

## Ф И З И К А

УДК 532

DOI: 10.31429/vestnik-17-1-2-81-91

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ  
АОРТОМЕЗЕНТЕРИАЛЬНОГО «ПИНЦЕТА», ВЛИЯЮЩЕГО  
НА ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ДЕГИДРОЭПИАНДРОСТЕНДИОНА  
И ТЕСТОСТЕРОНА У ЛИЦ С ВАРИКОЦЕЛЕ

Тонян А. Г., Татевосян А. С., Бунякин А. В.

MATHEMATICAL MODELING OF AORTO-MESENERIC “TWEEZERS”, AFFECTING  
THE RELATIONSHIP BETWEEN DEHYDROEPIANDROSTENEDIONE  
AND TESTOSTERONE IN PERSONS WITH VARICOCELE

A. G. Tonyan<sup>1</sup>, A. S. Tatevosyan<sup>2</sup>, A. V. Bunyakin<sup>3</sup><sup>1</sup> Multidisciplinary Medical Center “City Clinic”, Krasnodar, 350047, Russia<sup>2</sup> Kuban State Medical University, Krasnodar, 350063, Russia<sup>3</sup> Kuban State University, Krasnodar, 350040, Russia

e-mail: tonyanag@rambler.ru

**Abstract. The purpose of the study.** Study the influence of venous blood flow in the left renal vein pool on the activity of adrenal cortex hormones and testosterone level in patients with varicocele.

**Methods of research.** Blood flow evaluation was performed in six static states according to the difference between the maximum and minimum velocity ( $\Delta V_{\text{ven}}$ ) in the left renal vein (PV): on the back, on the abdomen, on the right side, on the left side, sitting and standing. Infringement of a blood flow was fixed at  $\Delta V_{\text{ven}}$  more than 20 cm/s. In the position of minimum and maximum  $\Delta V_{\text{ven}}$  in the morning at 8 o'clock on the empty stomach, blood was taken from the cubital vein at 3–5 minutes' intervals (until the patient turns from one position to another) to dehydroepiandrosterone (DHEA) and total testosterone (T) with two inputs to the vein. A visual assessment was made of the relationship between DHEA and T when patients moved from a position with a minimum  $\Delta V_{\text{ven}}$  to a position with a maximum  $\Delta V_{\text{ven}}$ .

**Results of the study.** Estimating the relationship between DHEA and T, we estimated the ups or downs of these indicators when moving from a position with a minimum  $\Delta V_{\text{ven}}$  to a position with a maximum  $\Delta V_{\text{ven}}$ . It turned out that T can both increase and decrease with increasing and lowering the level of DHEA. In one case, with an increase in DHEA, the testosterone level did not change.

**Discussion.** To simulate (for the purpose of approximate numerical description) of blood flow processes, an analogy is given with the nonstationary flow of a compressible medium in a pipe of constant diameter using the continuity (in the form of Euler). The left renal vein, due to its topographic and anatomical features (lability), can be considered as an “object of control, and tweezers as a controlling organ”, that is, indicators such as velocity, diameter and pressure are not constant in it, which determines the variety of DHEA relationships and T.

**Conclusions.** Aorto-methangent “tweezers” can be considered as a pressure controller in the “pool” of the left renal vein, which includes the adrenal and testicular veins. The relationship between DHEA and T is variable and requires further study.

**Keywords:** varicocele, blood flow, dehydroepiandrosterone, testosterone, interrelations

## Введение

Варикоцеле считается одной из частых причин мужского бесплодия (EAU, 2017). Описывая варикоцеле, О. Ivanissevich писал,

что это анатомо-клинический синдром, который характеризуется варикозными узлами вен в мошонке, клинически венозным рефлюксом [1]. Многие считают, что венозная

Тонян Арсен Грантович, канд. мед. наук, врач-уролог многопрофильного медицинского центра «Сити Клиник»; e-mail: tonyanag@rambler.ru.

Татевосян Артур Сергеевич, д-р мед. наук, профессор кафедры урологии Кубанского государственного медицинского университета; e-mail: artur-krasnodar@bk.ru.

Бунякин Алексей Вадимович, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедр математических и компьютерных методов Кубанского государственного университета; e-mail: alex.bunyakin@mail.ru.

почечная гипертензия слева из-за сдавления левой почечной вены аорто-мезентериальным «пинцетом» приводит к развитию ретроградного тока крови по левой яичковой вене, при этом, как следствие, возникает варикоцеле [2–4]. Однако почечная венозная гипертензия возможна и у здоровых людей, поэтому остаётся неясным, почему не у всех возникает варикоцеле [6, 7].

Сегодня принято считать, что если после варикоцелэктомии повышение давления в левой почечной вене не приводит к формированию рено-портального венозного анастомоза, то выделяемое в ответ на это избыточное количество стероидных антиандрогенов, попадая в общий кровоток, будет еще больше угнетать сперматогенез. Этим объясняется то, что в одних случаях варикоцелэктомия приводит к фертилизации пациента, а в других — к появлению или усугублению патоспермии и бесплодия [8, 9].

По данным Европейской Ассоциации Урологов в течении нескольких десятилетий целесообразность и вариативность хирургического лечения варикоцеле остается предметом дискуссии. В метаанализе рандомизированных и обсервационных исследований показано, что у мужчин с патоспермией статистически значимо улучшаются параметры эякулята после хирургической варикоцелэктомии, включая больных с необструктивной олигоастенозооспермией [9–11]. В обзоре базы данных Кокрана 2013 г. авторы пришли к выводу, что имеются данные о повышении частоты наступления беременности после варикоцелэктомии у мужчин с бесплодием, но необъяснимым другими причинами [12].

Методы оперативного лечения не во всех случаях избавляют больного от бесплодия и не могут гарантировать возникновение рецидива заболевания [?, 13, 14]. Нормализация спермограмм после различных видов оперативного лечения наступает лишь у 50 % больных [15]. Восстановление репродуктивной функции у мужчин после оперативного лечения этой аномалии не превышает 44–50 % [16]. Кроме того, существуют исследования, свидетельствующие о временном характере улучшения показателей спермограммы у пациентов после варикоцелэктомии, что чрезвычайно актуально при решении вопроса о сроках лечения детей и подростков, учитывая отдаленность периода реализации репродуктивной функции [17]. У подростков с варикоцеле имеется значительный риск избыточного лечения, поскольку в большинстве

случае у них не возникает проблем с фертильностью [18]. Существуют исследования, авторы которых считают возможным наблюдать за пациентами с индексом атрофии более 20 % в течение трех лет, так как у 71 % наблюдавшихся подростков отмечалось сокращение разницы объемов яичек в процессе наблюдения [19].

Описаны исследования, в которых показано, что при илеосперматическом сбросе отсутствуют факторы, типичные для реносперматического типа варикоцеле, приводящие к вторичному нарушению сперматогенеза. Нет гидростатического столба жидкости, венозной гипертензии, локальной гипертермии, повышенного содержания гормонов надпочечников и других токсических продуктов. Смешанный тип варикоцеле по сути не логичен, так как предполагает наличие двух разнонаправленных потоков в одной «трубе» [20]. В других исследованиях выявлено, что при варикоцеле у пациента может повышаться уровень половых гормонов в крови из вен лозовидного сплетения в десятки и сотни раз. Застой венозной крови в лозовидном сплетении и повышение уровня половых гормонов, особенно эстрогена и прогестерона, вызывает на первой стадии развития варикоцеле состояние гормонально-зависимой флебопатии, которая может претерпевать обратное развитие по мере стабилизации и снижения уровня половых гормонов [21].

## 1. Цель исследования

Изучить взаимоотношение дегидроэпиандростендиона (ДГЭА) и общего тестостерона (Т) у лиц с варикоцеле на основе математического моделирования работы аорто-мезентериального «пинцета»).

## 2. Методы исследования

Обследовано в амбулаторных условиях 30 здоровых мужчин с варикоцеле и отсутствием детей в браке в течение полутора лет и более в возрасте от 24 до 35 лет. Всем пациентам выполнялось общеклиническое обследование: сбор анамнеза, жалоб, физикальное исследование; проводилось стандартное лабораторное и инструментальное обследование для подтверждения состояния здоровья; регистрировалась ЭКГ в 12 стандартных отведениях, а также проводилось ультразвуковое исследование почек, почечных артерий и вен многократным датчиком конвексного фор-

мата на ультразвуковом сканере «PHILIPS» HD-11 XE.

Первоначально в В-режиме выполняли ультразвуковое сканирование почек для исключения возможных аномалий строения, положения, урологической патологии. В режиме цветового доплеровского картирования (ЦДК) и «энергетического Доплера» (ЭД) изучалась возможность визуализации сосудистой ножки почки, архитектура сосудистого русла органа. Затем в триплексном режиме изучался кровоток в дистальных отделах магистральных почечных артерий и вен. Для количественной характеристики ренального кровотока оценивались максимальная скорость ( $V_{max}$ ) и минимальная скорость ( $V_{min}$ ) в магистральной почечной артерии (ПА) с расчетом индексов резистентности (RI). Скорость в магистральных почечных венах (ПВ) регистрировалась при задержке дыхания на неполном выдохе, изучалась максимальная венозная скорость ( $V_{venmax}$ ) и минимальная венозная скорость ( $V_{venmin}$ ) и вычислялась разница между этими показателями, которую обозначали как  $\Delta V_{ven}$ . При параметрах  $\Delta V_{ven}$ , превышающих 20 см/сек, картина расценивалась как нарушение оттока по ПВ (приоритет № 2008132282 от 04.08.2008 «Способ оценки венозного кровотока по магистральным почечным венам»).

Оценка кровотока проводилась в шести статических состояниях по  $\Delta V_{ven}$  кровотока в левой почечной вене (ПВ): на спине, на животе, на правом боку, на левом боку, сидя и стоя. Нарушение кровотока фиксировали при  $\Delta V_{ven}$  больше 20 см/с. В положении минимальной и максимальной  $\Delta V_{ven}$  утром в 8 часов натошак производился забор крови из кубитальной вены с интервалом 2–3 мин. (пока пациент повернется из одного положения в другое) на дегидроэпиандростендион (ДГЭА) и общий тестостерон (Т). Проводилась визуальная оценка взаимоотношений ДГЭА и Т при переходе пациентов из положения с минимальным  $\Delta V_{ven}$  в положение с максимальным  $\Delta V_{ven}$ .

### 3. Результаты исследования

Максимальные показатели  $\Delta V_{ven}$  определены в 16 случаях на спине, в 8-ми случаях стоя, в 5-ти сидя и в первом случае на правом боку из 30-ти случаев. Минимальные показатели  $\Delta V_{ven}$  определены в 15 случаях на левом боку, в 12-ти случаях на правом боку, в двух — на спине и в одном случае стоя. Средняя амплитуда колебания (разница между макси-

мальной и минимальной  $\Delta V_{ven}$ ) уровня Т среди всех измерений составила 13,38 нмоль/л от 8,23 до 23,19 нмоль/л (табл. 1).

При учете уровня Т в положении с максимальным  $\Delta V_{ven}$  амплитуда колебания составила 14,06, от 8,85 до 22,39 нмоль/л. Амплитуда колебания Т в положении с минимальным  $\Delta V_{ven}$  была равна 14,13 нмоль/л, от 8,23 до 23,19 нмоль/л. При оценке уровня ДГЭА оказалось, что средняя амплитуда колебаний среди всех измерений составила 6,83 мкмоль/л, от 2,51 до 13,38 мкмоль/л. В положении с максимальным  $\Delta V_{ven}$  среднее колебание уровня ДГЭА составило 6,86 мкмоль/л, от 2,79 до 13,38 мкмоль/л, в положении с минимальным  $\Delta V_{ven}$  — 6,79 мкмоль/л, от 2,51 до 13,36 мкмоль/л.

Исследуя взаимоотношения ДГЭА и Т, оценивались подъемы или снижения этих показателей при переходе из положения с минимальным  $V_{ven}$  в положение с максимальным  $\Delta V_{ven}$ . Оказалось, что Т может как повышаться, так и понижаться при повышении и снижении уровня ДГЭА. При повышении уровня ДГЭА в 6 случаях (20 %) Т снизился, в 8-ми случаях (26,7 %) повысился. При понижении ДГЭА в 7-ми случаях (23,3 %) Т повысился, а в 8-ми случаях (26,7 %) понизился. В одном случае при повышении ДГЭА уровень тестостерона не изменился.

### 4. Обсуждение

В системе левой ПВ, как и в системе правой ПВ, в зависимости от положения тела меняется скорость кровотока, что создает определенную амплитуду колебаний [22]. В левой ПВ давление меняется на участке между воротами почки и пересечением ПВ с верхней брыжеечной артерией. Это давление имеет обратную зависимость от скорости кровотока. Следовательно, колебания давления в левой ПВ будут повышать или понижать давление в левой надпочечниковой вене, не имеющей клапанного аппарата, что повысит или понизит количество гормонов надпочечника, которые имеют, как сегодня принято считать, «андрогенблокирующий» эффект (рис. 1). Для оценки процессов, происходящих в системе аорто-мезентериальный «пинцет» — левая почечная вена — левый надпочечник, создана математическая модель. С целью приближенного численного описания процессов кровотока приведена аналогия с нестационарным течением сжимаемой среды в трубопроводе постоянного диаметра. Аналогом сжимаемости среды рассмотрено расширение стенок сосу-

Таблица 1. Взаимоотношения ДГЭА и Т в зависимости от колебаний скорости венозного кровотока в левой почечной вене

№	Положение пациента	Показатели ДГЭА и Т и их реакция на повышение $\Delta V_{ven}$						
		Т нмоль/л	Колебания Т	ДГЭА мкмоль/л	Колебания ДГЭА	Т вид ↓↑	ДГЭА ↓↑	$\Delta V_{ven}$ ↑
1	НС	10,41	0,15	7,57	0,02	↑	↓	↑
	НПБ	10,26		7,59				
2	Сидя	13,71	1,16	8,98	0,92	↓	↓	↑
	НПБ	14,87		9,06				
3	НС	9,32	1,09	3,88	0,34	↑	↓	↑
	НЛБ	8,23		4,22				
4	Сидя	12,54	0,29	7,66	0,68	↓	↓	↑
	НС	12,84		8,34				
5	Стоя	13,01	1,49	8,58	0,34	↓	↓	↑
	НЛБ	14,5		8,92				
6	Стоя	15,48	1,17	6,97	0,61	↓	↓	↑
	НПБ	16,65		7,58				
7	НС	11,95	0,62	5,07	0,75	↑	↑	↑
	НЛБ	11,33		4,32				
8	Стоя	19,5	0,21	6,11	0,85	↑	↑	↑
	НПБ	19,29		5,26				
9	Стоя	14,12	0	5,92	0,4	—	↑	↑
	НПБ	14,12		5,52				
10	НПБ	12,88	0,04	2,94	0,22	↓	↓	↑
	НС	12,84		2,72				
11	НС	16,59	0,02	5,9	0,17	↑	↓	↑
	НПБ	16,57		6,07				
12	НС	14,05	0,02	6,6	0,25	↓	↑	↑
	НПБ	14,07		6,35				
13	НС	22,39	0,2	4,32	0,43	↑	↓	↑
	НЛБ	23,19		4,75				
14	НС	19,7	0,65	7,75	0,18	↑	↓	↑
	НЛБ	19,05		7,93				
15	Стоя	17,78	1,44	13,38	0,02	↓	↑	↑
	НЛБ	19,22		13,36				
16	НС	11,78	0,93	3,63	0,02	↓	↑	↑
	НЛБ	12,71		3,61				
17	Стоя	11,16	0,89	9,95	0,67	↓	↓	↑
	НПБ	12,05		10,62				
18	Стоя	9,08	0,8	7,78	0,05	↓	↑	↑
	НПБ	9,88		7,73				
19	НС	12,42	0,36	7,37	1,38	↓	↑	↑
	НЛБ	12,6		5,99				
20	НС	14,39	0,69	7,54	0,04	↑	↑	↑
	НПБ	13,7		7,5				
21	НС	21,11	0,42	7,72	0,19	↑	↓	↑
	НЛБ	20,69		7,91				
22	Стоя	17,15	1,49	8,78	0,87	↑	↑	↑
	НЛБ	15,66		7,9				

Окончание таблицы 1. Взаимоотношения ДГЭА и Т в зависимости от колебаний скорости венозного кровотока в левой почечной вене

№	Положение пациента	Показатели ДГЭА и Т и их реакция на повышение $\Delta V_{ven}$						
		Т нмоль/л	Колебания Т	ДГЭА мкмоль/л	Колебания ДГЭА	Т вид $\uparrow\downarrow$	ДГЭА $\uparrow\downarrow$	$\Delta V_{ven}$ $\uparrow$
23	Сидя	13,99	0,41	4,2	0,01	$\uparrow$	$\uparrow$	$\uparrow$
	НЛБ	13,58		4,19				
24	Сидя	8,85	0,1	6,73	0,65	$\downarrow$	$\uparrow$	$\uparrow$
	НЛБ	8,95		6,08				
25	Сидя	19,93	1,13	9,48	0,51	$\uparrow$	$\uparrow$	$\uparrow$
	НЛБ	18,86		8,97				
26	НС	9,22	1,14	6,81	0,8	$\downarrow$	$\uparrow$	$\uparrow$
	Стоя	10,36		6,01				
27	НС	9,9	0,44	9,52	0,28	$\uparrow$	$\downarrow$	$\uparrow$
	НПБ	9,46		9,8				
28	НС	12,26	0,9	6,63	0,81	$\uparrow$	$\downarrow$	$\uparrow$
	НПБ	11,36		7,44				
29	НС	13,24	0,41	5,46	0,12	$\downarrow$	$\uparrow$	$\uparrow$
	НЛБ	13,65		5,34				
30	НС	13,92	0,54	2,79	0,28	$\uparrow$	$\uparrow$	$\uparrow$
	НПБ	13,38		2,51				

Пояснение: НС — на спине, НПБ — на правом боку, НЛБ — на левом боку, Сидя — в положении сидя, Стоя — в положении стоя, ДГЭА — дигидроэпиандростендион, Т — общий тестостерон,  $\Delta V_{ven}$  — разность между максимальной и минимальной скоростью кровотока в почечной вене,  $\uparrow$  — повышение ( $\downarrow$  — понижение) значения при переходе из положения с минимальным  $\Delta V_{ven}$  в положение с максимальным  $\Delta V_{ven}$ .

да (при этом увеличение массы крови между двумя поперечными сечениями, отстоящими на заданную длину, аналогично увеличению плотности между сечениями).

По этой аналогии отношения плотностей (сжимаемой среды в трубопроводе) пропорционально квадрату отношений диаметров при расширении сосуда.

Действительно, пусть  $x$  координата вдоль трубопровода (сосуда — по осевой линии его) слева направо;  $t$  — время;  $V(x, t)$  — скорость течения;  $D(x, t)$  — диаметр сосуда по аналогии соответствующий плотности  $\rho(x, t)$  — среды в трубопроводе. Тогда объемный расход крови, поступающий в участок сосуда между сечениями с координатами  $x_1$  и  $x_2$ , где скорости соответственно  $V_1$  и  $V_2$ , приводит к изменению диаметра сосуда со временем. Это можно записать в виде балансового равенства

$$(V_1 - V_2) \frac{\pi D^2}{2} = (x_2 - x_1) \frac{\pi D}{2} \frac{dD}{dt},$$

отсюда получается

$$\frac{2}{D} \frac{dD}{dt} = - \frac{V_2 - V_1}{x_2 - x_1} \rightarrow - \frac{\partial V}{\partial x}$$

при  $x_2 - x_1 \rightarrow 0$ ,

то есть

$$\ln \left( \frac{D}{D_0} \right)^2 = - \frac{\partial V}{\partial x}.$$

Это аналог уравнения неразрывности для течения сжимаемой среды в трубопроводе

$$\ln \frac{\rho}{\rho_0} = - \frac{\partial V}{\partial x}.$$

Согласно этой аналогии, получается

$$\frac{D}{D_0} = \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}.$$

Индекс 0 соответствует усредненному значению плотности среды и (по аналогии) — диаметру сосуда, от которого соответствующие величины отклоняются при волновых движениях (пульсациях).

Далее рассматривается величина, которую следует понимать как «удельную по массе крови и проинтегрированную по длине сосуда», суть полную энергию кровеносной системы на участке между сечениями с координатами и (отстоящими на значение порядка 0,5 м)

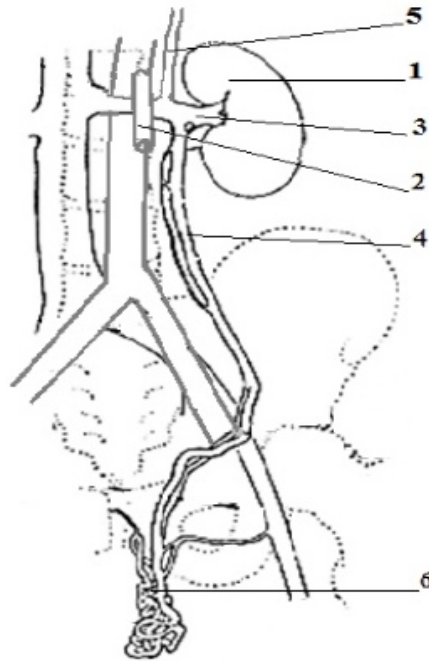


Рис. 1. Аорто-мезентериальный «пинцет»: 1 — левая почка, 2 — верхнебрыжеечная артерия, 3 — левая почечная вена, 4 — левая яичниковая вена, 5 — левая надпочечниковая вена, 6 — гроздевидное сплетение

$$E = \int_{x_1}^{x_2} \left( \frac{V^2}{2} - 2a^2 \ln \frac{D}{D_0} + gh \right) dx.$$

Здесь, помимо уже введенных величин, участвуют  $a$  скорость распространения волн сокращения стенок сосудов (фазовая скорость — по данным из [23], ее значение  $a = 5$  м/с);  $g$  — ускорение силы тяжести;  $h(x)$  — зависимость высоты сечения сосуда от продольной координаты. Используя далее обозначения, соответствующие по аналогии течению сжимаемой среды в трубопроводе ( $a$  соответствует скорости распространения волн сжатия — разряжения), рассматривается удельная полная энергия

$$E = \int_{x_1}^{x_2} \left( \frac{V^2}{2} - 2a^2 \ln \frac{\rho}{\rho_0} + gh \right) dx.$$

Производная от нее по времени (в силу уравнения движения и уравнения неразрывности, записанных в форме Эйлера), которые для трубопровода имеют вид

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{a^2}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + g \frac{dh}{dx} = 0;$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + V \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \frac{\partial V}{\partial x} = 0,$$

будет следующей:

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dt} &= \int_{x_1}^{x_2} \left( V \frac{\partial V}{\partial t} - \frac{a^2}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial t} + gV \frac{dh}{dx} \right) dx = \\ &= \int_{x_1}^{x_2} \left( -V \left( V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{a^2}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + g \frac{dh}{dx} \right) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{a^2}{\rho} \left( V \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \frac{\partial V}{\partial x} \right) + gV \frac{dh}{dx} \right) dx = \\ &= \int_{x_1}^{x_2} \left( -V^2 \frac{\partial V}{\partial x} + a^2 \frac{\partial V}{\partial x} \right) dx = \end{aligned}$$

$$= \left( a^2 V - \frac{V^3}{3} \right) \Big|_{x_1}^{x_2}.$$

Полученное уравнение (с учетом указанной аналогии)

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \int_{x_1}^{x_2} \left( \frac{V^2}{2} - 2a^2 \ln \frac{D}{D_0} + gh \right) dx = \\ = \left( a^2 V - \frac{V^3}{3} \right) \Big|_{x_1}^{x_2}. \end{aligned}$$

можно понимать как «уравнение гемодинамического энергобаланса», оно связывает изменение (удельной по массе и проинтегрированной по длине сосуда) полной энергии кровеносной системы на участке между сечениями с координатами  $x_1$  и  $x_2$  (концевыми) с условиями на этих концах. Скорость изменения этой энергии равна разности следующих значений на концах:

$$\frac{dE}{dt} = a^2 V_2 - \frac{V_2^3}{3} - \left( a^2 V_1 - \frac{V_1^3}{3} \right). \quad (4.1)$$

Соответственно, если энергия движения крови в сосуде с пульсирующими стенками постоянна, то на концах его должно выполняться равенство

$$a^2 V_1 - \frac{V_1^3}{3} = a^2 V_2 - \frac{V_2^3}{3},$$

с учетом того, что  $V < a$ , это означает, что  $V_1 = V_2$  — равенство скоростей течения на концах сосуда.

На основании проведенного моделирования можно сделать следующие выводы: во-первых, полная удельная энергия зависит от положения сосуда в пространстве (по отношению к вертикали), так как выражение для этой энергии содержит слагаемое, отражающее действие силы тяжести  $g \int_{x_1}^{x_2} h(x) dx$ , которое меняется при изменении формы и положения сосуда; во-вторых, значение величины  $a^2 V - \frac{V^3}{3}$  меняется при прохождении через разветвления кровеносной сети, и соответственно имеются регулирующие органы управления, влияющие на изменение полной удельной энергии на различных участках (сети вен и артерий), один из таких органов — аорто-мезентериальный «пинцет».

Исходя из этого, можно предполагать, что левая почечная вена в силу своей топографо-анатомической особенности (лабильной вариативности) может рассматриваться как «объект управления», а аорто-мезентериальный пинцет — как «управляющая система», то есть в левой почечной вене скорость, давление и диаметр самой вены не постоянны. Меняясь, они влияют на давление в левой ПВ, следовательно, и в «лишенной» клапанного аппарата, левой надпочечниковой вене. Известно, что данные колебания приводят к изменению систолического артериального давления и должны «принудить» к гормональному ответу левый надпочечник, что отразится на уровне ДГЭА [24]. Но ДГЭА, как

гормон надпочечника и один из абсолютных «андрогенблокаторов», согласно гипотезе о том, что при венной почечной гипертензии за счет рефлюкса крови по центральной вене левого надпочечника в корковом веществе последнего происходит гиперпродукция стероидных гормонов, обладающих антиандрогенной и антисперматогенной активностью, должен опосредованно влиять на уровень тестостерона [7, 9]. Из этого следует, что при повышении скорости кровотока в левой почечной вене давление в ней снизится. Следовательно, снизится давление и в надпочечниковой вене (рис. 2).

В ответ на это уровень ДГЭА в крови упадет. При понижении скорости кровотока в левой почечной вене произойдет обратное действие, то есть взаимоотношения ДГЭА и Т имеют обратную зависимость. При повышении ДГЭА уровень Т должен снизиться, а при понижении ДГЭА тестостерон должен повыситься.

Данное утверждение верно, если рассматривать средние величины исследуемых параметров. При высоких показателях  $\Delta V_{\text{ven}}$  уровень Т составил 14,06 нмоль/л, при низких показателях  $\Delta V_{\text{ven}} = 14,13$  нмоль/л, а уровень ДГЭА 6,83 и 6,79 мкмоль/л соответственно. То есть при повышении давления в левой ПВ уровень Т снизился, а ДГЭА — повысился. При понижении давления в левой ПВ уровень Т повысился, а ДГЭА — снизился.

Однако рассматривая отдельно каждый случай выборки, была выявлена обратная зависимость между ДГЭА и Т в 50 % случаев, прямая зависимость в 46,7 %, и отсутствие изменений Т при повышении ДГЭА в 3,3 % случаев. То есть ДГЭА не всегда имеет обратную зависимость с Т (табл. 2).

Для демонстрации того, как применяется уравнение гемодинамического энергобаланса, рассматриваются данные табл. 3.

В одном из вариантов (при нескольких упрощающих допущениях) это уравнение можно применить следующим образом. Предположим, что усредненный по времени диаметр  $D$  кровеносного сосуда почти постоянен по длине и периодически меняется при пульсациях, тогда средняя (по всему сосуду) скорость течения полагается постоянной, и первые два слагаемых в

$$E = \int_{x_1}^{x_2} \left( \frac{V^2}{2} - 2a^2 \ln \frac{D}{D_0} + gh \right) dx$$

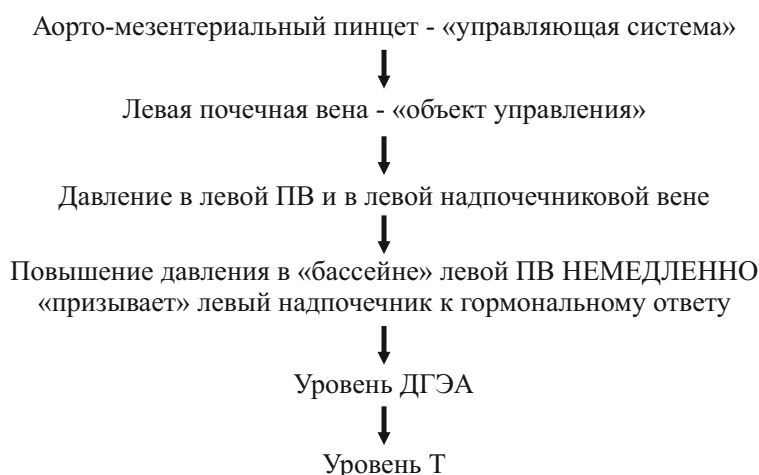


Рис. 2. Механизм включения системы ДГЭА и Т

Таблица 2. Взаимоотношения ДГЭА и Т в зависимости от колебаний скорости венозного кровотока в левой почечной вене

Исследуемые показатели	Показатели ДГЭА и Е и их реакция на повышение $\Delta V_{\text{ven}}$				
	$\Delta V_{\text{ven}}$ ↑	ДГЭА ↓↑	Т вид ↓↑	Количество (n и %)	Всего (n и %)
Прямая зависимость Т	↑	↑	↑	6 (20 %)	14 (46,7 %)
	↑	↓	↓	8 (26,7 %)	
Обратная зависимость Т	↑	↑	↓	8 (26,7 %)	15 (50 %)
	↑	↓	↑	7 (23,3 %)	
Отсутствие колебания Т	↑	↑	—	1 (3,3 %)	1 (3,3 %)

ДГЭА — дегидроэпиандростендион, Т — общий тестостерон,  $\Delta V_{\text{ven}}$  — разность между максимальной и минимальной скоростью кровотока в почечной вене, ↑ — повышение (↓ — понижение) значения при переходе из положения с минимальным  $\Delta V_{\text{ven}}$  в положение с максимальным  $\Delta V_{\text{ven}}$ .

после интегрирования со временем не меняются, а меняться может только третье слагаемое  $gh$ , которое отвечает за положение сосуда по отношению к вертикали.

Пусть в результате изменения положения тела (переход от вертикального к горизонтальному положению) со временем  $\Delta t$  это слагаемое изменилось (уменьшилось до нуля), вслед за этим изменилась и полная энергия

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = g \frac{\Delta h}{\Delta t}.$$

В уравнении (4.1) заменим производную по времени отношением разностей, тогда получается следующее:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta E}{\Delta t} = g \frac{\Delta h}{\Delta t} &\approx a^2 V_2 - \frac{V_2^3}{3} - \left( a^2 V_1 - \frac{V_1^3}{3} \right) \approx \\ &\approx a^2 (V_2 - V_1) = a^2 \Delta V. \end{aligned}$$

Слагаемые с кубами скоростей отброшены ввиду того, что считается малыми

$V \approx 0,1 \text{ м/с} \ll a \approx 5 \text{ м/с}$  по сравнению с оставшимися  $a^2 V \gg V^3/3$ . Получаем

$$\Delta V \approx \frac{g \Delta h}{a^2 \Delta t}$$

уравнение для расчета изменения скорости на выходе из сосуда (разность со скоростью на входе), которое происходит в процессе изменения положения тела (за время  $\Delta t$  со сделанными выше упрощающими предположениями). Оценим порядок величин:  $a = 5 \text{ м/с}$  — скорость распространения возмущений (пульсационных волн) по кровеносной системе,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  — ускорение силы тяжести,  $\Delta t = 2 \text{ с}$  — условное время, за которое изменилось положение тела (перешло в горизонтальное положение),  $\Delta h = 0,25 \text{ м}$  — разность высот между входом и выходом сосуда в вертикальном положении (до изменения). Тогда

$$\Delta V \approx \frac{g \Delta h}{a^2 \Delta t} \approx \frac{9,81 \cdot 0,25}{25 \cdot 2} \approx 0,05 \text{ м/с},$$



Таблица 3

Год рожд. Пол	Почка (сторона)	Максим. размер	На спине	На животе	На левом боку	На правом боку	Сидя	Стоя
1716– 1967 г. Женск.	Левая ПСС–ИР $V_{venmax/min}$ $\Delta V_{ven}$	121×43,9 мм см/сек	86,5×44 79–0,59 <b>20/13</b> <b>7</b>	92×38 83,4–0,59 <b>34/32</b> <b>4</b>	86,3×36,7 73,4–0,57 <b>20/9</b> <b>11</b>	81,7×41,4 71,6–0,56 <b>19/13</b> <b>6</b>	62,6×33,8 64,6–0,57 <b>14/11</b> <b>3</b>	87,7×37,4 63,9–0,54 <b>20/14</b> <b>6</b>
То же	ротация (градусы)	гориз. фронт. сагит.	44 38	40 30	44 33	48 20	59 40	43 31
То же	правая ПСС–ИР $V_{venmax/min}$ $\Delta V_{ven}$	109×46,2 мм см/сек	92,2×39 68–0,57 <b>20/12</b> <b>8</b>	89×38 68,9–0,6 <b>29/20</b> <b>9</b>	89,3×38 92,6–0,63 <b>33/0</b> <b>33</b>	106×46,2 73,4–0,59 <b>23/5</b> <b>8</b>	94,6×39,5 73–0,58 <b>20/15</b> <b>5</b>	97,4×38,6 77,8–0,56 <b>26/14</b> <b>12</b>
То же	ротация (градусы)	гориз. фронт. сагит.	32 32	35 34	35 34	14 0	30 32	27 33

то есть 5 см/с. Это примерно соответствует данным, приведенным в табл. 3.

Таким образом, исследования показали многообразие взаимоотношений ДГЭА и Т, а также возможность систематизации этих данных с применением математической модели, формулируемой в виде уравнение гемодинамического энергобаланса.

### Выводы

1) При изменении давления в левой ПВ уровень ДГЭА может как повышаться, так и понижаться;

2) Тестостерон в ответ на колебания ДГЭА может повышаться, понижаться и оставаться стабильным;

3) Утверждение, что при повышении давления в левой почечной вене гормоны коры надпочечника всегда повышаются и всегда блокируют сперматогенез, нельзя считать верным;

4) Аорто-мезентериальный «пинцет» допустимо рассматривать как регулятор давления (pressure controller) в «бассейне» левой почечной вены, включающей надпочечниковую и тестикулярную вены;

5) Взаимоотношения ДГЭА и Т вариативны и требуют дальнейшего изучения.

### Литература

1. *Ivanishevich O.* Left varicocele due to reflux. Experience with 4470 operative cases in forty-two years // *J. Int. Coll. Surg.* 1960. Vol. 34. Iss. 12. P. 742–755.
2. *Coolsaet B. L.* The varicocele syndrome: venography determining the optimal level for surgical management // *J. Urol.* 1980. Vol. 124. P. 833–839.
3. *Севергина Э.С., Севергина Л.О., Рапопорт Л.М., Рапопорт Ю.Л., Дерунова Т.И.* Ремоделирование сосудов как проявление компенсаторных процессов при варикоцеле разной степени выраженности // *Андрология и генитальная хирургия.* 2013. № 2. С. 35–39. DOI: 10.17650/2070-9781-2013-2-35-39
4. *Лоран О.Б., Гагарина С.В., Стойко Ю.М., Соколыцкий М.М., Голицын А.В.* Выбор метода хирургической коррекции варикоцеле с учетом особенностей венозной гемодинамики // *Урология.* 2006. № 5. С. 24–30.
5. *Виноградов И.В., Протасов А.В., Абазова М.Х., Богданов Д.Ю.* Применение эндоскопического клипирования яичковой вены в забрюшинном пространстве в лечении варикоцеле, осложнённого патоспермией и бесплодием // *Эндоскопическая хирургия.* 2008. № 6. С. 48–50.
6. *Латышев А.В., Давыдов А.А., Чепуров Д.А., Тажестдинов О.Х.* Сравнительная оценка лапароскопического клипирования яичковой вены и операции Мармара при варикоцеле // *Кремлёвская медицина.* 2009. № 2. С. 10–12.
7. *Мазо Е.Б., Корякин М.В., Евсеев Л.П., Аюпян А.С.* Роль функциональной взаимосвязи надпочечников и яичек в патогенезе бесплодия у больных с левосторонним варикоцеле // *Урология и нефрология.* 1990. № 2. С. 50–58.
8. *Henriksson C., Haraldsson G., Aldenborg F., Lindberg S., Pettersson S.* Skeletal metastases in 102 patients evaluated before surgery for renal cell carcinoma // *Scand. J. Urol. Nephrol.* 1992. Vol. 26. P. 363–369. DOI: 10.3109/00365599209181227
9. *Мазо Е.Б., Корякин М.В.* Новое в лечении мужского бесплодия при варикоцеле. М.: Медицина, 1992. 172 с.
10. *Warren K.S., McFarlane J.* The Bosniak classification system for renal cysts masses // *BJU Int.* 2005. Vol. 95. P. 939–942. DOI: 10.1111/j.1464-410X.2005.05442.x

11. *Bosniak M.A.* The use of the Bosniak classification system for renal cysts and cystic tumors // *J. Urol.* 1997. Vol. 157. P. 1852–1853.
12. *Maturen K.E., Nghiem H.V., Caoili E.M., Higgins E.G., Wolf jr. J.S., Wood jr. D.P.* Renal mass core biopsy: accuracy and impact on clinical management // *AJR Am J. Roentgenol.* 2007. Vol. 188. P. 563–570. DOI: 10.2214/AJR.06.0220
13. *Суров Д.В., Антупов Н.В.* Проблемы оперативного лечения варикоцеле // *Клиническая анатомия и оперативная хирургия.* 2009. Т. 8. № 4. С. 76–78.
14. *Shamsa A., Mohammadi L., Abolbashari M., Shakeri M.T., Shamsa S.* Comparison of open and laparoscopic varicocelectomies in terms of operative time, sperm parameters, and complications // *J. Urol.* 2009. Vol. 6. Iss. 3. P. 170–175.
15. *Pan L.J., Pan F., Zhang X.Y., Liu Y., Zhang F.L.* Treatment of varicocele by microsurgical varicocelectomy: report of 94 cases // *Zhonghua Nan Ke Xue.* 2012. Vol. 18. Iss. 5. P. 416–418.
16. *Корякин М.В., Аюбян А.С.* Анализ причин мужского бесплодия // *Пробл. репродукции.* 2000. № 5. С. 68–74.
17. *Haans L.C., Laven J.S., Mali W.P. te Velde E.R., Wensing C.J.* Testis volumes, semen quality, and hormonal patterns in adolescents with and without a varicocele // *Fertil. Steril.* 1991. Vol. 56. P. 731–736. DOI: 10.1016/S0015-0282(16)54607-X
18. *Volpe A., Mattar K., Finelli A., Kachura J.R., Evans A.J., Geddie W.R., Jewett M.A.* Contemporary results of percutaneous biopsy of 100 small renal masses: a single center experience // *J. Urol.* 2008. Vol. 180. P. 2333–2340. DOI: 10.1016/j.juro.2008.08.014
19. *Kolon T.F., Clement M.R., Cartwright L., Bellah R., Carr M.C., Canning D.A., Snyder III H.M.* Transient asynchronous testicular growth in adolescent males with a varicocele // *J. Urol.* 2008. Vol. 180. P. 1111–1114. DOI: 10.1016/j.juro.2008.05.061
20. *Чудновец Л. Г., Плечев В. В., Гарипов Р. М., Ишметов В. Ш.* Илеосперматический тип варикоцеле и его влияние на фертильность пациентов // *Патология кровообращения и кардиохирургия.* 2008. № 2. С. 48–50.
21. *Кравцов Ю.А., Макаров В.И., Сичинава З.А., Поушин О.Г., Дуболазова И.Ю., Яворская М.В.* Роль венозной системы яичек в регуляции уровня половых гормонов в норме и патологии // *Флебология.* 2012. № 1. С. 28–31.
22. *Тонян А. Г., Медведев В. Л., Татевосян А. С., Тонян С. А., Бутаева С. Г.* Зависимость систолического артериального давления от позиционных изменений магистрального венозного кровотока почки // *Артериальная гипертензия.* 2015. Т. 21. № 5. С. 477–486.
23. *Гидродинамика кровообращения / под ред. С. А. Регирер.* М.: Мир, 1971. 271 с.
24. *Алексеевко С. Н., Медведев В. Л., Татевосян А. С., Тонян А. Г., Поморцев А. В., Ждамарова О. И., Медведев А. В.* Позиционные изменения магистрального кровотока левой почки у мужчин с варикоцеле и бесплодием // *Урология.* 2014. № 1. С. 28–32.

## References

1. *Ivanissevich, O.* Left varicocele due to reflux. Experience with 4470 operative cases in forty-two years. *J. Int. Coll. Surg.*, 1960, vol. 34. iss. 12, pp. 742–755.
2. *Coolsaet, B. L.* The varicocele syndrome: venography determining the optimal level for surgical management. *J. Urol.*, 1980, vol. 124, pp. 833–839.
3. *Severgina, E.S., Severgina, L.O., Rapoport, L.M., Rapoport, Yu.L., Derunova, T.I.* Remodelirovanie sosudov kak proyavlenie kompensatornykh protsessov pri varikotsele raznoy stepeni vyrazhennosti [Vascular remodeling as a manifestation of compensatory processes with varicocele of varying severity]. *Andrologiya i genital'naya khirurgiya* [Andrology and Genital Surgery], 2013, no. 2, pp. 35–39. DOI: 10.17650/2070-9781-2013-2-35-39 (In Russian)
4. *Loran, O.B., Gagarina, S.V., Stoyko, Yu.M., Sokolytsik, M.M., Golitsyn, A.V.* Vybora metoda khirurgicheskoy korrektsii varikotsele s uchetom osobennostey venoznoy gemodinamiki [Choice of surgical correction method for varicocele taking into account the peculiarities of venous hemodynamics]. *Urologiya* [Urology], 2006, no. 5, pp. 24–30. (In Russian)
5. *Vinogradov, I.V., Protasov, A.V., Abazova, M.Kh., Bogdanov, D.Yu.* Primenenie endoskopicheskogo klipirovaniya yaichkovoy veny v zabryushinnom prostranstve v lechenii varikotsele, oslozhnennogo patospermiey i besplodiem [The use of endoscopic clipping of the testicular vein in the retroperitoneal space in the treatment of varicocele complicated by pathospermia and infertility]. *Endoskopicheskaya khirurgiya* [Endoscopic Surgery], 2008, no. 6, pp. 48–50. (In Russian)
6. *Latyshev, A.V., Davydov, A.A., Chepurov, D.A., Tazhetdinov, O.Kh.* Sravnitel'naya otsenka laparoskopicheskogo klipirovaniya yaichkovoy veny i operatsii Marmara pri varikotsele [Comparative evaluation of laparoscopic clipping of the testicular vein and Marmara's surgery for varicocele]. *Kremlevskaya meditsina* [Kremlin Medicine]. 2009. no. 2, pp. 10–12. (In Russian)
7. *Mazo, E.B., Koryakin, M.V., Evseev, L.P., Akopyan, A.S.* Rol' funktsional'noy vzaimosvyazi nadpochechnikov i yaichek v patogeneze besplodiya u bol'nykh s levostoronnim varikotsele [The role of the functional relationship of

- the adrenal glands and testes in the pathogenesis of infertility in patients with left-sided varicocele]. *Urologiya i nefrologiya* [Urology and Nephrology], 1990, no. 2, pp. 50–58. (In Russian)
8. Henriksson, C., Haraldsson, G., Aldenborg, F., Lindberg, S., Pettersson, S. Skeletal metastases in 102 patients evaluated before surgery for renal cell carcinoma. *Scand. J. Urol. Nephrol.*, 1992, vol. 26, pp. 363–369. DOI: 10.3109/00365599209181227
  9. Mazo, E. B., Koryakin, M. V. *Novoe v lechenii muzhskogo besplodiya pri varikotsele* [New in the treatment of male infertility with varicocele]. Meditsina, Moscow, 1992. (In Russian)
  10. Warren, K.S., McFarlane, J. The Bosniak classification system for renal cysts masses. *BJU IJU*, 2005, vol. 95, pp. 939–942. DOI: 10.1111/j.1464-410X.2005.05442.x
  11. Bosniak, M. A. The use of the Bosniak classification system for renal cysts and cystic tumors. *J. Urol.*, 1997, vol. 157, pp. 1852–1853.
  12. Maturen, K.E., Nghiem, H.V., Caoili, E.M., Higgins, E.G., Wolf jr., J.S., Wood jr., D.P. Renal mass core biopsy: accuracy and impact on clinical management. *AJR Am J. Roentgenol.*, 2007, vol. 188, pp. 563–570. DOI: 10.2214/AJR.06.0220
  13. Siroid, D.V., Antipov, N.V. Problemy operativnogo lecheniya varikotsele [Problems of surgical treatment of varicocele]. *Klinicheskaya anatomiya i operativnaya khirurgiya* [Clinical Anatomy and Surgical Surgery], 2009, vol. 8, no 4, pp. 76–78. (In Russian)
  14. Shamsa, A., Mohammadi, L., Abolbashari, M., Shakeri, M.T., Shamsa, S. Comparison of open and laparoscopic varicocelectomies in terms of operative time, sperm parameters, and complications. *J. Urol.*, 2009, vol. 6, iss. 3, p. 170–175.
  15. Pan, L. J., Pan, F., Zhang, X. Y. Liu, Y., Zhang, F. L. Treatment of varicocele by microsurgical varicocelectomy: report of 94 cases. *Zhonghua Nan Ke Xue*, 2012, vol. 18, iss. 5, pp. 416–418. (In Chinese)
  16. Koryakin, M. V., Akopyan, A. S. Analiz prichin muzhskogo besplodiya [Analysis of the causes of male infertility]. *Problemy reproduktivnoy meditsiny* [Problems of reproduction], 2000, no. 5, pp. 68–74. (In Russian)
  17. Haans, L. C., Laven, J. S., Mali, W. P. te Velde, E.R., Wensing, C.J. Testis volumes, semen quality, and hormonal patterns in adolescents with and without a varicocele. *Fertil. Steril.*, 1991, vol. 56, pp. 731–736. DOI: 10.1016/S0015-0282(16)54607-X
  18. Volpe, A., Mattar, K., Finelli, A., Kachura, J.R., Evans, A.J., Geddie, W.R., Jewett, M.A. Contemporary results of percutaneous biopsy of 100 small renal masses: a single center experience. *J. Urol.*, 2008, vol. 180, pp. 2333–2340. DOI: 10.1016/j.juro.2008.08.014
  19. Kolon, T. F., Clement, M. R., Cartwright, L., Bellah, R., Carr, M.C., Canning, D.A., Snyder III, H.M. Transient asynchronous testicular growth in adolescent males with a varicocele. *J. Urol.*, 2008, vol. 180, pp. 1111–1114. DOI: 10.1016/j.juro.2008.05.061
  20. Chudnovets, L. G., Plechev, V. V., Gari-pov, R. M., Ishmetov, V. Sh. Ileospermaticheskiy tip varikotsele i ego vliyanie na fertil'nost' pacientov [Ileospermic type of varicocele and its effect on the fertility of patients]. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya* [Pathology of blood circulation and cardiac surgery], 2008, no. 2, pp. 48–50. (In Russian)
  21. Kravtsov, Yu. A., Makarov, V. I., Sichi-nava, Z. A., Poushin, O. G., Dubolazova, I. Yu., Yavorskaya, M. V. Rol' venoznoy sistemy yaichek v regulyatsii urovnya polovnykh gormonov v norme i patologii [The role of the venous system of the testes in regulating the level of sex hormones in normal and pathological conditions]. *Flebologiya* [Phlebology], 2012, no. 1, pp. 28–31. (In Russian)
  22. Tonyan, A. G., Medvedev, V. L., Tatevosyan, A. S., Tonyan, S. A., Butaeva, S. G. Zavisimost' sistolicheskogo arterial'nogo davleniya ot pozitsionnykh izmeneniy magistral'nogo venoznogo krovotoka pochki [Dependence of systolic blood pressure on positional changes in the main venous blood flow of the kidney]. *Arterial'naya gipertenziya* [Arterial hypertension], 2015, vol. 21, no. 5, pp. 477–486. (In Russian)
  23. Regirer, S. A. (ed.) *Gidrodinamika krovoobrashcheniya*. Mir, Moscow, 1971. (In Russian)
  24. Alekseenko, S. N., Medvedev, V. L., Tatevosyan, A. S., Tonyan, A. G., Pomortsev, A. V., Zhdamarova, O. I., Medvedev, A. V. Pozitsionnye izmeneniya magistral'nogo krovotoka levoy pochki u muzhchin s varikotsele i besplodiem [Positional changes in the main blood flow of the left kidney in men with varicocele and infertility]. *Urologiya* [Urology], 2014, no. 1, pp. 28–32. (In Russian)