

Ф. А. РАЧЕВСКИЙ

**МЕХАНИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВНУТРИГЛАЗНОГО ДАВЛЕНИЯ
ТОНОМЕТРИЧЕСКИМ ПУТЕМ**

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 9 I 1948)

В настоящей работе мы имеем в виду обратить внимание на высокие положительные качества оригинального русского офтальмотонометра, предложенного еще в конце прошлого века А. Н. Маклаковым⁽¹⁾. Расхождения показаний этого тонометра с показаниями манометрическими и неумение правильно учесть эти расхождения приводили часто к необоснованному предпочтению офтальмотонометров заграничных конструкций (Шьетца и др.).

Тонометр Маклакова представляет специальный держатель, в который могут помещаться цилиндрики весом от 5,0 до 15,0 г; основания цилиндриков представляют площадки, которые смазываются особой краской (рис. 1).

Цилиндрики ставятся на анестезированную роговицу и производят своим свободным весом ее уплощение. Роговица снимает краску с площадки уплощения, и на основании цилиндрика остается кружок тем меньше, чем больше внутриглазное давление. Величина этого кружка регистрируется затем путем отпечатка на бумаге.

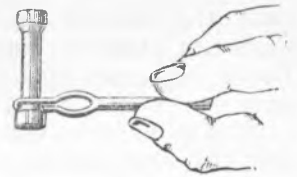


Рис. 1. Тонометр Маклакова

Маклаков полагал, что силы внутриглазного давления, действующие на кружок уплощения, равны весу приложенного тонометра, и предложил следующую формулу:

$$\frac{\pi D^2}{4} \cdot 13,6 H = P,$$

где D — диаметр кружка уплощения, 13,6 — удельный вес ртути, P — вес тонометра в г и H — высота ртутного столба в мм. Однако сам Маклаков не учел всех теоретических возможностей своего тонометра.

Ни один из зарубежных тонометров не дает возможности вычислить и учесть, согласно теории упругости, сопротивление оболочки глаза (роговицы) офтальмотонометру так, как это позволяет сделать тонометр Маклакова.

Роговица представляет жесткую и трудно поддающуюся растяжению оболочку. Под действием внешних и внутренних сил в роговице возникает состояние напряженности, которое в каждой данной точке характеризуется главным образом продольными тангенциальными силами, направление которых будет иметь различный знак в зависимости от того, являются ли они растягивающими, или сжимающими оболочку силами.

В строительной механике принято считать, что в случае тонкостенных сосудов, т. е. когда радиус кривизны оболочки превышает ее толщину не меньше, чем в 4,5 раза, напряжение имеет одинаковое значение во всей толще оболочки. Для роговой оболочки глаза среднюю величину радиуса кривизны ее следует считать равной 7,7 мм, а толщину роговицы 0,5—0,8 мм. Получаемое отношение, таким образом, позволяет отнести роговицу к разряду тонкостенных оболочек.

Таким образом, в каждом квадратном миллиметре толщи роговицы приложена сила напряжения, которая, действуя тангенциально к поверхности роговицы, растягивая или сближая частицы ее, принимает участие в противодействии или силам внутриглазного давления, или внешним усилиям деформации.

Если представить себе отрезок роговицы, как это изображено на рис. 2 и 3, по контуру своему отделенным от глазного яблока, то

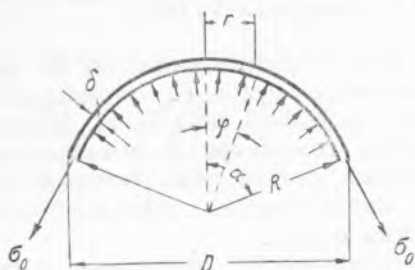


Рис. 2

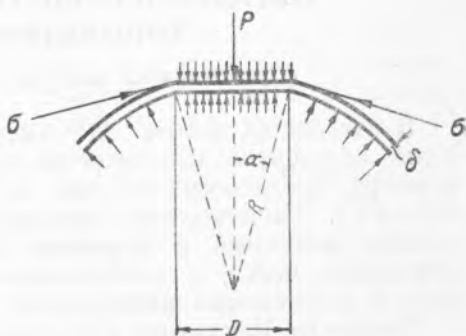


Рис. 3

сила напряжения, приложенная по всему контуру, будет σ_0 (рис. 2). Сила эта заменяет своим действием отделенную часть глазного яблока. Таков обычный прием строительной механики для нахождения условий равновесия сил, действующих на данную систему.

Найдя вертикальную проекцию сил напряжения, действующих по контуру отдельного сегмента роговицы, а также вертикальную проекцию сил внутриглазного давления, действующих радиально на внутреннюю поверхность сегмента, мы находим:

Для ненагруженной роговицы (рис. 2)

$$\pi D \sigma_0 \delta \sin \alpha - \int_0^\alpha 2\pi r R d\varphi h \cos \varphi = 0,$$

где h — внутриглазное давление, σ — упругие силы в каждом мм² толщины роговицы (δ), D — диаметр контура; или, подставляя $r = R \sin \varphi$,

$$\pi D \sigma_0 \delta \sin \alpha = \int_0^\alpha 2\pi R^2 h \sin \varphi \cos \varphi d\varphi = \left[-\frac{2\pi R^2 h \cos 2\varphi}{4} \right]_0^\alpha = \frac{\pi R^2 h}{2} 2 \sin^2 \alpha.$$

Принимая во внимание, что $\sin \alpha = D/2R$, получим:

$$D \sigma_0 \delta = R h D / 2; \quad \sigma_0 = R h / 2 \delta.$$

Для роговицы, нагруженной тонометром (рис. 3)

$$\pi D \sigma \delta \sin \alpha - P + p = 0,$$

где P — вес тонометра в г, p — внутриглазное давление на площадь кружка уплощения, σ — упругие силы по контуру кружка уплощения, δ — толщина роговой оболочки в мм, R — радиус кривизны роговой оболочки в мм, D — диаметр кружка уплощения в мм; или, подставляя $\sin \alpha = D/2R$,

$$\frac{\pi D^2 \sigma \delta}{2R} = P - p, \quad \frac{P}{\pi D^2 / 4} = \frac{p}{\pi D^2 / 4} + \frac{2\sigma \delta}{R}.$$

Обозначая

$$\frac{P}{(\pi D^2 / 4) 13,6} = H, \quad \frac{p}{(\pi D^2 / 4) 13,6} = h,$$

получим

$$H = h + \frac{2\sigma \delta}{13,6 R}, \quad H - h = \frac{2\sigma \delta}{13,6 R}.$$

Величины радиуса роговицы и ее толщины могут быть точно вычислены нашими аппаратами (например офтальмометром Жавая и щелевой лампой). Упругие свойства роговицы могут быть определены экспериментально на свежих трупных глазах. Таким образом можно составить таблицы, где каждому показанию тонометра Маклакова соответствует величина внутриглазного давления в миллиметрах ртутного столба.

В экспериментальной части своей работы я пользовался точно отрегулированной системой сообщающихся сосудов. Свежевынутый трупный глаз соединялся толстой иглой с водяным манометром, и в глазу устанавливалось определенное давление h , которое переводилось в миллиметры ртутного столба. После этого тонометрами Маклакова измерялась величина H и разность $H - h$ (табл. 1), что позволяет установить в данном глазу силы напряжения по контуру кружка деформации, вызываемые давлением офтальмотонометра того или другого веса.

Таблица 1

Тонометрия трупных глаз*

h	$P=6 \text{ г}$		$P=10 \text{ г}$		$P=15 \text{ г}$		h	$P=6 \text{ г}$		$P=10 \text{ г}$		$P=15 \text{ г}$	
	D	$H-h$	D	$H-h$	D	$H-h$		D	$H-h$	D	$H-h$	D	$H-h$
12	6,2	+2,6	7,5	+5,0	8,2	+9,0	30	4,3	0	5,4	+2,4	6,2	+6,8
14	6,1	+1,0	6,9	+4,2	8,0	+8,0	32	4,1	-1,4	5,3	+1,6	—	—
15	5,9	-1,0	6,7	-6,0	—	—	34	—	—	5,2	0	—	—
16	5,7	+2,3	6,7	-4,7	7,0	+13,0	36	4,0	-1,0	5,0	+1,8	6,0	+3,3
17	5,7	0	6,5	+5,3	—	—	40	3,8	-1,2	4,9	-0,7	5,8	+2,1
18	5,4	+1,3	6,4	-5,3	7,2	+9,3	45	—	—	4,9	-5,7	5,3	+5,4
19	5,3	-1,0	6,3	-4,8	—	—	48	—	—	4,7	-5,3	5,3	+2,4
20	5,2	+0,8	6,2	-4,5	6,8	+10,6	50	—	—	—	—	4,4	-1,3
21	5,1	+0,6	6,1	+4,4	—	—	51	—	—	4,5	-4,4	5,0	+5,6
22	4,9	+1,0	6,0	+4,2	6,8	+8,3	57	—	—	4,3	-6,0	4,7	+7,0
24	4,8	0	5,8	-4,0	6,8	+4,3	60	3,1	-1,5	4,1	-4,0	4,8	+1,4
26	4,6	+0,8	5,6	+4,0	6,5	+7,5	65	—	—	4,0	-6,0	4,8	-3,0
28	4,5	0	5,4	+4,4	6,2	+8,8	68	—	—	4,0	-9,0	4,9	-9,0

* h — манометрическое давление в мм рт. ст., P — вес тонометра Маклакова в г, D — диаметр кружка уплощения в мм, H — тонометрическое давление по Маклакову в мм рт. ст.

Из табл. 1 видно, что при низких давлениях H отличается от h небольшими и положительными величинами. При тонометре весом в 6,0 г H отличается от h величинами, находящимися в пределах ошибок метода. При тонометре весом в 10 г разница уже является положительной и равной в среднем 4 мм ртутного столба. Тонometr весом в 15 г дает в среднем разницу в 10 мм ртутного столба.

Чем выше манометрическое давление, тем разница становится меньше и, наконец, делается отрицательной. Для груза в 6 г это происходит раньше, чем для грузов в 10 и 15 г. Отсюда можно сделать вывод, что при низких манометрических давлениях в глазу, внешнее воздействие от тонометра Маклакова выражается в сжатии частиц по контуру кружка деформации, а при повышении давления манометрическое давление вызывает растяжение оболочки и H становится меньше h .

Дальше, можно установить, что деформации уплощения от приложения тонометров малого веса настолько ничтожны, что не вызывают изменения объема глазного яблока и перемещения в нем жидкости.

На этом я считаю особо нужным остановиться потому, что на подобном перемещении жидкости в глазу при тонометрии строятся обычно (2) теории тонометрии. Таким образом, все их выводы являются несостоятельными.

Тонometriруя в течение нескольких дней глаза умирающих, я получал одинаковые величины внутриглазного давления как при жизни, так и вскоре после смерти (на свежетрупных глазах).

Курский государственный
медицинский институт

Поступило
9 XII 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Н. Маклаков, Хирургическая летопись, № 6 (1892); № 4 (1893). ² J. Friedenwald, Am. J. of Ophthalmol., 17, No. 4 (1934); 20, No. 10 (1937).