122	115	113	107	105	
Мозговой кровоток (МК)																		
0.61	1.20	1.13	1.05	1.01	1.00	1.00	1.30	1.05	1.00	1.30	1.20	0.90	0.80	0.69	0.61	0.50	0.50	
0.32	1.11	1.02	0.60	0.62	0.64	0.63	0.66	0.62	0.70	0.90	0.77	0.55	0.50	0.42	0.43	0.39	0.34	
0.95	1.66	1.29	1.60	1.30	1.14	1.46	2.27	2.42	3.43	3.25	2.02	1.76	1.56	1.15	1.05	0.99	0.90	
100%	174	152	171	192	200	179	186	200	181	192	214	173	144	117	115	111	100	
57	137	108	101	168	182	138	143	183	147	150	178	150	114	98	92	74	70	
141	180	207	258	275	279	199	201	201	281	284	262	217	178	148	139	124	112	
Кожный кровоток (КК)																		
39	53	75	75	75	89	90	120	114*	114*	137	58	41	33	37	33	30	35	
18	43	69	75	69	88	88	93			116	32	25	20	16	14	14	10	
61	59	75	87	86	90	143	146			158	87	85	74	71	68	58	80	
100%	420	288	259	192	204	199	198	187*	187*	227	243	250	205	187	180	156	150	
46	269	111	138	113	159	148	153			195	171	166	128	97	88	87	132	
156	508	530	285	284	253	257	243			259	533	532	411	561	467	411	366	
Примечание: звездочкой «*» обозначены единичные измерения.																		

Примечание: звездочкой «*» обозначены единичные измерения

Рис. 2. Интегральный статистический профиль (по направленности отличий) гемодинамического обеспечения дозированной динамической физической работы на велоэргометре в положении сидя (А), лежа (Б), а также при обратном (А←Б) сопоставлении между ними при I типе кровообращения.



Естественно напряженное терморегуляторное состояние при физической нагрузке однозначно – и сидя, и лежа сопровождается увеличением кожного кровотока (КК) как по динамике Me (рис. 1) – абсолютно по прямым (10 из 10 позиций) и относительным, реактивным (10 из 10 позиций) показателям, так и по интегральной оценке – сидя по 54 и лежа по 49 показателям из 60 ($R_{кз} < 0,01$) по периоду нагрузки. На рисунке 2 это отражено практически сплошным красным профилем по периоду нагрузки сидя (А) и лежа (Б). При этом более энергетически затратный и терморегуляторно напряженный характер адаптации к нагрузке в положении лежа отражает и более выраженное, по сравнению с положением сидя, увеличение кожного кровотока (рис. 2 А←Б), особенно на начальном периоде вработывания и остающееся более высоким в целом на протяжении всего периода нагрузки. Обращает на себя внимание выраженное увеличение КК при нагрузке в положении сидя, по реактивным характеристикам по Me с увеличением мощности нагрузки и с достижением уровня выполненной физической работы в объеме 3000 кГм (рис. 1).

При этом на рисунке 1 хорошо видно, что на фоне высокой мобилизации сердечного выброса кривая по КК полностью вписывается в «насосный» профиль УОС–МОК, что свидетельствует о хорошей циркуляторной обеспеченности увеличения кожного

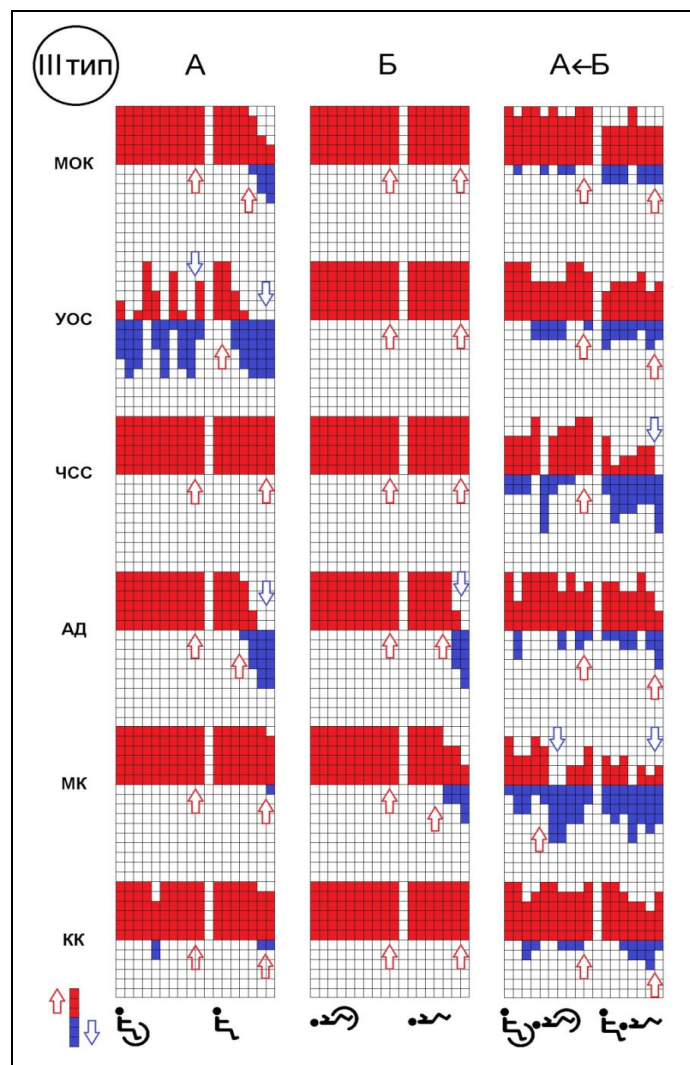
кровотока, также, как и мозгового кровотока. В положении же лежа на фоне значительно меньшей, по сравнению с положением сидя, мобилизации сердечного выброса по МОК и особенно по УОС четко виден выход кривой КК и МК за пределы профиля УОС–МОК. Такое соотношение между основным механизмом аэробного гемодинамического обеспечения и состоянием периферических кровотоков (априори, и мышечного) может быть принято за циркуляторное отражение напряжения энергетически более затратного анаэробного обеспечения адаптации к физической нагрузке, и не только по мышечной системе, как основному эффектору, а и по не менее значимым для такой адаптации кровообращению мозга, и кожному кровотоку.

Из периферических циркуляторных эффектов адаптации ССС к физической нагрузке при I типе по интегральной характеристике следует отметить и в положении сидя (А), и в положении лежа (Б) однонаправленные изменения по МК и КК (Рис. 2 А и Б). Однако по Ме (рис. 1), а также при сопоставлении «сидя–лежа» по интегральным характеристикам (рис. 2А→Б) отмечается разная выраженность и фазовый характер этих изменений. Во всяком случае, приведенные данные четко свидетельствуют, что увеличение МОК обеспечивает не только мышцы, но и не менее актуальный для двигательного поведения мозговой кровотока, а для поддержания теплового баланса в условиях нарастающей теплопродукции – увеличение кожного кровотока.

Из анализа приведенных данных вытекает целесообразность формирования, на наш взгляд, более точного определения – гемодинамического (циркуляторного) долга, который отражается в сохранении повышенной активности ССС и после прекращения физической работы. Последнее отражается задержкой достижения Ме гемодинамических параметров исходного уровня (на рисунке 1 серая зона) после прекращения нагрузки, а при интегральной оценке (рис. 1) сохранением профиля красного цвета, отражающего увеличение гемодинамических параметров, и отсутствием или задержкой смены его на синий профиль, отражающего возвращение параметров к исходному уровню, соответственно минутным выборкам по периоду восстановления.

Так, по положению сидя по Ме (рис. 1) восстановление исходных параметров происходило к 7 минуте после прекращения нагрузки по УОС и АД и было незавершенным по МК, а по МОК, ЧСС и КК восстановление отсутствовало и к 15 минуте после прекращения нагрузки. Соответственно и на интегральном профиле (рис. 3, А) четко определялись фазы сохраняющейся после нагрузки активности ССС по УОС и АД (красная площадь) и восстановления (синяя площадь). Напомним, что на интегральном профиле по отдельным выборкам (вертикальные столбцы) специфической характеристикой ($P_{кз} < 0,05$) состояния по отдельной выборке является столбец из 5-6 квадратиков, которые соответствуют 6 статистическим характеристикам по тому или иному гемодинамическому параметру (см. табл. 1-4), одного цвета – красного при превышении показателями исходного уровня и синего при равном исходному и ниже него. Профиль смешанного цвета, в котором 2-4 квадратика одного цвета (красного и синего) определяются как переходное (незавершенное) состояние.

Рис. 3. Интегральный статистический профиль (по направленности отличий) гемодинамического обеспечения дозированной динамической физической работы на велоэргометре в положении сидя (А), лежа (Б), а также при обратном (А←Б) сопоставлении между ними при III типе кровообращения.



При таком анализе четко выделяются фазы состояния. И, если начальную фазу восстановления, можно ассоциировать с покрытием «кислородного долга», то сохраняющаяся повышенная активность по насосной функции сердца параллельно с сохраняющимся увеличением МК и особенно КК определяет целесообразность расширения понятия гемодинамического долга, частью которого является и «кислородный» долг и не только по мышцам, а и по мозгу. Следует отметить, что уровень такого долга находится в полном соответствии с напряжением систем, обеспечивающих адаптацию к физической нагрузке – чем больше напряжение, тем выше и длительнее сохраняется активность таких систем после прекращения нагрузки. И если по УОС и МОК отмечается почти линейный характер такой зависимости (есть основания полагать, что и по мышечному кровотоку), то более длительное поддержание повышенными ЧСС, МК и, особенно, КК отражает и другие составляющие сохраняющегося гемодинамического

запроса после прекращения физической нагрузки. При этом значительная доля гемодинамического долга, формирующегося при физической работе, выпадает на терморегуляторный запрос по циркуляторному обеспечению кожного кровотока для поддержания теплового баланса. Напряжение последнего при физических нагрузках очевидно и четко демонстрируется приведенными нами данными.

Четко обратными I типу при обеспечении адаптации к физической нагрузке являются соотношения изменений сердечного выброса (по МОК и УОС) сидя и лежа при III типе (рис. 1). Наиболее выраженный прирост МОК и УОС при этом типе динамической организации кровообращения отмечается при физической нагрузке в положении лежа. Это хорошо видно как по M_e этих параметров сердечного выброса (рис. 1), так и по интегральному профилю (рис. 3). Если полная мобилизация сердечного выброса, как и остальных гемодинамических параметров, при адаптации к физической нагрузке при I типе была в положении сидя (рис. 1; рис. 2А), то при III типе это происходило, наоборот, в положении лежа (рис. 2; рис. 3Б). При этом и гемодинамический долг был более выраженным и сохранялся по всем учитываемым гемодинамическим параметрам (МОК, УОС, ЧСС, АД, МК и КК) на протяжении всех 15 минут после прекращения нагрузки, обозначая фазу восстановления только по АД на 15-й минуте после прекращения физической нагрузки.

Не останавливаясь на особенностях динамики в периоде нагрузки, следует отметить, что практически по всем гемодинамическим параметрам и их статистическим характеристикам – и по M_e (рис. 1), и по интегральному профилю наибольшие возможности мобилизации гемодинамического обеспечения при адаптации к физической нагрузке при III типе были в положении лежа (рис. 3 А←Б). Однако и более выраженный гемодинамический долг при этом, по сравнению с аналогичной максимальной мобилизацией УОС–МОК при I типе в положении сидя, свидетельствует о неоптимальности такой мобилизации. Вовсе неоптимальными эти характеристики при III типе определяются по гемодинамическому обеспечению адаптации к физической нагрузке в положении сидя (рис. 1) как в период нагрузки, так и по периоду восстановления. Так, адаптация к физической нагрузке по МОК обеспечивается энергетически более затратным путем – преимущественно за счет ЧСС при депрессии насосной функции по УОС, особенно на этапе вработывания (рис. 1, табл. 3). Это, безусловно, способствует формированию «кислородного долга». При этом следует иметь в виду, что соответственно типологической особенности III типа (гиперкинетическое состояние по МОК в вертикальном положении), в отличие от I типа (гипокинетическое состояние), отмечается высокая мобилизация насосной функции сердца, особенно по УОС, уже в исходном состоянии сидя до нагрузки – увеличение МОК (по M_e) относительно его величины в положении лежа до 130%, а по УОС до 170% (см. табл. 3 и 4). Именно это обстоятельство и определяет практически отсутствие положительной динамики УОС, как по M_e (рис. 1), так и по интегральной оценке (рис. 2 А) при адаптации к физической нагрузке в положении сидя, и выраженное превалирование по увеличению характеристик насосного профиля УОС–МОК в положении лежа (рис. 3 А←Б).

Однако, следует отметить, что по циркуляторному профилю аэробного обеспечения (УОС–МОК), «кислородный долг» достаточно быстро покрывается – к 7 минуте после прекращения физической нагрузки (рис. 1, рис. 3 А). При этом сохраняющаяся повышенная активность ССС по ЧСС, по мозговой перфузии (МК) и, особенно, нарастающее увеличение кожного кровотока отражает неоптимальность адаптации к физической нагрузке при III типе в положении сидя не только по динамике УОС–МОК в периоде нагрузки, но и по терморегуляторному напряжению, которое отражается длительным повышением кожного кровотока (КК) в восстановительном периоде. Это определяет гемодинамическую неоптимальность III типа динамической организации ССС [3] при обоих позных условиях, но особенно для вертикального положения (сидя, стоя). При этом следует учитывать то обстоятельство, что прямохождение является основным позным условиям (сидя, стоя, при ходьбе), в котором преимущественно реализуется активная жизнедеятельность человека [2,6].

В целом следует отметить, что при обоих типах (I и III), позных условиях (сидя и лежа), мощности и условиях нарастания нагрузки и фактически при одном и том же объеме выполненной физической работы особенно выразительным является гемодинамический долг по циркуляторному обеспечению теплового баланса. Это проявляется в выраженном увеличении кожного кровотока в периоде нагрузки и в наиболее затяжном характере его восстановления после остановки нагрузки. При этом проявляются определенные типологические особенности циркуляторного обеспечения КК на протяжении динамики адаптации к физической нагрузке и по периоду восстановления.

При интерпретации этих особенностей следует иметь в виду разную энергоемкость, а значит, и соответствующий гемодинамический запрос на терморегуляторное обеспечение по КК уже базового (исходного) состояния – в вертикальном положении (сидя) и в горизонтальном положении – лежа, а затем и адаптацию к физической нагрузке в этих положениях тела [6]. При этом следует учитывать для гемодинамического обеспечения как базового (исходного) состояния, так и адаптации к физической нагрузке принципиально различную регуляцию по гравитационному (гидростатическому) фактору кровообращения в вертикальном и горизонтальном положении. Именно эти различия и описывает антропофизиологическое соотношение МОК «стоя–лежа», которое определяет тип динамической организации кровообращения и ее реактивность, в том числе и на физическую нагрузку [2,6]. Особенности этой реактивности в разных позных условиях адаптации к физической нагрузке и рассмотрены выше по двум принципиально различным крайним типологическим состояниям – I и III типам у здоровых лиц.

Заключение

Комплексное рассмотрение гемодинамического обеспечения адаптации к физической нагрузке у здоровых лиц показало, что в сохранении повышенной активности ССС после

прекращения нагрузки, помимо хорошо известного «кислородного долга», и не только по мышцам, но и по мозгу, важной составляющей является циркуляторное обеспечение кожного кровотока в терморегуляторном обеспечении физической работы. Причем, если гемодинамическое обеспечение по насосному профилю УОС–МОК зависит от типа и положения тела, то терморегуляторная составляющая гемодинамического долга, представляя собой базовую биологическую регуляцию, несет неспецифический характер и определяется напряжением организменной адаптации, включая ССС, к физической нагрузке. Отсюда динамика по КК по периоду нагрузки и восстановления определяет достаточность ССС в циркуляторном обеспечении такого напряжения, в том числе и терморегуляторного у здоровых лиц, и отражает более напряженное состояние ССС в условиях поврежденного сердца. Безусловным свидетельством этого являются сниженные систолические возможности сердца и физическая работоспособность у лиц, перенесших инфаркт миокарда. Приведенные данные показывают информативность комплексной оценки гемодинамического обеспечения адаптации к физической нагрузке при проведении стандартных тестов, позволяющей оценить основные составляющие такого обеспечения.

Список литературы

1. Белкания Г.С., Дарцмелия В.А., Галустян М.В. с соавт. Антропофизиологическая основа видового стереотипа реактивности сердечно-сосудистой системы у приматов. *Вестник АМН СССР* 1987; (10): 52-60.
2. Белкания Г.С., Диленян Л.Р., Багрий А.С. с соавт. Антропофизиологический подход в диагностической оценке состояния сердечно-сосудистой системы. *Медицинский альманах* 2013; (4): 108-114.
3. Белкания Г.С., Диленян Л.Р., Багрий А.С. с соавт. Антропофизиологическое обоснование типологического определения оптимальности и неоптимальности гемодинамического обеспечения соматического состояния организма. *Медицинский альманах* 2014; (1): 119-122.
4. Диленян Л.Р., Багрий А.С., Белкания Г.С. с соавт. Антропогенетическая и онтогенетическая модель общих клинических проявлений соматического состояния человека. *Медицинский альманах* 2015; (4): 222-227.
5. Багрий О.С., Годлевський А.І., Белканія Г.С. Динаміка мікроциркуляторного відображення заживлення післяопераційних ран. *Вісник Вінницького державного медичного університету* 2002; 6 (2): 416-422.
6. Белкания Г.С., Диленян Л.Р., Багрий А.С. с соавт. Гравитационная биология – антропология" в антропогенетическом обосновании здоровья и нездоровья. *Современные проблемы науки и образования* 2014; (4).
7. Белкания Г.С., Диленян Л.Р., Багрий А.С. с соавт. Кардиодинамические основы и перспективы клинического использования реографии. Н. Новгород: Изд-во Нижегородской государственной медицинской академии, 2016. 220 с.
8. Белкания Г.С., Диленян Л.Р., Багрий А.С. с соавт. Особенности методического обеспечения антропофизиологической диагностики состояния сердечно-сосудистой системы. *Медицинский альманах* 2013; (6): 208-214.
9. Белкания Г.С., Диленян Л.Р., Багрий А.С. с соавт. Общие подходы в антропофизиологической характеристике возрастной динамики кровообращения человека. *Патогенез* 2017; 15 (4): 24-31.

10. Физиология человека: в 3-х томах. Т. 3. Пер. с англ. Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. М.: Мир, 2005. 228 с.
11. Puchalska L., Belkaniya G.S. Haemodynamic response to the dynamic exercise in subjects exposed to different gravitational conditions. *Journal of physiology and pharmacology* 2006; 57 (11): 103-113.
12. Генес В.С. Некоторые простые методы кибернетической обработки данных диагностических и физиологических исследований. М.: Наука, 1967. 167 с.
13. Гланц С. Медико-биологическая статистика. М.: Практика, 1998. 459 с.

Anthropophysiological Analysis of Hemodynamic Support of Physical Exercises

Dilenyan L. R.¹

PhD, Assistant, Chair for Rehabilitation

Belkania G. S.²

Doctor of Medicine, Professor, Head of laboratory

Martusevich A. K.¹

Doctor of Biology, Head, University clinics laboratory for medical biophysics

1 – Volga Research Medical University, Nizhny Novgorod

2 – Laboratory of medical expert systems "Antropos Systems Lab.", Vinnitsa, Ukraine

Corresponding Author: Martusevich Andrew; **e-mail:** cryst-mart@yandex.ru

Conflict of interest. None declared.

Funding. The study had no sponsorship.

Summary

We examined 212 healthy man with standard veloergometry test with gradual elevation of power in sitting and prone positions. Electrocardiogram, blood pressure, heart rate was registered. Tetrapolar rheography was used for estimate blood minute volume, heart stroke volume, brain blood flow. Tissue conductivity was used for skin blood flow testing. Data were analyzed with coordination for I and III type of blood circulation. It was shown that there are clear changes between hemodynamic reactivity in sitting and prone positions. These changes were dependent on duration of physical exercises and illustrated by prolongation of the period of cardiovascular activation in recovery time. We fixed that longest period of this increase was registered for blood flow in brain and, especially, in skin. These tendencies may be associated with hemodynamic debt and demonstrate adaptation to physical exercises and restorative potential.

Keywords: veloergometry, adaptation, physical exercises, anthropology, hemodynamics type

References

1. Belkaniya G.S., Darcneliya V.A., Galustyan M.V. et al. Antropofiziologicheskaya osnova vidovogo stereotipa reaktivnosti serdechno-sosudistoy sistemy u primatov. [Anthropophysiological basis of stereotype of cardiovascular system reactivity in primates] *Vestnik AMN SSSR [Annals of Academy of Medical Sciences of USSR]* 1987; (10): 52-60. (In Russ.)
2. Belkaniya G.S., Dilenyan L.R., Bagrij A.S. et al. Antropofiziologicheskij podhod v diagnosticheskoy ocenke sostoyaniya serdechno-sosudistoy sistemy [Anthropophysiological way in diagnostics of the state of cardiovascular system]. *Meditinskiy almanah [Medical Almanac]* 2013; (4): 108-114. (In Russ.)

3. Belkaniya G.S., Dilenyan L.R., Bagrij A.S. et al. Антропофизиологическое обоснование типологического определения оптимальности и неоптимальности гемодинамического обеспечения соматического состояния организма [Antropophysiological justification of typing of optimality of hemodynamic support of organism state]. *Meditsinskiy almanah [Medical Almanac]* 2014; (1): 119-122. (In Russ.)
4. Dilenyan L.R., Bagrij A.S., Belkaniya G.S. et al. Антропogenетическая и онтогенетическая модель общих клинических проявлений соматического состояния человека [Antropogenetic and ontogenetic model of common clinical signs of human organism state]. *Meditsinskiy almanah [Medical Almanac]* 2015; (4): 222-227. (In Russ.)
5. Bagrij A.S., Gordlevsky A.I., Belkaniya G.S. Динамика микроциркуляторного изображения заживления послеоперационных ран [Dynamics of microcirculatory picture of healing of postoperative wounds]. *Visnik Vinnic'kogo derzhavnogo medichnogo universitetu [Bulletin of Vinnitsa National Medical University]* 2002; 6 (2): 416-422. (In Ukr.)
6. Belkaniya G.S., Dilenyan L.R., Bagrij A.S. s soavt. Gravitacionnaya biologiya – antropologiya v antropogeneticheskom obosnovanii zdorov'ya i nezdorov'ya [Gravitation biology in antropogenic basis of health and disease]. *Sovremennyye problem nauki i obrazovaniya [Modern issues of science and education]* 2014; (4): 280. (In Russ.)
7. Belkaniya G.S., Dilenyan L.R., Bagrij A.S. s soavt. Kardiodynamicheskie osnovy i perspektivy klinicheskogo ispol'zovaniya reografii [Cardiohemodynamic basis and perspectives of clinical use of electrocardiography]. Nizhny Novgorod. 2016. 220 p. (In Russ.)
8. Belkaniya G.S., Dilenyan L.R., Bagrij A.S. s soavt. Osobennosti metodicheskogo obespecheniya antropofiziologicheskoy diagnostiki sostoyaniya serdechno-sosudistoy sistemy [Features of methodical support of antropophysiological diagnostics of the state of cardiovascular system] *Meditsinskiy almanah [Medical Almanac]* 2013; (6): 208-214. (In Russ.)
9. Belkaniya G.S., Dilenyan L.R., Bagrij A.S. s soavt. Obshchie podhody v antropofiziologicheskoy karakteristike vozrastnoj dinamiki krovoobrashcheniya cheloveka [Common approaches to antropophysiological characteristics of ontogenic dynamics of human hemodynamics]. *Patogenez [Pathogenesis]* 2017; 15 (4): 24-31. (In Russ.)
10. Schmidt R., Tevs G. (Ed.) Human physiology. Moscow: Mir, 2005. 228 p. (In Russ.)
11. Puchalska L., Belkaniya G.S. Haemodynamic response to the dynamic exercise in subjects exposed to different gravitational conditions. *Journal of physiology and pharmacology* 2006; 57 (11): 103-113.
12. Genes V.S. Nekotorye proste metody kiberneticheskoy obrabotki dannykh diagnosticheskikh i fiziologicheskikh issledovaniy [Some simple methods of cybernetic processing of the data of diagnostic and physiological studies]. Moscow. 1967. 167 p. (In Russ.)
13. Glanz C. Mediko-biologicheskaya statistika [Medical and biological statistics]. Moscow: Practica. 1998. 459 p. (In Russ.)