

УДК 617.747

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ СТЕКЛОВИДНОГО ТЕЛА ГЛАЗ САДАВЕР

Шахматов К.С.

*ГБУЗ КО «Кемеровская областная клиническая офтальмологическая больница», Кемерово, e-mail: shahmatovkirill@gmail.com*

---

Поиски оптимального пути введения лекарственных препаратов при глазной патологии и выбор лекарственной формы подталкивает к изучению физических свойств стекловидного тела. Одно из свойств стекловидного тела, определяющих скорость распространения лекарственного вещества внутри глаза, является вязкость. Проведены исследования, изучающие динамическую вязкость стекловидного тела Cadaver-глаз с разной пигментацией радужной оболочки. Вязкость стекловидного тела определялась на ротационном вискозиметре «Rheotest – 2» с использованием насадки для малых объемов исследуемого материала. Из полученных результатов были построены реологические кривые, отражающие вязкопластические свойства стекловидного тела. В результате исследования были определены различия в динамической вязкости стекловидного тела глаз с голубой и коричневой радужками. В глазах с голубой радужной оболочкой вязкость стекловидного тела ниже, чем в глазах с коричневой радужной оболочкой.

---

Ключевые слова: стекловидное тело, вязкость, глаз cadaver.

## THE STUDY OF THE VISCOSITY OF THE VITREOUS BODY FROM CADAVER

Shahmatov K.S.

*Kemerovo regional clinical ophthalmological hospital, Kemerovo, e-mail: shahmatovkirill@gmail.com*

---

The search of the optimal route of drug administration in ophthalmic pathology and the choice of a dosage form encourage the study of the physical properties of the vitreous body. One of the properties of the vitreous body, which determines the velocity of propagation of medicinal substance inside the eye, is the viscosity. There have been researches conducted on the dynamic viscosity of the vitreous body of Cadaver eyes with different pigmentation of the iris. The viscosity of the vitreous body was determined on a rotational viscometer "Rheotest – 2" with a nozzle for small amounts of test material. From the obtained results rheological curves were constructed describing viscoplastic properties of the vitreous body. The study identified differences in the dynamic viscosity of the vitreous body of the eyes with blue and brown irises. In the eyes with a blue iris, the viscosity of the vitreous body is lower than in the eyes with a brown iris.

---

Keywords: vitreous body, viscosity, eye cadaver.

Доставка лекарственных веществ внутрь глаза, а именно – к заднему отрезку, имеет свои особенности в силу существования гематоофтальмического барьера, который включает в себя эндотелий сосудов, мембрану Бруха и ретинальный пигментный эпителий. Выбор оптимального способа введения лекарственных препаратов в структуры глаза является одной из важнейших задач в офтальмологии. В настоящее время одним из перспективных способов является введение лекарственных веществ внутрь стекловидного тела, так называемый интравитреальный [1]. Преимуществами данного способа считается близость лекарственного вещества к патологическим изменениям (диабетический макулярный отек, возрастная макулярная дегенерация, эндофтальмит и т.д.), минимальная концентрация лекарственного препарата и кратчайшие сроки воздействия без участия гематоофтальмического барьера [2]. Для лечения ряда глазных болезней и патологических состояний используют кортикостероиды, ингибиторы ангиогенеза, фибринолитики, антибиотики [3, 4, 5]. В стадии

разработки для интравитреального введения находятся препараты, снижающие внутриглазное давление.

Стекловидное тело, несмотря на свою гелеобразную структуру, характеризуется интенсивным обменом жидкости и питательных веществ. За сутки через него проходит примерно до 250 мл жидкости. Элиминация лекарственных веществ из стекловидного тела зависит не только от интенсивности обмена, но и от ряда других параметров.

Учитывая, что вязкость – это способность оказывать сопротивление перемещению одной части жидкости относительно другой, следует рассматривать вязкость стекловидного тела как фактор, определяющий скорость и направленность обменных процессов, в том числе диффузию лекарственного вещества введенного интравитреально. В связи с этим изучение вязкости стекловидного тела своевременно и оправдано.

**Цель исследования.** Изучение вязкости стекловидного тела глаз cadaver с различным цветом радужной оболочки.

**Материал и методы.** Вязкость стекловидного тела исследована у 5 трупных человеческих глаз – cadaver. Из них 2 глаза с голубой радужной оболочкой и 3 глаза с коричневой радужной оболочкой. Забор стекловидного тела проводился через плоскую часть цилиарного тела в 4 мм от лимба с погружением иглы на 10 мм с направлением в центральный отдел витреальной полости. По данным Berman, Michaelson (1964), показатели относительной вязкости стекловидного тела человека в центральном и периферическом отделах стекловидного тела отличается незначительно - 2.08 и 1.83 соответственно. Все образцы забирались в течение 24 часов после наступления смерти с соблюдением этических норм и правил. В анамнезе у всех доноров отсутствовали болезни глаз.

Вязкость стекловидного тела определена на ротационном вискозиметре «Rheotest – 2». Методика определения вязкости была усовершенствована для малых объемов жидкостей («Микровискозиметр» патент на полезную модель № 169523 от 22.03.2017 г., «Ротационный микровискозиметр» патент на полезную модель № 169577 от 23.03.2017 г., «Вискозиметр для исследования малых объемов веществ» патент на полезную модель № 169522 от 22.03.2017 г.). Все измерения вязкости на вискозиметре «Rheotest – 2» проведены в лаборатории кафедры «Прикладная механика» на базе ФБГОУВО «Кемеровского технологического университета пищевой промышленности».

**Результаты.** В таблицах 1 и 2 представлены результаты напряжение сдвига в зависимости от скорости сдвига, полученные на ротационном вискозиметре «Rheotest – 2», для глаз с голубой радужкой и коричневой радужкой, соответственно.

Таблица 1

Показатели напряжения сдвига в зависимости от скорости сдвига стекловидного тела

Cadaver-глаз со светлой радужкой (Г1 и Г2)

Скорость сдвига (с <sup>-1</sup> )		Напряжение сдвига (Па)	
	$\gamma$	Г1	Г2
1	1	0,4	0,16
1,8	1,8	1,32	0,35
3	3	2,53	0,6
5,4	5,4	4,48	1,14
9	9	6,64	1,82
16,2	16,2	10,02	3,16
26,95	26,95	14,87	5,1

Таблица 2

Показатели напряжения сдвига в зависимости от скорости сдвига стекловидного тела

Cadaver-глаз с коричневой радужкой (К1, К2 и К3)

Скорость сдвига (с <sup>-1</sup> )		Напряжение сдвига (Па)		
	$\gamma$	К1	К2	К3
1	1	2,99	0,84	1,54
1,8	1,8	3,95	2,31	2,86
3	3	5,1	3,83	4,15
5,4	5,4	7,02	5,52	6,05
9	9	9,06	7,44	8,21
16,2	16,2	12,75	10,62	11,87
26,95	26,95	17,7	15,54	16,57

Напряжение сдвига – это сила трения, возникающая при движении двух слоев жидкости относительно друг друга и необходима для поддержания скорости сдвига. Скорость сдвига – это скорость движения одного слоя относительно другого. На основании полученных результатов построены реологические кривые, представленные на рисунках 1 и 2, для глаз с голубой радужкой и коричневой радужкой, соответственно.

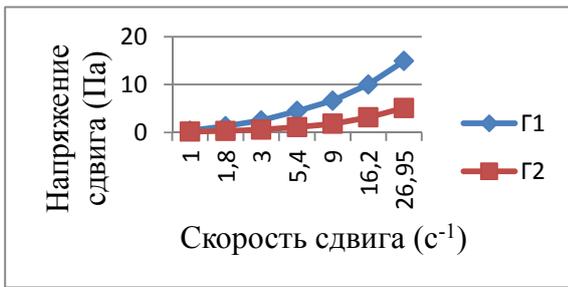


Рис. 1. Параметры стекловидного тела глаз с голубой радужной оболочкой (Г1 и Г2) при различной скорости сдвига

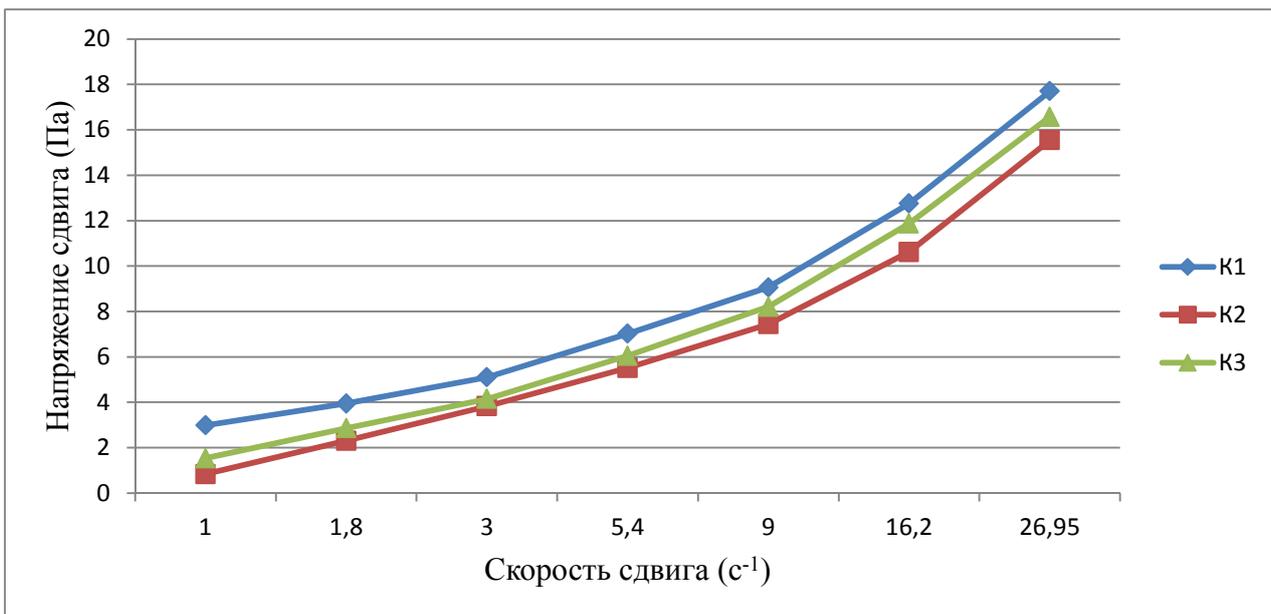


Рис. 2. Параметры стекловидного тела глаз с коричневой радужной оболочкой (K1, K2 и K3) при различной скорости сдвига

Данный тип кривой характерен для неньютоновских вязкопластических жидкостей и описывается как реологическая кривая, где начальное напряжение сдвига не равно нулю и имеет предел текучести. Учитывая, что стекловидное тело представляет собой сложно организованную тканевую структуру, состоящую из коллагена, гликопротеинов, протеогликанов и гиалуроновой кислоты, где протеогликаны выполняют функцию

наполнителя (основного вещества) между фибриллами, предотвращая их агрегацию и коллапс, а гиалуроновая кислота играет роль стабилизатора геля. Полученные реологические кривые отражают вязкопластические свойства стекловидного тела глаз с голубой и коричневой радужными оболочками.

Однако имеются несколько отличий реологических кривых глаз с голубой и коричневой радужками. Во-первых, отличается начало реологической кривой: в глазах с голубой радужкой при минимальной скорости сдвига  $1 \text{ с}^{-1}$  напряжение сдвига составляет 0,16 Па и 0,4 Па, с коричневой радужкой – более 0,84 Па, что свидетельствует о разнице начала разрушения соединений, образующих стекловидное тело при разном цвете радужной оболочки. То есть менее вязкий состав стекловидного тела начинает разрушаться раньше (глаза с голубой радужкой), а состав стекловидного тела повышенной вязкости разрушается позднее (глаза с коричневой радужкой).

Во-вторых, реологические кривые отличаются тем, что начальный участок нелинейной зависимости кривой короткий в глазах с голубой радужкой и более длинный в глазах с коричневой радужкой. Поэтому конечный участок реологической кривой, представляющий собой уже линейную зависимость в глазах с голубой радужкой, начинается при скорости сдвига  $5,4 \text{ с}^{-1}$ , а в глазах с коричневой радужкой при значениях скорости сдвига  $9 \text{ с}^{-1}$ . Следовательно, структура соединений стекловидного тела более устойчивая в глазах с коричневой радужкой, так как разрушается (участок спрямления зависимости) при больших значениях скорости сдвига.

Balazs (1954) считал, что главным гелеобразующим компонентом стекловидного тела является коллаген. Учитывая, что в состав стекловидного тела входят различные типы коллагена – основной II, а также имеются V, XI и IX типы, полученное различие реологических кривых, вероятно, отражает вариации количества и качества коллагена в глазах с голубой и коричневой радужными оболочками.

Постмортальное стекловидное тело обладает высокой инертностью и стабильностью биохимического состава в течение 24-х часов после наступления смерти [6]. Выявленные различия реологических кривых стекловидного тела *cadaver*, отражающих прочность его структур с различной окраской радужки, вероятно, имеют место и при жизни. Так как вязкость – это соотношение напряжения сдвига к скорости сдвига, на основании полученных параметров скорости и напряжения сдвига произведен расчет вязкости стекловидного тела глаз *cadaver* с голубой и коричневой радужками, данные представлены в таблицах 3 и 4, соответственно.

Таблица 3

Динамическая вязкость стекловидного тела *Cadaver*-глаз со светлой радужкой (Г1 и Г2)

Скорость сдвига (с <sup>-1</sup> )	Вязкость (Па*с)		
	$\gamma$	$\Gamma 1$	$\Gamma 2$
	1	0,4	0,16
	1,8	0,73	0,19
	3	0,84	0,2
	5,4	0,83	0,21
	9	0,74	0,2
	16,2	0,62	0,195
	27	0,55	0,19

Таблица 4

Динамическая вязкость стекловидного тела Cadaver-глаз с коричневой радужкой  
(K1, K2 и K3)

Скорость сдвига (с <sup>-1</sup> )	Вязкость (Па*с)			
	$\gamma$	K1	K2	K3
	1	2,99	0,84	1,54
	1,8	2,19	1,28	1,59
	3	1,7	1,28	1,38
	5,4	1,3	1,02	1,12
	9	1,01	0,83	0,91
	16,2	0,79	0,66	0,73
	27	0,66	0,58	0,61

На основании полученных данных (таблицы 3 и 4), построены реологические кривые динамической вязкости стекловидного тела глаз с голубой и коричневой радужными оболочками, которые представлены на рисунках 3 и 4, соответственно.

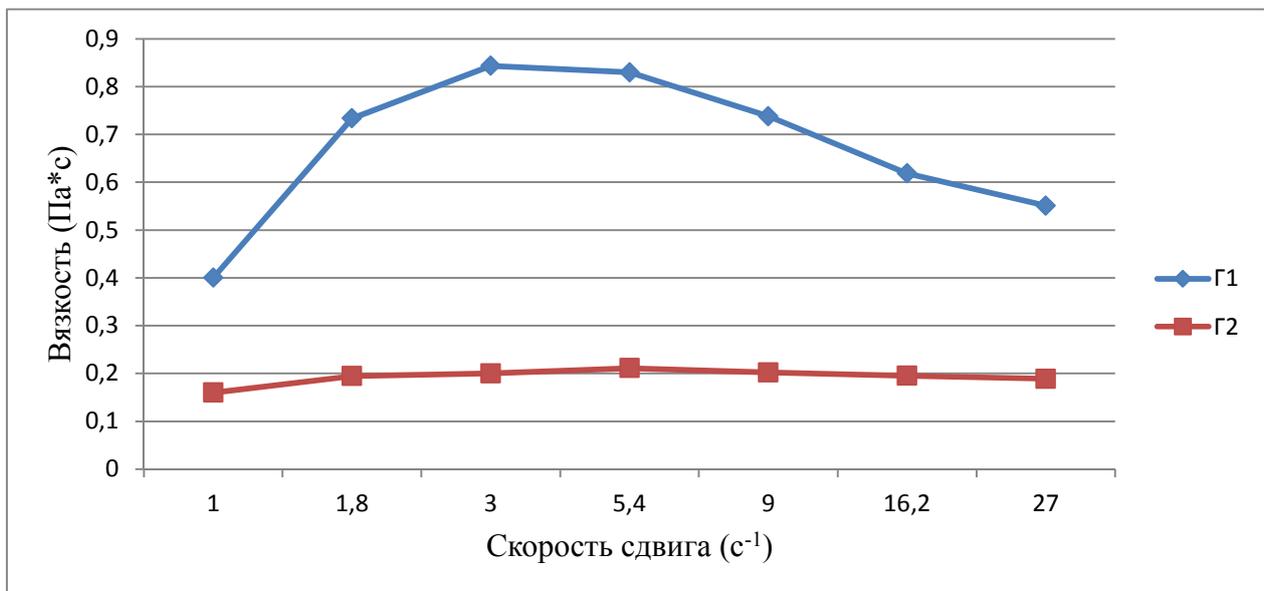


Рис. 3. Параметры динамической вязкости глаз с голубой радужной оболочкой (Г1 и Г2) при различной скорости сдвига

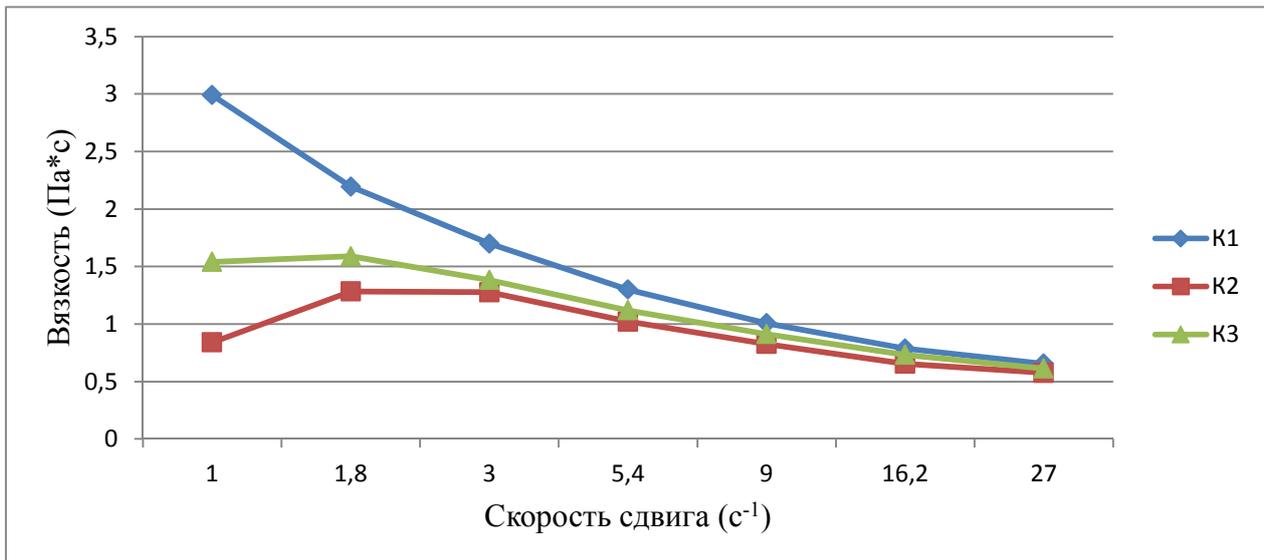


Рис. 4. Параметры динамической вязкости глаз с коричневой радужной оболочкой (K1, K2 и K3) при различной скорости сдвига

Для вязкопластических жидкостей характерно уменьшение эффективной вязкости с увеличением скорости сдвига (деформации), что свидетельствует о разрушении молекулярной структуры стекловидного тела.

Несмотря на различный внешний вид кривых (рис. 1), параметры вязкости стекловидного тела в глазах с голубой радужкой характеризуются тем, что динамическая вязкость менее 1,0 Па\*с при любой скорости сдвига. В свою очередь, динамическая вязкость стекловидного тела в глазах с коричневой радужкой находится в пределах от 2,99 Па\*с до 0,84 Па\*с и снижается до 1,0 Па\*с, только при больших скоростях сдвига - 9 с<sup>-1</sup>.

## Выводы

1. Параметры динамической вязкости стекловидного тела зависят от цвета радужной оболочки.

2. Реологический профиль кривых вязкости стекловидного тела имеет общие и отличительные черты в глазах с голубой и коричневой радужками.

3. Стекловидное тело глаз с голубыми радужками отличается низкими параметрами вязкости стекловидного тела.

### Список литературы

1. Smith C.A., Newson T.A., Hutnik C.M., Hill K.A. Identification of Anomalous Features of Intravitreal Injections Using Micro-Computed Tomography // Current Eye Research. 2013. Vol. 38. No. 3. P. 375-380.
2. Антиангиогенная терапия в офтальмологии [Текст] / Э.В. Бойко, С. В. Сосновский, Р.Д. Березин [и др.] – СПб.: ВМедА им. С.М. Кирова, 2013. – 292 с.; ил.
3. Клинический анализ эффективности комбинированного лечения макулярного отека сетчатки [Текст] / А-Г. Д. Алиев, А.М.М. Магомедов, В.А-Г. Алиев [и др.] // Рос. офтальмолог. журнал. – 2017. – № 1. – С. 5-8.
4. Бахритдинова Ф.А. Оптимизация использования ингибитора ангиогенеза при неоваскулярной возрастной макулярной дегенерации [Текст] / Ф.А. Бахритдинова, А.Ф. Юсупов, Ш.А. Муханов // Российский офтальмологический журнал. – 2017. – № 1. – С. 9-14.
5. Лечение синдрома Ирвина-Гасса при внекапсулярной артификации на основе интравитреальных инъекций. Клинический случай [Текст] / И.Э. Йошин, А.И. Толчинская, А.А. Оздербаева // Российский офтальмологический журнал. – 2016. – № 1. – С. 87-96.
6. Ледянкина И.А. Определение давности наступления смерти по изменению оптической плотности стекловидного тела [Текст]: автореф. дис. ... канд. мед. наук / И.А. Ледянкина. – Москва, 2006. – 22 с.