

УДК 617.7–001.31–092.9

## Моделирование контузии глазного яблока разной степени тяжести у разных видов животных

Т. А. Красновид<sup>1</sup>, д-р мед. наук, С. К. Асланов<sup>2</sup>, проф., д-р физ.-мат. наук, Н. П. Грубник<sup>1</sup>, аспирант

<sup>1</sup>ГУ «Институт глазных болезней и тканевой терапии им.

В. П. Филатова НАМН Украины»,

<sup>2</sup>Одесский Национальный Университет им.

И. И. Мечникова

**Ключевые слова:** моделирование контузии глазного яблока, прибор

**Ключові слова:** моделювання контузії очного яблука, прибор

**Актуальність.** Враховуючи тяжкість наслідків контузійної травми ока, актуальними є експериментальні дослідження, направлені на вивчення змін структур ока і можливості їх корекції.

**Мета.** Розробити пристрій для моделювання контузії ока різного ступеню важкості у різних видів тварин.

**Матеріал і методи.** До пристрою додаються набори пружин, металевих об'єктів різної маси та форми. Контузія ока у тварин моделюється з застосуванням пружин, металевих об'єктів або бойка.

**Результати.** Розроблено пристрій з подвійним механізмом дії (металевим і ударним), що дозволяє моделювати контузію очного яблука різного ступеня тяжкості через відкриті повіки у кроликів та щурів.

**Висновок.** З застосуванням цього пристрою можливо моделювати стандартизовану контузійну травму різного ступеня важкості у тварин, що мають різний розмір ока (кролики, щури), проводити динамічний аналіз ударної дії, розрахувати нормалізовану за площею ударну дію.

## Experimental modeling of eye contusion of various severity in different animals

T. A. Krasnovid<sup>1</sup>, S. K. Aslanov<sup>2</sup>, N. P. Grubnyk<sup>1</sup>

<sup>1</sup>SI «The Filatov Institute of Eye Diseases and Tissue Therapy of NAMS of Ukraine»

<sup>2</sup>Odessa National University named after I. I. Mechnikov

**Key words:** modeling of eye contusion, device

**Introduction.** The severity of outcomes of eye contusion are of current interest, so it is very important to study structural changes and possibilities of their correction in experiments.

**Purpose.** To create the device for experimental modeling of eye contusion of various severity in different animals.

**Material and methods.** There is the device with kits of springs, missile projectiles with different mass and form. Eye contusion in animals is modeled by this device with springs, missile projectiles or peen.

**Results.** The device with missile and impact mechanisms is found. It allows to model eye contusion of various severity through open eyelids in rabbits and rats.

**Conclusion.** This device allows to model standart eye contusion of various severity in animals with different eye sizes (rabbits, rats), to perform dynamic analysis of impact action, to calculate area-normalized kinetic energy.

**Актуальность.** В современных условиях в структуре глазного травматизма наблюдается увеличение удельного веса и тяжести контузионных повреждений глазного яблока [1]. Актуальными являются исследования, направленные на изучение возникающих при этом изменений и возможности их коррекции [6–8, 13, 14]. Для моделирования контузии в эксперименте предложены устройства с различными механизмами воздействия [2–6]. Большинство существующих конструкций не позволяют рассчитать нормализованное по площади ударное воздействие, что является существенным в оценке степени тяжести контузии [2–6, 9–12]. В связи с этим оправданной является разработка устройства,

позволяющего моделировать контузии различной степени у разных видов животных.

**Цель.** Разработать устройство для моделирования контузии глаза различной степени тяжести у различных видов животных.

### Материал и методы

Предлагаемое устройство надежно жестко крепится на вертикальной металлической стойке массивного штатива в виде треноги (11). Высота положения прибора легко изменяется с помощью простого переноса винтового крепления (12) в достаточно широком диапазоне. К этому креплению

© Т. А. Красновид, С. К. Асланов, Н. П. Грубник, 2014

присоединяется выносной кронштейн (13) легко изменяющейся длины, к которому с помощью цапфы (14) прикрепляется сам прибор, выполняющий метательную или ударную функцию.

Устройство для нанесения контузии состоит из цилиндрического корпуса (1), внутри которого может перемещаться металлический шток (2), имеющий в срединной своей части круговое цилиндрическое утолщение (3). На заднюю секцию штока надевается пружина (4), которая своим задним концом упирается в заглушку (5), передним — в утолщение (3). В него винчен фиксатор сжатия пружины (6). Для его перемещения (вместе со штоком) в корпусе сделана продольная выточка (8) с поперечным вырезом (7) для упора винта фиксатора при сжатом состоянии пружины. Для выхода передней части штока при освобождении фиксатора спереди корпус имеет соответствующее отверстие с лункой для метаемых образцов. Внутри передней части штока находится гнездо (9) для винчивания ударной насадки (бойка) (10). Для работы с ударным бойком наращенная дополнительная часть штока будет выходить наружу при освобождении пружины.

К прибору прилагается набор пружин различной жесткости для реализации соответствующей кинетической энергии (скорости) выстреливаемого образца, что обеспечивает различную ударную силу при соприкосновении метаемых образцов с глазным яблоком. Для той же цели служит прилагаемый набор образцов метаемых снарядов различной массы (размера) и формы. Используются шарики различного размера из стали специального типа (от шарикоподшипников), а также цилиндрические образцы, которые мо-

гут винчиваться в шток в случаях использования ударного механизма прибора, либо могут использоваться отдельно при использовании метательного механизма прибора. В последнем случае для концентрации ударной энергии по глазу можно основной (массивный) метаемый цилиндр «нарастить» спереди вставкой меньшего диаметра, что обеспечит увеличение местного ударно-силового воздействия на глаз. Прилагаемые наборы метаемых образцов и метательных пружин могут быть дополнены образцами разного размера (массы) и пружинами разной жесткости. Масса и размер образцов определяются на аналитических весах и при помощи штангенциркуля соответственно.

Что же касается определения жесткости пружин, то эту процедуру следует упростить таким образом. Поскольку величина жесткости пружины определяет начальную скорость выстреливаемого образца (кинетическую энергию выстрела), то эту кинетическую энергию можно определить непосредственно, минуя определение жесткости пружины. С этой целью следует при помощи прибора произвести метание данного образца массы  $m$  строго вертикально вверх. Пусть образец был выброшен с начальной скоростью  $V_0$  из метательного ствола на высоте  $y=0$ , т. е. приобрел кинетическую энергию  $(mV_0^2/2)$ . Находясь под действием силы веса  $mg$  ( $g$  - ускорение силы тяжести), он обладает потенциальной энергией  $mgy$ . Применим закон сохранения энергии в любой точке его на высоту подъема  $y$ , где образец имеет скорость  $V$

$$mV^2/2 + mgy = \text{const}, \quad (1)$$

Определим константу в (1) из начального условия:  $y=0$ ,  $V=V_0$ ,  
т. е.

$$mV_0^2/2 = \text{const}, \quad (2)$$

или 
$$mV^2/2 + mgy = mV_0^2/2, \quad (3)$$

Сила веса, действуя на образец, замедляет его движение, в результате чего при  $y=H$  образец остановится, т. е.  $V=0$ . Отсюда  $mV_0^2/2 = mgH$ , т. е. начальная кинетическая энергия определяется через измеряемую высоту подъема образца  $H$ . Измеренная высота  $H$  будет несколько занижена из-за неучтенной силы сопротивления воздуха, которым можно пренебречь для сравнительно небольших скоростей и малого поперечного сечения образца.

При моделировании контузии в эксперименте дульный срез метательного устройства располагается вблизи от глаза животного. Это позволяет считать, что начальная кинетическая энергия  $mV_0^2/2$  метаемого снаряда целиком преобразовывается в ударную силу при соприкосновении с поверхностью глаза. Глаз животного и метаемый ствол находятся на одном горизонтальном уровне, т. е. замедляющее действие силы тяжести на метаемый образец практически исключается. Кроме того, цилиндрический образец в полете успеет отклонить свою ось от направления полета, так что ударное воздействие наряду с нормальной (перпендикулярно к поверхности глаза) составляющей приобретёт также и касательную (т. е. сдвиговое воздействие).

### Результаты и их обсуждение

Контузия осуществляется посредством ударного воздействия на глазное яблоко. В качестве энергии для выполнения этой работы используется упругая энергия, накопленная в сжатом состоянии пружины внутри предлагаемого ударного механизма.

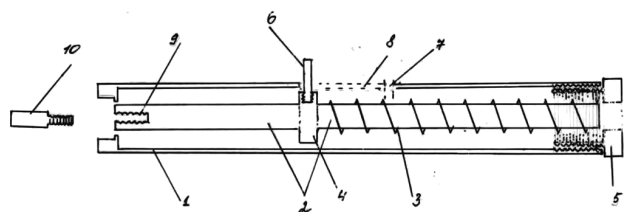
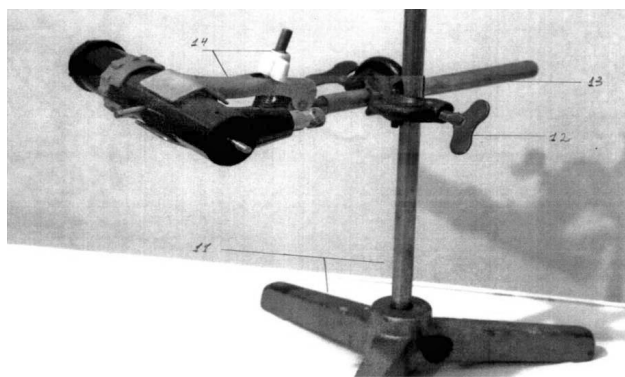


Схема ударно-метательного механизма в разрезе: 1. Корпус прибора (ствол); 2. Шток; 3. Спиральная пружина; 4. Упорный пояс для пружины; 5. Заглушка для упора заднего конца пружины; 6. Фиксатор сжатого состояния пружины; 7. Поперечная выточка корпуса для фиксатора; 8. Продольная выточка корпуса для перемещения фиксатора при зарядке сжатия пружины; 9. Гнездо для винчивания ударной насадки (бойка); 10. Ударная насадка (бойк)

Накопленная в сжатой пружине энергия передаётся на глаз двояким способом: бесконтактным путём воздействия метаемым металлическим образцом (снарядом) шаровидной или цилиндрической формы, а также контактным за счёт металлического штока, на который можно «нарастить» (ввинтить) дополнительный стержень с бойком.

Благодаря разным размерам (массам) метаемых образцов и разным сечениям «наращиваемых» на шток дополнительных стержней можно достичь разной степени ударного воздействия на глазное яблоко и различной рабочей площади непосредственной передачи энергии, т. е. нормализованного (удельного) ударного воздействия.

В работах, предлагающих конструкции приборов с целью создания модели контузии [5], фигурирует удар по глазу бойком, при котором имеется в виду упругая энергия пружины, в то время как контузия происходит в результате удара бойком. Это требует динамического анализа кинетической энергии, либо импульса (количества движения), то есть должна фигурировать ударяющая масса и ее скорость. В связи с этим дающиеся в этих работах оценки теряют смысл, так как в них динамическое (ударное) нагружение подменяется статическим. Ведь упругая энергия пружины никак не дает прямых сведений о скорости удара и ударяющей массе.

Что касается работ, связанных с метанием (или падением под действием силы веса) шариков, то высота падения шарика (груза) действительно определяет его конечную скорость, а масса задана. Это позволяет взять либо импульс ( $mV$ ), либо кинетическую энергию  $mV^2/2$ . Однако в этих случаях необходимо брать нормализованные характеристики, т. е. отнесенные к площади, по которой наносится удар.

Работой, которая может быть принята за образец количественного анализа моделирования контузии, является работа с применением метательных образцов (шариков), когда за меру воздействия, поражающего глаз, взята нормализованная кинетическая энергия [9–12].

Это означает, что за такую меру принимается  $(mV^2/2)/\Delta S = (F_{уд}/\Delta S)\Delta l = P_{уд}\Delta l$ , т. е. кинетическая энергия отнесена к площади  $\Delta S$ , по которой наносится удар. Здесь  $\Delta l$  — длина рабочего участка,  $P_{уд}$  — напряжение, возникающее на поверхности глазного яблока при ударе.

Это напряжение вызывает местную деформацию поверхности глазного яблока. Последнее будет распространяться на содержимое глазного яблока (стекловидное тело и внутренние оболочки глаза со скоростью звука, а именно  $\sim$  км/с, т. е. практически мгновенно). Это ударное напряжение находит либо слабое в смысле механической прочности место и приводит к травматическому эффекту, либо про-

исходит концентрация напряжения (например, по геометрическим причинам — в угловых областях), которая усугубит травматический эффект ударного (первичного) воздействия.

Меру исходного динамического (ударного) воздействия можно выбрать двояким образом. А именно, воспользоваться двумя фундаментальными теоремами механики: об изменении кинетической энергии или об изменении импульса (количества движения)  $mV$ . Поскольку ударный процесс завершается остановкой метаемого образца, или бойка (ударника), когда конечная скорость  $V=0$ , то указанные теоремы можно записать так

$$mV^2/2 = \int_0^{\Delta l} F dx = F_{уд} \Delta l, \quad (4)$$

если использовать теорему о среднем для интеграла, ибо никто не знает, как меняется сила  $F$  в процессе удара.

Или

$$mV = \int_0^{\tau} F dt = F_{уд} \tau \quad (5)$$

опять — таки по теореме о среднем, где  $\tau$  — промежуток осуществления удара по времени  $t$ .

Чтобы избежать необходимости определения продолжительности удара  $\tau$ , длины рабочего участка  $\Delta l$ , а также ударной силы  $F_{уд}$ , которые нереально надежно определить, имеет смысл принять за указанную меру ударного воздействия либо кинетическую энергию метаемого образца, либо его количество движения, предварительно нормализовав их по площади исходного ударного воздействия  $\Delta S$  (как правило, это круг радиуса  $r$ :  $\Delta S = \pi r^2$ .)

Таким образом, окончательно мера воздействия метаемым образцом (шариком, или цилиндром) имеет вид:

$$(mv^2/2) / \pi r^2 \text{ или } (mV) / \pi r^2 \quad (6)$$

соответственно для кинетической энергии и импульса.

В случае воздействия ударным бойком, который движется вместе с устройством, обеспечивая его разгон за счет освобождения сжатой пружины, следует учесть массу этого устройства. Обозначив совокупность бойка и этого устройства по массе  $M_{уд}$ , а скорость  $V_{уд}$ , получим меру указанного ударного воздействия после нормализации:

$$((M_{уд} V_{уд}^2)/2) / \Delta S = ((M_{уд} V_{уд}^2)/2) / \pi r^2$$

$$\text{или } (M_{уд} V_{уд}) / \Delta S = (M_{уд} V_{уд}) / \pi r^2 \quad (7)$$

где  $r$  — радиус бойка, а  $\Delta S$  — его площадь.

В эксперименте каждому значению указанных мер будет соответствовать определённая степень тяжести травматического поражения глаза. Таким образом удаётся избежать необходимости определения промежутка времени удара  $\tau$  (или длины рабочего участка  $\Delta l$  ударной силы  $F_{уд}$ ).

В случае применения метаемого образца его скорость  $V$  определяется следующим образом. Образец массы  $m$  выстреливается вертикально вверх и замеряется высота его подъема  $H$  (до полной остановки)  $V=0$ . Тогда по закону сохранения энергии

$$mv^2/2 = mgH$$

(где  $g$  — ускорение силы тяжести), т. е.  $V = \sqrt{2gH}$

В случае воздействия на глаз ударником (бойком) используют некоторый контрольный груз массы  $m_k$ , который непосредственно выстреливается совокупностью масс ударника совместно с разгонным (пружинным) устройством с массой  $m_{уд}$  вертикально вверх и останавливается ( $V_{уд} = 0$ ) на высоте  $h_k$ . Опять таки закон сохранения энергии даст

$$m_k V_k^2 / 2 = m_k g h_k,$$

откуда  $V_k = \sqrt{2gh_k}$  определяется через измеряемую высоту вертикального подъема груза  $m_k$ .

Далее, используя закон сохранения количества движения (импульса) для системы масс — контрольного груза  $m_k$  и суммарной массы ударника вместе с разгонным (пружинным) устройством  $M_{уд}$ , получим

$$m_k V_k = M_{уд} V_{уд},$$

т. е. импульс ударного устройства передается подбрасываемому грузу  $m_k$ .

Отсюда определяется неизвестная скорость ударника (совпадающая со скоростью всего устройства)  $V_{уд}$

$$V_{уд} = (m_k / m_{уд}) V_k$$

### Литература

1. **Анина Е. И.** Повреждения органа зрения у населения Украины / Е. И. Анина, Т. А. Красновид, К. В. Мартопляс // Праці Х з ізду офтальмологів України. — Одеса, 2002. — С.231.
2. **Беляева Л. А.** Травматическая дислокация хрусталика (особенности клиники и хирургического лечения): автореф. дис. на соискание ученой степени канд. мед. наук: спец. 14.00.08 «Глазные болезни» / Л. А. Беляева — Одесса. — 1991. — С.30.
3. **Гундорова Р. А.** Проникающие ранения и контузии глаза / Р. А. Гундорова, Г. А. Петропавловская. — Москва, 1975. — С.222.
4. **Орлов-Курилов С. В.** Особенности клиники, диагностики и лечения контузионной патологии периферии глазного дна: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. мед. наук, спец 14.00.08 «Глазные болезни» / С. В. Орлов-Курилов. — Одесса, 1998. — 30 с.
5. **Родина Ю. Н.** Оптимизация лечения больных с контузией глаза путем медикаментозной стабилизации лизосом и коррекции нарушения иммунореактивности организма: автореф. дис.... канд. мед. наук: спец. 14.00.08 «Глазные болезни» / Ю. Н. Родина. — Одесса, 2007. — 30 с.
6. **Сулеева Б. О.** Реконструктивная микрохирургия контузий глаза: автореф. дис. на соискание ученой степени докт. мед. наук: спец. 14.00.08 «Глазные болезни» / Б. О. Сулеева. — Алма-Аты, 1994. — 46 с.
7. **Blight R.** Structural changes in the outer retinal layers following blunt mechanical non-perforating trauma to the globe: an experimental study / R. Blight, JCD Hart // Br J Ophthalmol. — 1977. — Vol. 61. — P. 573–87.
8. **Delori F.** Deformation of the globe under high-speed impact: its relation to contusion injuries / F. Delori, O. Pomerantzeff, M. S. Cox // Invest Ophthalmol Visual Sci. — 1969. — Vol.8. — P. 290–301.
9. **Kennedy E. A.** Evaluating eye injury risk of Airsoft pellet guns by parametric risk functions / E. A. Kennedy, T. P. Ng, S. M. Duma // Biomed Sci Instrum. — 2006. — Vol.42. — P. 7–12.
10. **Kennedy E. A.** Risk functions for human and porcine eye rupture based on projectile characteristics of blunt objects / E. A. Kennedy et al. / Stapp Car Crash J. — 2006. — Vol. Nov (50). — P. 651–71.
11. **Kennedy E.** The effects of the extraocular muscles on eye impact force-deflection and globe rupture response /

Подставляя последнее в 7, будем окончательно иметь меры ударного воздействия ударником (бойком) в разной форме

$$((m_k V_k^2 / 2)(m_k / m_{уд})) / \Delta S = ((m_k V_k^2 / 2)(m_k / m_{уд})) / \pi r^2$$

$$\text{или} \quad m_k V_k / \Delta S = m_k V_k / \pi r^2 \quad (8)$$

### Заключение

Преимуществами предлагаемого устройства являются:

1. Двойной механизм (метательный и ударный) действия, а также возможность производить смену пружин и метаемых образцов, что позволяет наносить глазу контузионную травму разной степени тяжести.

2. Возможность замены метаемых либо «наращивания» дополнительных образцов разных диаметров позволяет использовать прибор для нанесения контузии различным видам животных, имеющих различные по размеру глазные яблоки (кролики, крысы).

4. Применение данного устройства позволяет проводить динамический, а не статический анализ ударного воздействия на глазное яблоко, а также рассчитать нормализованное по площади ударное воздействие (ударную силу по площади).

5. Данное устройство позволяет в эксперименте наносить удар по открытому глазу, четко контролировать его направление (перпендикулярно по центру роговицы, лимбу, склеры, либо по касательной), стандартизируя контузионную травму глаза.

- E. Kennedy, S. Duma // J Biomech. — 2008. — Dec 5, Vol. 41(16). — P. 3297–302.
12. **Weaver A. A.** Evaluation of different projectiles in matched experimental eye impact simulations / A. A. Weaver et al. // J Biomech Eng. — 2011. — Mar 133(3). — P.31.
13. **Weidenthal D. T.** Peripheral fundus changes associated with ocular contusion / D. T. Weidenthal, C. L. Schepens // Am J Ophthalmol. — 1966. — Vol. 62. — P.465–77.
14. **Weidenthal D. T.** Experimental ocular contusion / **Weidenthal D. T.** // Arch Ophthalmol. — 1964. — Vol. 71. — P. 77–81.

*Посмунула 27.11.2013*

### References

1. **Anina YeI, Krasnovid TA, Martoplyas KV.** Eye lesions in the population of Ukraine. Proceedings of X Congress of Ophthalmologists of Ukraine. Odessa. 2002. 231 p.
2. **Belyayeva LA.** Traumatic dislocation of the lens (Peculiarities of clinical and surgical treatment): author's thesis for Candidate of Medical Sciences. Odessa. 1991. 30 p.
3. **Gundorova RA, Petropavlovskaya GA.** Penetrating injuries and contusions of the eye. Moscow; 1975. 222 p.
4. **Orlov-Kurilov SV, Орлов-Курилов С. В.** Peculiarities of clinic, diagnosis and treatment of contusion pathology of peripheral fundus: author's abstract for Candidate of Medical Sciences: spec. 14.00.08 «Eye Diseases». Odessa; 1998. 30 p.
5. **Rodina YuN.** Optimization of treatment of patients with eye contusion by medical stabilization of lysosome and correction of organism immunoreactivity disorders: author's thesis for Candidate of Medical Sciences: spec.14.00.08 «Eye Diseases». Odessa; 2007. 30 p.
6. **Suleeva BO, Сулеева Б. О.** Reconstructive microsurgery of eye contusions: author's thesis for Doctor of Medical Sciences: spec.14.00.08 «Eye Diseases». — Alma-Aty; 1994. 46 p.
7. **Blight R.** Structural changes in the outer retinal layers following blunt mechanical non-perforating trauma to the globe: an experimental study. Br J Ophthalmol. 1977;61:573–87.
8. **Delori F, Pomerantzeff O, Cox MS.** Deformation of the globe under high-speed impact: its relation to contusion injuries. Invest Ophthalmol Visual Sci. 1969;8: 290–301.
9. **Kennedy EA, Ng TP, Duma SM.** Evaluating eye injury risk of Airsoft pellet guns by parametric risk functions. Biomed Sci Instrum. 2006;42:7–12.
10. **Kennedy EA** et al. Risk functions for human and porcine eye rupture based on projectile characteristics of blunt objects. Stapp Car Crash J. 2006;Nov (50):651–71.
11. **Kennedy E, Duma S.** The effects of the extraocular muscles on eye impact force-deflection and globe rupture response. J Biomech. 2008; 41(16):3297–302.
12. **Weaver AA** et al. Evaluation of different projectiles in matched experimental eye impact simulations. J Biomech Eng. 2011;133(3):31.
13. **Weidenthal DT, Schepens CL.** Peripheral fundus changes associated with ocular contusion. Am J Ophthalmol. 1966;62:465–77.
14. **Weidenthal DT.** Experimental ocular contusion. Arch Ophthalmol. 1964;71:77–81.

*Received 27.11.2013*