

Показатели гемодинамики полового члена в пробе с Алпростадилом до и после курса тренировок мышц промежности

С.С. Иванов¹, Б.Ю. Александров¹, С.В. Иванов^{1,2}, А.В. Краснов², Р.И. Маришин¹, Ю.А. Матвиенко¹, Р.С. Овчинников¹, И.А. Пятницкий¹, В.М. Митрохин¹, Г.П. Кирющенко¹, Н.Д. Прудников¹, Е.Ю. Харламов³

¹ Медицинский центр при ЗАО «Ростагроэкспорт». Россия, 125367, Москва, Ивановское шоссе, д.7.

² Научный клинический центр ОАО «Российские железные дороги», Россия, 125315, Москва, ул. Часовая, д.20.

³ Университет г. Осло, департамент информатики, Норвегия, Осло, район Северный Акер, 0316 Осло

Ответственный за контакт с редакцией: Сергей Сергеевич Иванов, ua3shm@mail.ru

Введение. Исследовано влияние тренировок мышц промежности на изменение гемодинамики полового члена при эректильной дисфункции (ЭД). **Материалы и методы.** Пациентам проводилось комплексное обследование (осмотр терапевта, уролога, анализы, инструментальные исследования). Исключены пациенты с психогенной ЭД. В исследование включено 24 мужчины (22-74 лет), средний возраст 47,7±2,5 лет с длительностью ЭД 19±2,9 месяцев, с МИЭФ-5 – 16,4±0,8 баллов. Всем пациентам инструментально измерялась сила мышц промежности, и проводилась фармакодуплерография (ФДГ) с 10 мкг алпростадила. Изменялись показатели кровотока в кавернозных и дорсальных артериях, в глубокой дорсальной вене в трех фазах (покой, наполнение, полная эрекция). В фазе полной эрекции инструментально измерялись показатели жесткости полового члена. Затем пациенты проходили курс тренировок мышц промежности и вновь измерялась сила мышц промежности и проводилась ФДГ.

Результаты. После тренировок сила мышц промежности возросла в среднем в 3,4 раза ($p<0,001$). У 16 (67%) пациентов отмечалось восстановление нормальной эректильной функции (ЭФ). Исходно все пациенты не отличались по параметрам пенильной гемодинамики в состоянии покоя и в фазе наполнения. У пациентов с последующим восстановлением ЭФ отмечались достоверно более высокие показатели систолического ускорения в кавернозных артериях в фазе полной эрекции – 477±40 см/с². У пациентов без восстановления ЭФ – 290±30 см/с². В результате тренировок показатели гемодинамики у пациентов без восстановления ЭФ не изменились. У пациентов с восстановлением ЭФ в фазе полной эрекции отмечалось достоверное увеличение систолической скорости и систолического ускорения в кавернозных артериях, появление в них ретроградного диастолического кровотока, что свидетельствовало о повышении внутрикавернозного давления выше системного диастолического; двукратное снижение оттока по глубокой дорсальной вене. Изменения параметров гемодинамики в этой группе привели к достоверному увеличению параметров жесткости.

Заключение. Систолическое ускорение в кавернозных артериях в фазе полной эрекции является важным прогностическим критерием восстановления ЭФ с помощью тренировок мышц промежности.

Ключевые слова: эректильная дисфункция, тренировка мышц промежности, гемодинамика полового члена, кавернозные артерии.

Для цитирования: Иванов С.С., Александров Б.Ю., Иванов С.В., Краснов А.В., Маришин Р.И., Матвиенко Ю.А., Овчинников Р.С., Пятницкий И.А., Митрохин В.М., Кирющенко Г.П., Прудников Н.Д., Харламов Е.Ю. Показатели гемодинамики полового члена в пробе с Алпростадилом до и после курса тренировок мышц промежности. Экспериментальная и клиническая урология 2020;(2):50-57

DOI: 10.29188/2222-8543-2020-12-2-50-57

Penile hemodynamics with intracavernosal injection of alprostadil before and after the course of perineal muscles strengthening exercises

S.S. Ivanov¹, B.Yu. Alexandrov¹, S.V. Ivanov^{1,2}, A.V. Krasnov², R.I. Marishin¹, Yu.A. Matvienko¹, R.S. Ovchinnikov¹, I.A. Pyatnitskiy¹, V.M. Mitrohin¹, G.P. Kiryuschenkov¹, N.D. Prudnikov¹, E.Yu. Kharlamov³

¹ Medical centre «RostAgroExport», Russia, 125367, Moscow, Ivankovskoe Shosse 7,

² National hospital centre of «Russian Railways» JSC, , Russia, 125315, Moscow, Chasovaya Str. 20

³ University of Oslo, Department of Computer Science, University of Oslo, P.O. Box 1072 Blindern, 0316 Oslo

Contacts: Ivanov Sergey Sergeevich, ua3shm@mail.ru

Introduction. Impact of perineal muscles strengthening exercises on penile hemodynamics in patients with erectile dysfunction (ED) was studied. **Materials and methods.** Complete physical examination of patients was performed, including examination by a therapist, urologist, including medical tests and instrumental methods of examination. Patients with psychogenic erectile dysfunction were excluded. The study engaged 24 men with the mean age 47,7±2,5 years ranging from 22 to 74 years, with a duration of ED of 19±2,9 months and scores on IIEF-5 scale 16,4±0,8. All patients gave written informed consent. In all patients power in perineal muscles was measured and Doppler sonography during pharmacologically induced erection was performed after intracavernosal injection of alprostadil (10 µg). Blood flow parameters in cavernosal and dorsal arteries and in deep dorsal vein in all phases of erection (flaccid state, tumescence, full erection) were measured. In fully erect state rigidity of the penis was evaluated. All patients underwent a course of perineal muscles strengthening exercises. After this training power in perineal muscles was measured and Doppler sonography during pharmacologically induced erection was performed again.

Results. After perineal strengthening exercises power in perineal muscles increased on average in 3,4 times ($p<0,001$). In 16 patients (67%) recovery of normal erectile function (EF) was noted. Initially all patients had similar penile blood flow parameters in flaccid and in tumescence states. In patients with subsequent EF recovery reliably higher values of systolic acceleration in cavernosal arteries in fully erect state were measured – 477±40 cm/s². In patients without EF recovery systolic acceleration was 290±30 cm/s². In patients without EF recovery penile hemodynamics after the course of exercises did not change. In patients with EF recovery following findings were indicated: reliably higher values of peak systolic velocity (PSV) and systolic acceleration in cavernosal arteries, also diastolic backflow appeared, thus indicating increase of intracavernosal pressure (ICP) over systemic diastolic pressure; twofold reduction of outflow in deep dorsal vein. Changes in hemodynamics in this group of patients resulted in reliable increase of penile rigidity.

Conclusions. Systolic acceleration in cavernosal arteries in a fully erect penis is a significant prognostic criterion for EF recovery after the course of perineal strengthening exercises.

Key words: erectile dysfunction, perineal muscles, penile hemodynamics, cavernosal arteries.

For citation: Ivanov S.V., Ovchinnikov R.S., Alexandrov B.Yu., Marishin R.I., Kiryuschenkov G.P., Prudnikov N.D., Mitrohin V.M., Krasnov A.V., Ivanov S.S., Matvienko Yu.A., Pyatnitskiy I.A., Kharlamov E.Yu. Penile hemodynamics with intracavernosal injection of alprostadil before and after the course of perineal muscles strengthening exercises. Experimental and clinical urology 2020;(2):50-57

ВВЕДЕНИЕ

Ранее нами были изучены параметры жесткости полового члена до и после тренировок мышц промежности [1]. Было показано, что у 84% пациентов с эректильной дисфункцией (ЭД) был достигнут положительный результат по увеличению, как поверхностной, так и продольной жесткости полового члена, определяемых инструментально во время пробы с алпростадилем. Во время пробы проводилось исследование кровотоков в кавернозных и дорсальных артериях, а также в глубокой дорсальной вене. Эта статья представляет результаты оценки кровообращения полового члена в пробе с алпростадилем до и после курса тренировок мышц промежности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование было включено 24 мужчины в возрасте от 22 до 74 лет с жалобами на ЭД. Средний возраст $47,7 \pm 2,5$ лет. Все пациенты после подписания информированного согласия проходили комплексное обследование, включавшее терапевтический и урологический осмотр, лабораторные анализы (общий анализ крови и мочи, расширенный биохимический анализ крови, коагулограмму, анализы на инфекции, на тиреоидные гормоны и стероидный профиль), ЭКГ, тредмил-тест, биоимпедансное исследование всего тела, ультразвуковое дуплексное исследование артерий и вен нижних конечностей, фармакодупплерографию (ФДГ) полового члена. Пациенты с психогенной ЭД в настоящее исследование не включались. Средняя длительность ЭД составляла $19,0 \pm 2,9$ месяцев. Все исследуемые заполняли опросник МИЭФ-5 (международный индекс эректильной функции). По данным опросника у двух пациентов была значительная ЭД (менее 10 баллов по шкале МИЭФ-5), у остальных – легкая и умеренная ЭД (11-20 баллов). Среднее значение МИЭФ-5 по всем пациентам было равно $16,4 \pm 0,8$ баллов.

У всех пациентов измерялась сила мышц промежности на медицинском кресле «Furup», оснащенном программным обеспечением HnJ-7000 (Южная Корея). Результаты измерений представлены в единицах Кгс (=9,8 Ньютон).

ФДГ включала исследование кровотока в кавернозных, дорсальных артериях и в глубокой дорсальной вене на ультразвуковом сканере EPIC 7 (Philips, Нидерланды) в состоянии покоя и после интракавернозного введения 10 мкг алпростадиле (Простагландин E1). Измерение параметров кровотока проводилось с максимально короткими интервалами последовательно на каждом сосуде в течение 30-35 мин после введения препарата. Измерялись систолическая ($V_{\text{сист}}$), диастолическая ($V_{\text{диаст}}$), средняя ($V_{\text{сред}}$) скорости кровотоков, ускорение систолической скорости в артериях, средняя скорость кровотока в глубокой дорсальной вене. Вычислялся индекс

сопротивления кровотоку (резистивный индекс – RI) по формуле $(V_{\text{сист}} - V_{\text{диаст}})/V_{\text{сист}}$. Выделялась фаза наполнения и фаза полной эрекции [2]. В фазе наполнения выбирались максимальные значения показателей. Для каждой артерии вычислялись средние значения показателей по двум одноименным сосудам.

Критериями фазы полной эрекции являлись: исчезновение в кавернозных артериях антеградного (положительного) диастолического кровотока, появление ретроградного (отрицательного) диастолического кровотока, достижение максимального значения RI [3]. При сохранении антеградного диастолического кровотока более 20 минут после введения препарата инструментальные измерения производились при достижении максимальной клинической жесткости по шкале Goldstein [4]. Исходно у всех пациентов определялась 1-2 степень жесткости.

В фазе полной эрекции проводилось пальпаторное определение жесткости по шкале Goldstein и инструментальное измерение продольной и поверхностной жесткости. Для измерения продольной жесткости использовался прибор Digital Inflection Regidometr (DIR-H501, Uroan 21, (Electromedicina, Испания) [1]. Измерялось усилие в граммах, которое нужно приложить, чтобы получить изгиб полового члена по продольной оси. Измерение производилось при базовом тонусе мышц промежности и при их максимальном произвольном напряжении. По результатам наших предыдущих исследований у здоровых пациентов эти показатели составляют более 800 и 1200 г соответственно [1].

Для измерения поверхностной жесткости полового члена использовался серийный магнитодинамический индикатор давления ИГД-03 производства АО «ГРПЗ» (Россия) [5]. Количественные показания прибора оценивались в относительных единицах. Измерения проводились в проксимальной, средней и дистальной части, на дорсальной и вентральной поверхностях обоих кавернозных тел, в общей сложности – в 12 точках, по которым вычислялось среднее значение показателя. В состоянии покоя значения показателя составляют 10-15 относительных единиц [5]. По результатам наших предыдущих обследований пациентов с нормальной эректильной функцией выявлено, что при максимальной ригидности значения показателя достигают 40-50 относительных единиц [5].

Всем пациентам проводился курс тренировок, который состоял из 21 тренировки мышц промежности на кресле «Furup» 6 раз в неделю. Каждая тренировка состояла из 2 сеансов по 30 минут. Режим тренировки автоматически подбирался программой HnJ-7000 с учетом антропометрических данных пациента и исходных показателей силы мышц промежности. Трижды в неделю, перед тренировкой на кресле, в течение 1 часа проводилась тренировка с фитнес-инструктором по специальной методике. Во время этой тренировки выполнялись упражнения, направленные на увеличение

общефизической выносливости и улучшение кровообращения малого таза.

После завершения курса тренировок проводилось повторное обследование для оценки эффективности лечения. Обследование включало повторное заполнение опросника МИЭФ-5, измерение силы мышц промежности и ФДГ с 10 мкг алпростадила по тому же протоколу, что и при первичном обследовании.

По результатам лечения пациенты были разделены на две группы на основе клинических и инструментальных критериев оценки достигнутой жесткости полового члена. В группу 1 были включены 16 пациентов с восстановлением нормальной эректильной функции (ЭФ). Средний возраст составил $42,3 \pm 1,7$ года. Средняя длительность ЭД в этой группе составляла $13,0 \pm 1,8$ месяцев. У всех была достигнута 4 степень жесткости полового члена по шкале I. Goldstein. В группу 2 были включены 8 пациентов без восстановления ЭФ. Средний возраст составил $58,7 \pm 2,5$ года. Средняя длительность ЭД во второй группе составляла $30,0 \pm 3,4$ месяцев. У этих пациентов в результате тренировок была достигнута 2-3 степень жесткости по шкале I. Goldstein.

Хранение данных и их статистическая обработка осуществлялись с использованием пакета компьютерных программ Microsoft Access 2003, Microsoft Excel 2003. Анализируемые параметры по группам представлены в виде $M \pm m$, где M – среднее значение, m – ошибка среднего. Достоверность различий определялась по t -критерию Стьюдента [6]. Данные считались статистически достоверными при значении $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Средние значения МИЭФ-5, сила мышц промежности и параметров жесткости полового члена у пациентов изучаемых групп до курса тренировок представлены в таблице 1.

Пациенты исследуемых групп до курса тренировок статистически достоверно не различались по результатам субъективной оценки МИЭФ-5, силе мышц промежности и поверхностной жесткости полового члена ($p > 0,05$). Достоверно ниже были показатели продольной жесткости у пациентов группы 2 ($p < 0,05$). Значения аналогичных параметров после курса тренировок представлены в таблице 2. Из таблиц 1 и 2 видно, что в обеих группах в результате курса тренировок статистически достоверно ($p < 0,05$) увеличилось количество баллов по шкале МИЭФ-5. Сила мышц промежности возросла до практически близких значений в обеих группах – до $13,0 \pm 0,87$ и $10,3 \pm 0,99$ Кгс, соответственно у пациентов группы 1 и группы 2 ($p > 0,05$). В то же время, значения поверхностной и продольной жесткости полового члена в группе 1 значительно повысились по сравнению с исходным уровнем ($p < 0,01$), а в группе 2 значимого увеличения жесткости не наблюдалось, что и послужило еще одним объективным критерием включения этих пациентов в данную группу – (без восстановления ЭФ).

Результаты исследования кровообращения полового члена в состоянии покоя до и после курса тренировок в исследуемых группах представлены в таблице 3.

В состоянии покоя не наблюдалось различий в величинах показателей кровообращения между группами.

Таблица 1. Значения МИЭФ-5, сила мышц промежности, и параметров жесткости у пациентов изучаемых групп до курса тренировок

Table 1. IIEF-5 scores, perineal muscles power and penile rigidity in groups of patients before exercises

Параметр Parameter	Группа 1 (n=16) Group 1 (n=16)	Группа 2 (n=8) Group 2 (n=8)	p
МИЭФ-5 IIEF-5	$16,6 \pm 0,88$	$15,2 \pm 1,1$	–
Сила мышц промежности (Кгс) Perineal muscles power (kgf)	$3,92 \pm 0,34$	$3,81 \pm 0,38$	–
Фармакологическая проба с внутрикавернозным введением алпростадила 10 мкг Intracavernosal injection of alprostadil 10 µg			
Поверхностная жесткость (отн.ед.) Superficial rigidity (relative units)	$28,0 \pm 1,3$	$24,0 \pm 1,9$	–
Продольная жесткость (г) Longitudinal rigidity (g)	490 ± 33	347 ± 37	$< 0,01$
Продольная жесткость при усилии мышц (г) Longitudinal rigidity with muscular effort (g)	850 ± 52	676 ± 63	$< 0,05$

Таблица 2. Показатели МИЭФ-5, силы мышц промежности, и параметров жесткости у пациентов изучаемых групп после курса тренировок

Table 2. IIEF-5 scores, perineal muscles power and penile rigidity in groups of patients after exercises

Параметр Parameter	Группа 1 (n=16) Group 1 (n=16)	Группа 2 (n=8) Group 2 (n=8)	p
МИЭФ-5 IIEF-5	$24,2 \pm 0,33$	$20,0 \pm 1,5$	–
Сила мышц промежности (Кгс) Perineal muscles power (kgf)	$13,0 \pm 0,87$	$10,3 \pm 0,99$	–
Фармакологическая проба с внутрикавернозным введением алпростадила 10 мкг Intracavernosal injection of alprostadil 10 µg			
Поверхностная жесткость (отн.ед.) Superficial rigidity (relative units)	$40,0 \pm 1,0$	$24,7 \pm 2,4$	$< 0,01$
Продольная жесткость (г) Longitudinal rigidity (g)	842 ± 63	392 ± 72	$< 0,01$
Продольная жесткость при усилии мышц (г) Longitudinal rigidity with muscular effort (g)	1398 ± 60	684 ± 104	$< 0,01$

Не выявлено изменений кровообращения и в результате курса тренировок. После тренировок наблюдались только более низкие значения ускорения систолического кровотока в кавернозной и дорсальной артериях у пациентов без улучшения ЭФ (группа 2).

Максимальные значения показателей кровотока в фазе наполнения во время фармакологической пробы показаны в таблице 4.

В фазе наполнения, как и в фазе покоя, достоверных изменений показателей кровообращения в артериях полового члена и глубокой дорсальной вене в результате курса тренировок не наблюдалось в обеих группах.

После курса тренировок пациенты группы 2 имели достоверно более низкие значения всех показателей кро-

вотока в дорсальных артериях, кроме показателя RI. Средняя скорость кровотока в глубокой дорсальной вене после тренировок в фазе наполнения была практически одинакова в обеих группах ($p>0,05$).

Таким образом, курс тренировок не повлиял на максимальные значения показателей кровотока в сосудах полового члена в фазе наполнения в обеих группах. Группа пациентов без восстановления ЭФ в целом отличалась меньшими скоростями кровотока в проэректильных артериях как до, так и после тренировок с различной степенью статистической достоверности. Различия в скорости кровотока в глубокой дорсальной вене были менее выраженными между группами до и после тренировок. ■

Таблица 3. Параметры пенильного кровотока ($M\pm m$) в состоянии покоя у пациентов с восстановлением и без восстановления эректильной функции до и после курса тренировок

Table 3. Penile blood flow parameters ($M\pm m$) in flaccid state in patients with or without erectile function recovery before and after course of exercises

Показатель Parameter	Группа 1 (n=16) Group 1 (n=16)			Группа 2 (n=8) Group 2 (n=8)		
	До Before	После After	p	До Before	После After	p
Кавернозная артерия Cavernosal artery						
V сист, см/с PSV, cm/s	10,1±0,88	10,4±0,55	-	10,3±1,64	10,5±1,48	-
V диаст, см/с EDV, cm/s	-0,6±0,32	-1,01±0,33	-	-0,6±0,31	-1,04±0,51	-
V средн, см/с Vmean, cm/s	1,22±0,10	1,22±0,10	-	1,55±0,28	1,78±0,44	-
RI, отн.ед. RI, rel. units	1,03±0,02	1,09±0,03	-	1,05±0,02	1,09±0,04	-
Ускорение V сист, см/с ² Systolic acceleration, cm/s ²	151±13	203±17*	<0,05	168±29	139±20*	-
Дорсальная артерия Dorsal artery						
V сист, см/с PSV, cm/s	24,4±2,3	28,31±2,5	-	28,8±3,1	25,2±2,0	-
V диаст, см/с EDV, cm/s	-3,25±0,97	-2,3±1,25	-	-1,46±0,8	-2,66±0,92	-
V средн, см/с Vmean, cm/s	3,51±0,99	3,45±0,43	-	4,66±0,75	3,87±0,54	-
RI, отн.ед. RI, rel. units	1,17±0,04	1,13±0,03	-	1,08±0,03	1,11±0,04	-
Ускорение V сист, см/с ² Systolic acceleration, cm/s ²	371±37	497±61*	-	330±34	314±30*	-
Глубокая дорсальная вена Deep dorsal vein						
V средн, см/с Vmean, cm/s	1,22±0,15	1,56±0,18	-	1,17±0,14	1,88±0,22	-

Достоверных различий между группами до тренировок нет, после курса тренировок выявлены значимые ($p<0,05$) различия по ускорению V сист в кавернозных и дорсальных артериях

Таблица 4. Максимальные значения параметров пенильного кровотока ($M\pm m$) при ФДГ в фазе наполнения у пациентов с восстановлением и без восстановления эректильной функции до и после курса тренировок.

Table 4. Maximal penile blood flow parameters ($M\pm m$) in Doppler sonography during pharmacologically induced erection in tumescence state in patients with or without erectile function recovery before and after course of exercises

Показатель Parameter	Группа 1 (n=16) Group 1 (n=16)			Группа 2 (n=8) Group 2 (n=8)		
	До Before	После After	p	До Before	После After	p
Кавернозная артерия Cavernosal artery						
V сист, см/с PSV, cm/s	33,2±2,1	33,0±2,2	-	29,3±2,4	28,8±2,0	-
V диаст, см/с EDV, cm/s	9,53±0,61	8,92±0,74	-	7,4±0,90	6,9±0,67	-
V средн, см/с Vmean, cm/s	16,27±1,0	15,34±1,1"	-	13,8±1,2	11,8±1,1"	-
RI, отн.ед. RI, rel. units	0,71±0,01	0,73±0,01	-	0,74±0,02	0,76±0,02	-
Ускорение V сист, см/с ² Systolic acceleration, cm/s ²	250±25	266±27	-	201±23	209±19	-
Дорсальная артерия Dorsal artery						
V сист, см/с PSV, cm/s	53,5±4,5*	62,5±5,2"	-	37,4±4,8*	36,0±4,5"	-
V диаст, см/с EDV, cm/s	9,57±1,0*	10,9±1,75"	-	5,69±1,41*	6,24±1,14"	-
V средн, см/с Vmean, cm/s	18,8±1,6	21,9±2,71"	-	13,5±2,2	13,03±1,92"	-
RI, отн.ед. RI, rel. units	0,82±0,01	0,84±0,02	-	0,86±0,03	0,84±0,02	-
Ускорение V сист, см/с ² Systolic acceleration, cm/s ²	484±63*	641±54"	-	325±38*	289±34"	-
Глубокая дорсальная вена Deep dorsal vein						
V средн, см/с Vmean, cm/s	4,55±0,46	6,20±1,14	-	3,83±0,46	4,68±0,61	-

Достоверные различия ($p<0,05$) между группами: до тренировок (*) – по V сист, V диаст и ускорению V сист в дорсальной артерии. После тренировок (") – по V средн в кавернозной артерии, и по всем показателям кровотока, кроме RI – в дорсальной артерии

Показатели кровообращения в фазе полной эрекции представлены в таблице 5.

В фазе полной эрекции в группе 1 после курса тренировок в кавернозных артериях достоверно увеличилась систолическая скорость кровотока в среднем с $36,3 \pm 2,8$ до $50,6 \pm 4,7$ см/с ($p < 0,05$). Повысилось также ускорение систолической скорости кровотока с 477 ± 40 до 722 ± 86 см/с² ($p < 0,05$). До тренировок в группе 1 наблюдался антеградный кровоток в диастолу со средней скоростью $1,2 \pm 0,85$ см/с. После тренировок у всех пациентов группы появился ретроградный кровоток в диастолу ($-4,38 \pm 1,36$ см/с), что свидетельствовало о повышении внутрикавернозного давления (ВКД) выше системного диастолического. Пример характера изменения кровотока в диастолу до и после курса тренировок приведен на рисунке 1.

У пациентов группы 1 наблюдалось увеличение сопротивления кровотоку в фазе полной эрекции – RI увеличился с $0,94 \pm 0,02$ до $1,07 \pm 0,02$ отн.ед. ($p < 0,001$).

В дорсальной артерии после тренировок наблюдалось увеличение систолической скорости и ускорения, увеличение сопротивления кровотоку (RI). Антеград-

ный кровоток в диастолу наблюдался как до, так и после тренировок без достоверных изменений. В глубокой дорсальной вене скорость кровотока достоверно уменьшилась с $4,59 \pm 0,55$ до $2,40 \pm 0,25$ см/с ($p < 0,01$).

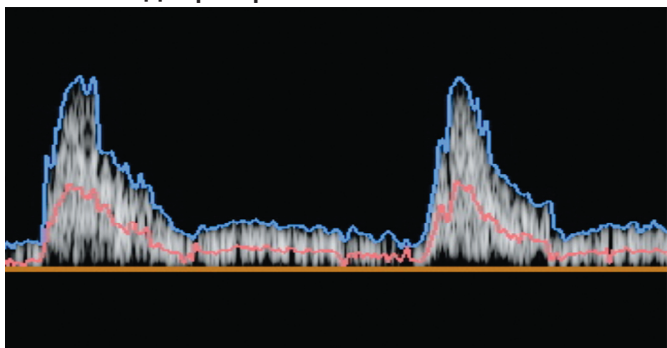
В группе 2 достоверных изменений скоростей кровотока и сопротивления в кавернозных и дорсальных артериях, а также в глубокой дорсальной вене после курса тренировок не наблюдалось.

При сравнении результатов изучаемых групп после курса тренировок у пациентов группы 2 наблюдались более низкие значения показателей систолической скорости и сопротивления (RI) в кавернозных артериях, систолической скорости и ускорения в дорсальных артериях и достоверно большая скорость кровотока в глубокой дорсальной вене. В отличие от группы 1, в кавернозных артериях после тренировок сохранялся антеградный кровоток в диастолу.

ОБСУЖДЕНИЕ

В нашем исследовании изучалось влияние курса тренировок мышц промежности на пенильную гемоди-

До тренировок Before exercises



После тренировок After exercises

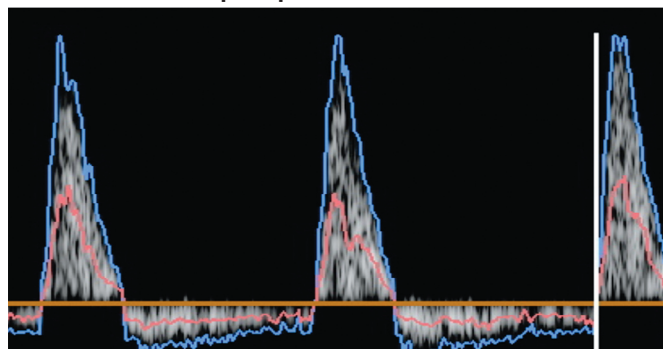


Рис. 1. Допплерограммы кровотока в кавернозной артерии в фазе полной эрекции до и после курса тренировок мышц промежности в группе с восстановлением ЭФ. До тренировок – кровоток в диастолу антеградный, после тренировок – ретроградный.
Fig. 1. Doppler sonography of cavernous artery in fully erect state in patients with erectile function recovery before and after course of exercises. Before exercises blood flow is antegrade, after exercises – retrograde.

Таблица 5. Параметры пенильного кровотока ($M \pm m$) при ФДГ в фазе полной эрекции у пациентов с восстановлением и без восстановления эректильной функции до и после курса тренировок

Table 5. Penile blood flow parameters ($M \pm m$) in Doppler sonography during pharmacologically induced erection in fully erect state in patients with or without erectile function recovery before and after course of exercises

Показатель Parameter	Группа 1 (n=16) Group 1 (n=16)			Группа 2 (n=8) Group 2 (n=8)		
	До Before	После After	p	До Before	После After	p
Кавернозная артерия Cavernosal artery						
V сист, см/с PSV, cm/s	$36,3 \pm 2,8$	$50,6 \pm 4,7$ "	<0,05	$31,8 \pm 2,5$	$32,5 \pm 2,8$ "	-
V диаст, см/с EDV, cm/s	$1,2 \pm 0,85^*$	$-4,38 \pm 1,36$ "	<0,01	$4,21 \pm 1,1^*$	$2,56 \pm 1,43$ "	-
V средн, см/с Vmean, cm/s	$8,28 \pm 0,77$	$6,5 \pm 0,74$ "	-	$11,0 \pm 1,33$	$9,6 \pm 1,10$ "	-
RI, отн.ед. RI, rel. units	$0,94 \pm 0,02$	$1,07 \pm 0,02$ "	<0,001	$0,87 \pm 0,03$	$0,89 \pm 0,04$ "	-
Ускорение V сист, см/с ² Systolic acceleration, cm/s ²	$477 \pm 40^*$	722 ± 86 "	<0,05	$290 \pm 30^*$	350 ± 48 "	-
Дорсальная артерия Dorsal artery						
V сист, см/с PSV, cm/s	$55,6 \pm 4,0$	$75,7 \pm 4,0$	<0,01	$43,4 \pm 3,92$	$56,5 \pm 5,62$ "	-
V диаст, см/с EDV, cm/s	$10,5 \pm 1,24$	$8,9 \pm 2,13$	-	$9,7 \pm 1,93$	$10,0 \pm 2,53$	-
V средн, см/с Vmean, cm/s	$20,5 \pm 2,1$	$23,5 \pm 2,3$	-	$18,2 \pm 2,4$	$23,4 \pm 2,9$	-
RI, отн.ед. RI, rel. units	$0,81 \pm 0,02$	$0,89 \pm 0,02$	<0,05	$0,82 \pm 0,03$	$0,87 \pm 0,05$	-
Ускорение V сист, см/с ² Systolic acceleration, cm/s ²	$458 \pm 36^*$	658 ± 50	<0,01	$311 \pm 30^*$	413 ± 46 "	-
Глубокая дорсальная вена Deep dorsal vein						
V средн, см/с Vmean, cm/s	$4,59 \pm 0,55$	$2,40 \pm 0,25$ "	<0,01	$2,97 \pm 0,37$	$4,56 \pm 0,89$ "	-

Достоверные различия ($p < 0,05$) между группами до тренировок (*) – по V диаст и ускорению V сист в кавернозной артерии, ускорению V сист в дорсальной артерии, по V средн в глубокой дорсальной вене. После тренировок (") – по всем показателям кровотока в кавернозных артериях, по V сист и ускорению V сист в дорсальных артериях, V средн в глубокой дорсальной вене

намику в состоянии покоя и при фармакологической эрекции. Было выделено 2 группы пациентов – с восстановлением ЭФ (группа 1) и без восстановления ЭФ (группа 2) по объективным показателям жесткости полового члена. В результате тренировок в обеих группах была достигнута практически одинаковая сила мышц промежности, увеличившаяся в среднем в 3,4 раза относительно исходных показателей.

В состоянии покоя до тренировок группы не различались по параметрам пенильной гемодинамики. Группа без восстановления ЭФ характеризовалась более низкими показателями кровотока в проэректильных артериях по сравнению с группой пациентов с улучшением ЭФ. Курс тренировок достоверно не повлиял на пенильную гемодинамику в фазе наполнения в обеих группах.

Основные изменения кровообращения в результате курса тренировок наблюдались в фазе полной эрекции у пациентов с восстановлением ЭФ.

Одним из физиологически важных феноменов в этой фазе являлся характер изменения кровотока в диастолу в кавернозных артериях. До тренировок у пациентов наблюдался антеградный кровоток в диастолу, то есть от проксимальной части полового члена к дистальной. Наличие антеградного кровотока в диастолу свидетельствовало о превышении диастолического АД над внутрикавернозным давлением (ВКД). То есть, до тренировок в этой стадии не достигалось ВКД выше, чем системное диастолическое АД. После курса тренировок в этой группе наблюдалось появление ретроградного диастолического кровотока, то есть направленного от дистальной к проксимальной части органа. Это косвенно свидетельствовало о превышении ВКД над диастолическим АД, что сопровождалось значительным увеличением жесткости полового члена (таблицы 1 и 2). Таким образом, были получены признаки повышения ВКД в фазе полной эрекции в результате курса тренировок мышц промежности.

Появлением ретроградного диастолического кровотока может быть объяснено повышение систолической скорости и систолического ускорения в этой фазе. Обратный отток от дистальной части органа создает в дистальной части артерии более низкое давление перед систолой, и в результате большой градиент давления в систолу.

У пациентов без восстановления ЭФ отсутствие достижения достаточной жесткости полового члена после курса тренировок сочеталось с сохранением антеградного диастолического кровотока.

Наличие антеградного диастолического кровотока в фазе полной эрекции свидетельствовало также об отсутствии гидродинамических условий для срабатывания веноокклюзионного механизма. Исчезновение кровотока в диастолу и появление ретроградного кровотока свидетельствует о полном срабатывании веноокклюзионного механизма, то есть, возникновении ситуации,

когда кровь в систолу по кавернозной артерии направляется в дистальную часть, а в диастолу возвращается в сторону проксимальной части органа. Это свидетельствует об отсутствии сброса крови в венозную систему. Этим объясняется и близкое к двукратному снижение скорости кровотока в глубокой дорсальной вене, так как прекращается сброс из каверн в эмиссарные вены и кровотока в глубокой дорсальной вене уже зависит только от кровотока в дорсальных артериях [2,3].

В дорсальных артериях в этой фазе после курса тренировок также наблюдалось увеличение систолической скорости и систолического ускорения, но антеградный кровоток в диастолу сохранялся практически на том же уровне, что и до тренировок. В эту фазу кровотока из дорсальных артерий уже не проникает в кавернозные тела через огибающие артерии. Кровоток из дорсальных артерий через артериальную дугу головки, через каверны головки и артерио-венозные анастомозы возвращается в глубокую дорсальную и уретральную вены [2].

ВЫВОДЫ

1. Увеличение силы мышц промежности в результате курса тренировок приводит к достоверным изменениям кровообращения полового члена только в фазе полной эрекции. В состоянии покоя и в фазе наполнения достоверных изменений показателей кровообращения не наблюдается;
2. У пациентов с восстановлением эректильной функции в результате тренировок в фазе полной эрекции происходит достоверное увеличение линейной систолической скорости и ее ускорения в кавернозных и дорсальных артериях, уменьшение средней скорости кровотока в глубокой дорсальной вене;
3. У пациентов с восстановлением эректильной функции в фазе полной эрекции появляется ретроградный диастолический кровоток в кавернозных артериях, что свидетельствует о повышении ВКД выше системного диастолического АД;
4. Изменения гемодинамики и увеличение ВКД выше диастолического АД приводят к достоверному значительному увеличению параметров поверхностной и продольной жесткости полового члена;
5. Положительные изменения пенильной гемодинамики в результате тренировок мышц промежности отмечались у пациентов с меньшей длительностью ЭД. У пациентов с большей длительностью ЭД тренировки существенно не повлияли на параметры пенильного кровотока;
6. Важным гемодинамическим фактором, влияющим на прогноз восстановления эректильной функции с помощью укрепления мышц промежности является систолическое ускорение в кавернозных артериях в фазе полной эрекции. ■

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Иванов С.С., Александров Б.Ю., Иванов С.В., Краснов А.В., Маришин Р.И. и др. Оценка эффективности тренировок мышц промежности в восстановлении эректильной функции. *Экспериментальная и клиническая урология* 2019;4:80-85 [Ivanov S.S., Aleksandrov B.Yu., Ivanov S.V., Krasnov A.V., Marishin R.I. et al. The evaluation of effectiveness of perineal muscles training in restoring erectile function. *Eksperimental'naya i klinicheskaya urologiya = Experimental and clinical urology* 2019;4:80-85. (In Russian)].
2. Textbook of Erectile Dysfunction. Second Edition. Editors: C.C. Carson, R.Kirby, I. Goldstein, M. Wyllie. London : Informa Healthcare, 2009, 548 p.
3. Sikka S.C., Hellstrom W.J.G., Brock G., Morales A.M. Standardization of vascular assessment of erectile dysfunction: standard operating procedures for duplex ultrasound. *J Sexl Med* 2013;10(1):120-129.
4. Goldstein I., Lue T.F., Padma-Nathan H., Rosen RS, Steers WD, Wicker PA. Oral Sildenafil in the treatment of erectile dysfunction. *N Engl J Med* 1998;338:1397-1404. doi: 10.1056/NEJM/199805143382001
5. Иванов С.В., Краснов А.В., Иванов С.С., Александров Б.Ю., Пилецкий Н.Г., Овчинников Р.С. и др. Оценка жесткости полового члена с использованием магнитодинамического индикатора давления. *Экспериментальная и клиническая урология* 2018; (3):68-71. [Ivanov S.V., Krasnov A.V., Ivanov S.S., Aleksandrov B.Yu., Piletskiy N.G., Ovchinnikov R.S., etc. [The evaluation of penile rigidity using magnetodynamical pressure gauge. *Eksperimental'naya i klinicheskaya urologiya = Experimental and clinical urology* 2018;3:68-71. (In Russian)].
6. Платонов А.Е. Статистический анализ в медицине и биологии: задачи, терминология, логика, компьютерные методы. – М.: Издательство РАМН, 2000. – 52 с. [Platonov A.E. Statistical analysis in medicine and biology: tasks, terminology, logic, computer methods. Moscow: Publishing house of the Russian Academy of medical Sciences, 2000; 52 p. (In Russian)].
7. Tang Y, Guo X, Jiang X, He L, Wen J. Dynamic observation of penile hemodynamic change in patients with vasculogenic erectile dysfunction after prostaglandin E1 treatment. *Scientific Research and Essays* 2011;6(17):3770-3775, doi: 10.5897/SRE11.923

Сведения об авторах:

Иванов С.С. – к.м.н., кардиолог медицинского центра при ЗАО «Ростагроэкспорт», доцент кафедры функциональной и лучевой диагностики ФНМО РУДН; ua3shmt@mail.ru, AuthorID 741751

Ivanov S.S. – Ph.D., Cardiologist at the Medical centre «RostAgroExport»; Assistant Professor at the Functional and radiation diagnostics department at the Faculty of continued medical education at PFUR; ua3shmt@mail.ru

Александров Б.Ю. – врач медицинского центра при ЗАО «Ростагроэкспорт»; raemed@mail.ru

Aleksandrov B.Yu. – Physician at the Medical centre «RostAgroExport»; raemed@mail.ru

Иванов С.В. – д.м.н., профессор, зав. отделением функциональной диагностики Научного клинического центра ОАО «Российские Железные Дороги», профессор кафедры функциональной и лучевой диагностики ФНМО РУДН; ivsv55@mail.ru, AuthorID 741538

Ivanov S.V. – Dr.Sc., chief of the Functional diagnostics department at the National hospital centre of «Russian Railways» JSC. Professor at the Functional and radiation diagnostics department at the Faculty of continued medical education at PFUR; ivsv55@mail.ru

Краснов А.В. – к.м.н., врач отделения урологии Научного клинического центра ОАО «РЖД»; medaleks@rambler.ru, AuthorID 1007897

Krasnov A.V. – Ph.D., urologist at the Urology department at the National hospital centre of «Russian Railways» JSC; medaleks@rambler.ru; ORCID 0000-0003-0535-8338

Маришин Р.И. – врач медицинского центра при ЗАО «Ростагроэкспорт»; marishin-urology@mail.ru

Marishin R.I. – Physician at the Medical centre «RostAgroExport»; marishin-urology@mail.ru

Матвиенко Ю.А. – зам. главного врача медицинского центра при ЗАО «Ростагроэкспорт»; speed200@yandex.ru

Matvienko Yu.A. – Deputy Head physician of the Medical centre «RostAgroExport»; speed200@yandex.ru

Овчинников Р.С. – к.м.н., зам. главного врача медицинского центра при ЗАО «Ростагроэкспорт»; romzec@yandex.ru

Ovchinnikov R.S. – Ph.D., Deputy Head physician of the Medical centre «RostAgroExport»; romzec@yandex.ru

Пятницкий И.А. – врач медицинского центра при ЗАО «Ростагроэкспорт»; iapyatnitskiy@gmail.com

Pyatnitskiy I.A. – Physician at the Medical centre «RostAgroExport»; iapyatnitskiy@gmail.com

Митрохин В.М. – к.б.н., доцент кафедры физиологии МБФ, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова, vmitrohin@gmail.com, AuthorID 815849

Mitrokhin V.M. – Ph.D., assistant professor department of physiology, Pirogov Russian National Research Medical University, vmitrohin@gmail.com

Кирющенко Г.П. – врач медицинского центра при ЗАО «Ростагроэкспорт»; amorphis07@inbox.ru

Kiryuschenkov G.P. – Physician at the Medical centre «RostAgroExport»; amorphis07@inbox.ru

Прудников Н.Д. – врач медицинского центра при ЗАО «Ростагроэкспорт»; prudnikov.nikita@gmail.com

Prudnikov N.D. – Physician at the Medical centre «RostAgroExport»; prudnikov.nikita@gmail.com

Харламов Е.Ю. – профессор университета з.Осло, департамент информатики, evgeny.kharlamov@ifi.uio.no

Kharlamov E.Yu. – Associate Professor, Department of Informatics, University of Oslo; evgeny.kharlamov@ifi.uio.no

Вклад авторов:

Иванов С.С. – терапевтическое обследование пациентов, статистическая обработка результатов, написание текста статьи, 20%

Александров Б.Ю. – разработка дизайна исследования, 15%

Иванов С.В. – ультразвуковое обследование пациентов, участие в написании текста статьи, 15%

Краснов А.В. – урологическое обследование пациентов, контроль лечения, 15%

Маришин Р.И. – урологическое обследование пациентов, контроль лечения, 15%

Матвиенко Ю.А. – решение организационных вопросов, 5%

Овчинников Р.С. – участие в написании текста статьи, 5%

Пятницкий И.А. – поиск и обзор публикаций по теме исследования, 2%

Митрохин В.М. – консультации по анатомии, 2%

Кирющенко Г.П. – анестезиологическое сопровождение, 2%

Прудников Н.Д. – анестезиологическое сопровождение, 2%

Харламов Е.Ю. – анализ релевантных научных публикаций по теме, 2%

Authors' contributions:

Ivanov S.S. – physical examination of patients, statistical processing of the results, article writing, 20%

Aleksandrov B.Yu. – development of research design, 15%

Ivanov S.V. – doppler ultrasound examination of patients, participation in article writing, 15%

Krasnov A.V. – urological examination of patients, treatment monitoring, 15%

Marishin R.I. – urological examination of patients, treatment monitoring, 15%

Matvienko Yu.A. – arrangement of organizational issues, 5%

Ovchinnikov R.S. – participation in article writing, 5%

Pyatnitskiy I.A. – search and review of publications on research topic, 2%

Mitrokhin V.M. – consultations on anatomical issues, 2%

Kiryuschenkov G.P. – monitored anesthesia care, 2%

Prudnikov N.D. – monitored anesthesia care, 2%

Kharlamov E.Yu. – analysis of relevant scientific publications, 2%

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование: Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 26.02.20

Received: 26.02.20

Принята к публикации: 20.03.20

Accepted for publication: 20.03.20