

ВЛИЯНИЕ ТРЕНИРОВОК НА ПОДВОДНОЙ БЕГОВОЙ ДОРОЖКЕ НА ЧАСТОТУ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ ПАЦИЕНТОВ С НЕПОЛНЫМ ПОВРЕЖДЕНИЕМ СПИННОГО МОЗГА

Е.Н. Перец^{1*}, И. В. Поденок¹, М.С. Петрова², В.В. Бояринцев²

¹ФГБУ «Клиническая больница №1» УД Президента РФ, Москва,

²Главное медицинское управление УД Президента РФ, Москва

IMPACT OF UNDERWATER TREADMILL EXERCISES AT THE HEART RATE OF PATIENTS WITH PARTIAL SPINAL CORD INJURY

E.N. Perec^{1*}, I.V. Podenok¹, M.S. Petrova², V.V. Boiarincev²

¹Clinical hospital №1 of Department of Presidential Affairs, Moscow, Russia,

²Main Medical Department of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow, Russia

E-mail: bel.stom@mail.ru

Аннотация

Нарушение нисходящих нервных путей у лиц с травмой спинного мозга может привести к симпатической гипоактивности и преобладанию парасимпатического контроля, приводящего к рефлекторной брадикардии, низкому артериальному давлению, ортостатической гипотензии и потере адаптивности сердца при физических нагрузках. Повышение хронотропной функции сердца улучшает отток крови в нижних конечностях, что ведет к увеличению венозного притока и уменьшению преднагрузки на сердце. Использование ортопедических приспособлений для ходьбы и роботизированных тренажеров часто не позволяет достичь должного уровня сердечно-сосудистого стресса, рекомендованного для людей с нарушением ходьбы.

В исследовании принимали участие 12 мужчин и 6 женщин с неполным повреждением спинного мозга, средний возраст составил 47.8 ± 11.1 года. Для пациентов была разработана 8-недельная программа тренировок на подводной беговой дорожке. Занятия проводились 3 раза в неделю, включали для каждого пациента индивидуальный подбор скорости ходьбы и глубины погружения в воду, а также постепенное увеличение нагрузки.

В течение трех двухнедельных периодов, когда скорость ходьбы оставалась постоянной, на второй и третьей неделе тренировок частота сердечных сокращений снизилась на 7 % (7 ± 1 уд/мин; $p < 0.001$), на четвертой и пятой неделе снизилась на 13 % (16 ± 6 уд/мин; $p < 0.001$) и на 16 % на шестой и седьмой неделе (20 ± 8 уд/мин; $p < 0.001$).

Данные нашего исследования показывают, что тренировки на подводной беговой дорожке у пациентов с неполным повреждением спинного мозга приводят к значительному снижению частоты сердечных сокращений. Это сопоставимо с хронотропным типом адаптации трудоспособных, малоподвижных взрослых, участвующих в тренировочных программах ходьбы, проводимых в зале.

Ключевые слова: реабилитация, травма спинного мозга, гидрокинезиотерапия, подводная беговая дорожка.

Abstract

Damage of nerve descending paths in people with spinal cord injury causes sympathetic hypoactivity and predominance of parasympathetic control, leads to reflex bradycardia, low blood pressure, orthostatic hypotension and loss of cardiac tolerance to physical loading. The increase of cardiac chronotropic function improves blood outflow in lower extremities, thus increasing venous flow and decreasing heart overload.

Walking orthopedic devices and robotic simulators do not often provide a proper level of cardiovascular stress which is recommended for people with abnormal gait.

12 male and 6 female with partial spinal cord injury were taken into the trial. Patients' average age was 47.8 ± 11.1 years. An 8-week underwater treadmill training program was developed for the patients. There were three trainings a week. Each patient had his/her individual walking speed and immersion depth. Physical loading increased gradually.

Walking speed remained constant for three two-week periods. At the second and third training weeks, heart rate decreased by 7 % (7 ± 1 bpm-1; $P < 0.001$); at the fourth and fifth weeks it decreased by 13 % (16 ± 6 bpm-1; $P < 0.001$); at the sixth and seventh weeks - by 16 % (20 ± 8 bpm; $P < 0.001$).

Findings of our trial demonstrate that underwater treadmill trainings of patients with partial spinal cord injury significantly reduce their heart rate. It is comparable to the chronotropic adaptation type in adults who are able to work but inactive and who participate in walking training programs in the gym.

Key words: rehabilitation, hydrokinesis therapy, underwater treadmill training, spinal cord injury.

Ссылка для цитирования: Перец Е.Н., Поденок И. В., Петрова М.С., Бояринцев В.В. Влияние тренировок на подводной беговой дорожке на частоту сердечных сокращений пациентов с неполным повреждением спинного мозга. Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2020; 1: 80-84.

Большинство пациентов с повреждением спинного мозга вынуждены вести сидячий образ жизни, что приводит к гиподинамии, результатом которой является низкий кардиометаболический профиль. Негативные последствия: сахарный диабет, увеличение инсулинорезистентности, избыточная масса тела, ожирение, а также снижение функции сердечно-сосудистой системы [1].

Снижение уровня физической активности и повседневных энергетических затрат у взрослых с повреждением спинного мозга увеличивает риск развития ишемической болезни сердца [2, 3]. Часто у больных, перенесших травму спинного мозга, происходит нарушение вегетативной и моторной функции, что затрудняет достижение адекватного уровня физической активности в процессе реабилитации.

Нарушение нисходящих нервных путей у лиц с травмой спинного мозга может привести к симпатической гипоактивности и преобладанию парасимпатического контроля. Это может способствовать появлению рефлекторной брадикардии, низкому артериальному давлению, ортостатической гипотензии и потере адаптивности сердца при физических нагрузках [3]. Патологические реакции часто присутствуют при шейных и грудных повреждениях спинного мозга выше уровня Th5 в результате нарушения связей между супраспинальными центрами и симпатическими путями к сердцу [4].

Повышение хронотропной функции сердца улучшает отток крови в нижних конечностях, что ведет к увеличению венозного притока и уменьшению преднагрузки на сердце. Использование ортопедических приспособлений для ходьбы и роботизированных тренажеров часто не позволяет достичь должного уровня сердечно-сосудистого стресса, рекомендованного для людей с нарушением ходьбы [5].

Использование подводной беговой дорожки позволяет решить эту задачу. Кроме того, гидростатическое давление воды усиливает венозный отток из нижних конечностей и повышает объем циркули-

рующей крови. В этом исследовании мы количественно оценили изменения частоты сердечных сокращений во время занятий на подводной беговой дорожке у пациентов с неполным повреждением спинного мозга.

Методы и пациенты

В исследовании принимали участие 12 мужчин и 6 женщин с неполным повреждением спинного мозга, средний возраст составил 47.8 ± 11.1 года. У 7 пациентов уровень поражения находился в шейном отделе, у 5 - в грудном, у 6 - в поясничном. Средний срок после травмы составил 4 ± 2.4 года. Из 18 пациентов только 5 могли самостоятельно передвигаться без ортопедических приспособлений для ходьбы. Критерии включения: возраст не моложе 18 лет, отсутствие сложной сопутствующей патологии, способность ходить не менее 10 м с помощью или без помощи дополнительной опоры, а также срок после травмы 1 год или больше. Характеристика участников исследования представлена в табл. 1.

Скорость ходьбы на подводной беговой дорожке для каждого испытуемого определялась предварительным тестированием в зале лечебной физкультуры. Пациенту ставилась задача пройти

Таблица 1

Характеристика участников исследования

Участник №	Пол	Возраст, годы	Уровень поражения	ASIA	Время после травмы, годы	WISCI
1	М.	54	Th5	C	3	9
2	М.	61	C4	D	5	16
3	М.	60	L2	C	6	16
4	Ж.	49	C3	C	7	6
5	М.	44	Th8	C	2	9
6	М.	29	L2	C	8	18
7	М.	25	C6	C	3	16
8	Ж.	66	C4	C	1	13
9	М.	54	C2	C	2	11
10	Ж.	37	Th6	D	3	9
11	Ж.	48	L2	C	2	13
12	М.	37	Th6	C	2	10
13	Ж.	56	L2	C	3	16
14	М.	55	Th8	C	5	12
15	Ж.	39	C3	D	5	7
16	М.	48	C4	C	9	6
17	М.	46	L2	C	1	16
18	М.	53	L3	D	5	15

Примечание. Уровень поражения: C — шейный; Th — грудной; L — поясничный.

Шкала тяжести повреждения ASIA (American Spinal Injury Association): C — неполное: двигательная функция ниже неврологического уровня сохранена, но более половины ключевых мышц ниже неврологического уровня имеют силу менее 3 баллов. D — полное: двигательная функция ниже неврологического уровня сохранена, и, по крайней мере, половина ключевых мышц ниже неврологического уровня имеют силу 3 балла и более. WISCI — индекс [оценки] ходьбы при повреждениях спинного мозга: от 0 (неспособность встать) до 20 (возможность ходить более 10 м без помощи или дополнительной опоры).



Рисунок. Средняя частота сердечных сокращений в течение (а) 2-й и 3-й недели, (б) 4-й и 5-й недели и (с) 6-й и 7-й недели тренировок на подводной беговой дорожке. Скорость ходьбы на 2-й и 3-й неделе, 4-й и 5-й неделе, 6-й и 7-й неделе была на 10%, 20% и 30% соответственно больше, чем скорость на 1-й неделе.

по прямой линии 10 м в удобном для него темпе. Упражнение повторялось 3 раза, время фиксировалось. На основании данных расстояния и времени определяли индивидуальную среднюю скорость ходьбы пациента.

Занятия проводились индивидуально. Пациент, держась за поручни, заходил в бассейн на платформу (подводную беговую дорожку), которая регулирует погружение пациента на нужную глубину. На протяжении всего занятия пациента страховал инструктор-методист по лечебной физкультуре.

Высота воды регулировалась до уровня, при котором у пациента максимально выпрямлены нижние конечности и он мог стоять без дополнительной поддержки или опоры, не держась за поручни. После определения уровня высоты воды каждый пациент проходил 1 мин со скоростью, которая была на 50 % меньше, чем его средняя скорость ходьбы на суше, либо же со скоростью 0.28 м/с (самая медленная скорость на подводной беговой дорожке). Снижение скорости на 50 % связано с тем, что вода имеет большую плотность и оказывает сопротивление движению в любых направлениях.

После того, как уровень погружения был установлен, а скорость подобрана, пациент начинал тренировку медленной ходьбой: 3 раза по 5 мин. Перед ходьбой вокруг грудной клетки был

закреплен монитор сердечного ритма, который передавал текущее цифровое отображение значений сердечного ритма на часы, закрепленные к поручню на подводной беговой дорожке. Между отрезками ходьбы были запланированы периоды отдыха не менее 5 мин. На протяжении всего исследования в бассейне поддерживалась одинаковая температура воды, равная 32 °С.

Для пациентов была разработана 8-недельная программа тренировок. Занятия проводились 3 раза в неделю. Эта программа тренировок была выбрана на основе данных, свидетельствующих о том, что 8-недельные тренировки на беговой дорожке с разгрузкой массы тела в зале достаточны для достижения ощутимых улучшений в ходьбе среди пациентов с неполным повреждением спинного мозга [6].

На 2, 4, 6 и 8-й неделе скорость ходьбы была увеличена на 10 %, 20 %, 30 % и 40 % соответственно по сравнению с базовой скоростью 1-й недели. Все участники смогли выдержать запланированное увеличение скорости ходьбы раз в 2 нед. Продолжительность тренировок после первых 2 нед также была увеличена на 1 мин на 3, 5 и 7-й неделе, что привело к общему увеличению продолжительности тренировки на 3 мин каждые 2 нед.

Таким образом, в начале программы (1-я и 2-я недели) пациенты проходили в общей сложности

Таблица 2

Индивидуальные средние значения реакции ЧСС на тренировку на подводной беговой дорожке во время 1-го (2-я и 3-я недели), 2-го (4-я и 5-я недели) и 3-го (6-я и 7-я недели) тренировочных периодов

Участник №	1-й тренировочный период				2-й тренировочный период				3-й тренировочный период			
	1-й день	6-й день	Δ	$\Delta\%$	1-й день	6-й день	Δ	$\Delta\%$	1-й день	6-й день	Δ	$\Delta\%$
1	115	107	8	7	120	107	13	11	123	107	16	13
2	100	94	6	6	126	103	23	18	121	103	18	15
3	113	106	7	6	110	102	17	14	122	106	16	13
4	111	104	7	6	118	104	14	12	122	105	17	14
5	98	91	7	7	124	101	23	19	119	109	10	8
6	93	83	10	11	108	98	10	9	138	110	28	20
7	95	86	9	9	110	101	9	8	134	101	33	25
8	99	93	6	6	125	102	23	18	120	110	10	8
9	94	85	9	10	109	99	10	9	135	100	35	26
10	110	103	7	6	117	100	17	15	131	98	33	25
11	97	91	6	6	123	97	26	21	121	104	17	14
12	104	98	6	6	115	100	15	13	115	100	15	13
13	115	108	7	6	121	109	12	10	122	109	13	11
14	110	102	8	7	123	105	18	15	125	106	19	15
15	103	93	10	10	107	101	6	6	110	100	10	9
16	94	88	6	6	100	90	10	10	115	95	20	17
17	98	90	8	8	112	92	20	18	117	94	23	20
18	100	93	7	7	113	95	18	16	122	101	21	7
Среднее значение	103	95	7	7	116	100	16	13	123	103	20	16

Примечание: частота сердечных сокращений указывается в ударах в минуту. 1-й тренировочный период: 2-я и 3-я недели; 2-й тренировочный период: 4-я и 5-я недели; 3-й тренировочный период: 6-я и 7-я недели. Скорость ходьбы в течение 1-го тренировочного периода была на 10 % больше, чем скорость на 1-й неделе; скорость ходьбы во время 2-го тренировочного периода — на 20 % больше, чем скорость на 1-й неделе; скорость ходьбы во время 3-го периода — на 30 % больше, чем скорость на 1-й неделе. Δ — разница в средней частоте сердечных сокращений между 1-м и 6-м днем в течение каждого двухнедельного тренировочного периода. $\Delta\%$ — процентная разница в средней частоте сердечных сокращений с 1-го по 6-й день в течение каждого 2-недельного тренировочного периода.

15 мин на подводной беговой дорожке, а в конце (7-я и 8-я недели) — 24 мин, что привело к увеличению общей продолжительности упражнений на 60 %.

Последние 2 мин ходьбы перед каждым отдыхом регистрировалась частота сердечных сокращений (ЧСС). Цифровые значения частоты сердечных сокращений при физической нагрузке фиксировались каждые 15 с. В результате было получено 15 измерений ЧСС для каждого пациента и рассчитывалось среднее значение ЧСС в тренировочный день. Сравнительная оценка значения ЧСС регистрировалась со 2-й по 7-ю неделю.

Результаты

В табл. 2 представлены индивидуальные и средние данные частоты сердечных сокращений для первого (1-й день) и последнего (6-й день) тренировочных дней 1, 2 и 3-го тренировочных периодов. В течение трех двухнедельных периодов, когда скорость ходьбы оставалась постоян-

ной, на 2-й и 3-й неделе тренировок частота сердечных сокращений снизилась на 7 % (7 ± 1 уд/мин; $p < 0.001$), на 4-й и 5-й неделе — на 13 % (16 ± 6 уд/мин; $p < 0.001$) и на 16% на 6-й и 7-й неделе (20 ± 8 уд/мин; $p < 0.001$).

Обсуждение

Согласно результатам нашего исследования, индивидуальные тренировки на подводной беговой дорожке, проводимые 3 раза в неделю в течение 8 нед, обеспечивают необходимую нагрузку на сердечно-сосудистую систему для улучшения ходьбы и снижения частоты сердечных сокращений у пациентов с неполным повреждением спинного мозга. В частности, при ходьбе наблюдалось среднее снижение частоты сердечных сокращений, равное 14 уд/мин, а скорость и продолжительность упражнений постепенно увеличивались.

Данный уровень улучшения сердечной деятельности пациента аналогичен ответам по частоте сердечных сокращений тренировки на выносливость

(от 12 до 15 уд/мин), измеренным у малоподвижных, не имеющих заболевания лиц [7].

Яркий пример влияния занятий на подводной беговой дорожке на сердечную деятельность зафиксирован при сравнении средних значений сердечного ритма в период с 4-й по 7-ю неделю. Как видно на рисунке, групповые значения частоты сердечных сокращений, измеренные в последние 2 дня на 6-й и 7-й неделе (дни 5 и 6 — линия с), были ниже значений, зарегистрированных в течение всей 4-й недели (дни 1, 2, 3 — линия b). При этом общий объем тренировки (скорость и продолжительность ходьбы) был больше на 7-й неделе по сравнению с 4-й.

Вывод

Данные нашего исследования показали, что тренировки на подводной беговой дорожке у пациентов с неполным повреждением спинного мозга приводят к значительному снижению частоты сердечных сокращений. Это сопоставимо с хронотропным типом адаптации трудоспособных, малоподвижных взрослых, участвующих в тренировочных программах ходьбы, проводимых на суше.

Литература

1. Nooijen C.J., Stam H.J., Bergen M.P., Bongers-Jassen M.H., Valent J., Van Langeveld S. et al. Behavioural intervention increases physical activity in people with subacute spinal cord injury: A randomised trial. *J. physiother.* 2016; 62(1): 35-41. doi: 10.1016/j.jphys.2015.11.003.
2. Lavis T., Scelza W., Bockenek W. Cardiovascular health and fitness in persons with spinal cord injury. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2007;1:317-331.
3. Myers J., Lee M., Kiratli J. Cardiovascular disease in spinal cord injury. *Am J Phys Med Rehabil.* 2007;86:142-152.
4. Bravo G., Guizar-Sahagun G., Ibarra A., Centurion D., Villalon C.M. Cardiovascular alterations after spinal cord injury: An overview. *Curr Med Chem Cardiovasc Hematol Agents.* 2004;2:133-148.
5. Israel J.F., Campbell D.D., Kahn J.H., Hornby T.G. Metabolic costs and muscle activity patterns during robotic- and therapist assisted treadmill walking in individuals with incomplete spinal cord injury. *Phys Ther.* 2006; 86 (11):1466-1478.
6. Wirz M., Zemon D.H., Rupp R., Scheel A., Colombo G., Dietz V. et al. Effectiveness of automated locomotor training in patients with chronic incomplete spinal cord injury: A multicenter trial. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005; 86(4):672-680.
7. McArdle W., Katch F., Katch V. *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance.* Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2010: 464-466.