



# От генов к организмам - эволюция морфологических признаков...

Юлия Александровна Краус,  
внс кафедры биологической эволюции

**ГЕН**

**ОНТОГЕНЕЗ**

**ПРИЗНАК**



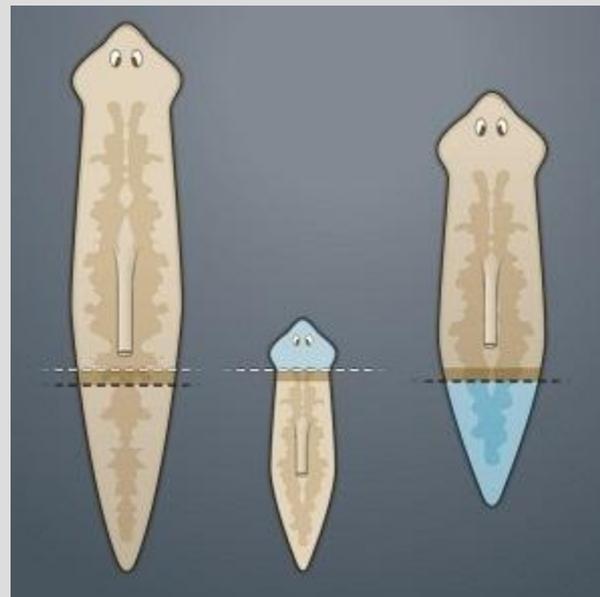
## Ученые обнаружили ген, делающий людей пессимистами

14.10.2013 07:59 / [Наука](#) / Прочли: 615 человек

Поделиться

Научные сотрудники университета Британской Колумбии впервые провели исследование, которое показывает связь между восприятием мира и генами. Ученым удалось выделить ген, который предрасполагает к мрачному восприятию мира, делает человека

## Найден ген регенерации



## Найден ген регенерации

11:53 17.05.2011

Учёные из Северо-Западного университета ([Northwestern University](#)), США, и Массачусетского технологического института (Massachusetts Institute of Technology, MIT) открыли ген, позволяющий плоским червям планариям (лат. Planariidae) отрастить вместо утраченной части тела – головы или хвоста – нужную новую на замену. Статья по результатам их исследования вышла в журнале Science. Планарии – маленькие черви размером от 2 мм до 2 см и весьма сложным строением тела, насчитывающего порядка миллиона клеток – известны тем, что могут вновь восстановить своё тело даже из самого маленького кусочка.

~~1 ГЕН = 1 ПРИЗНАК~~

# Жизненный цикл - Онтогенез



СЛОЖНЫЙ  
ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ

frog

pond

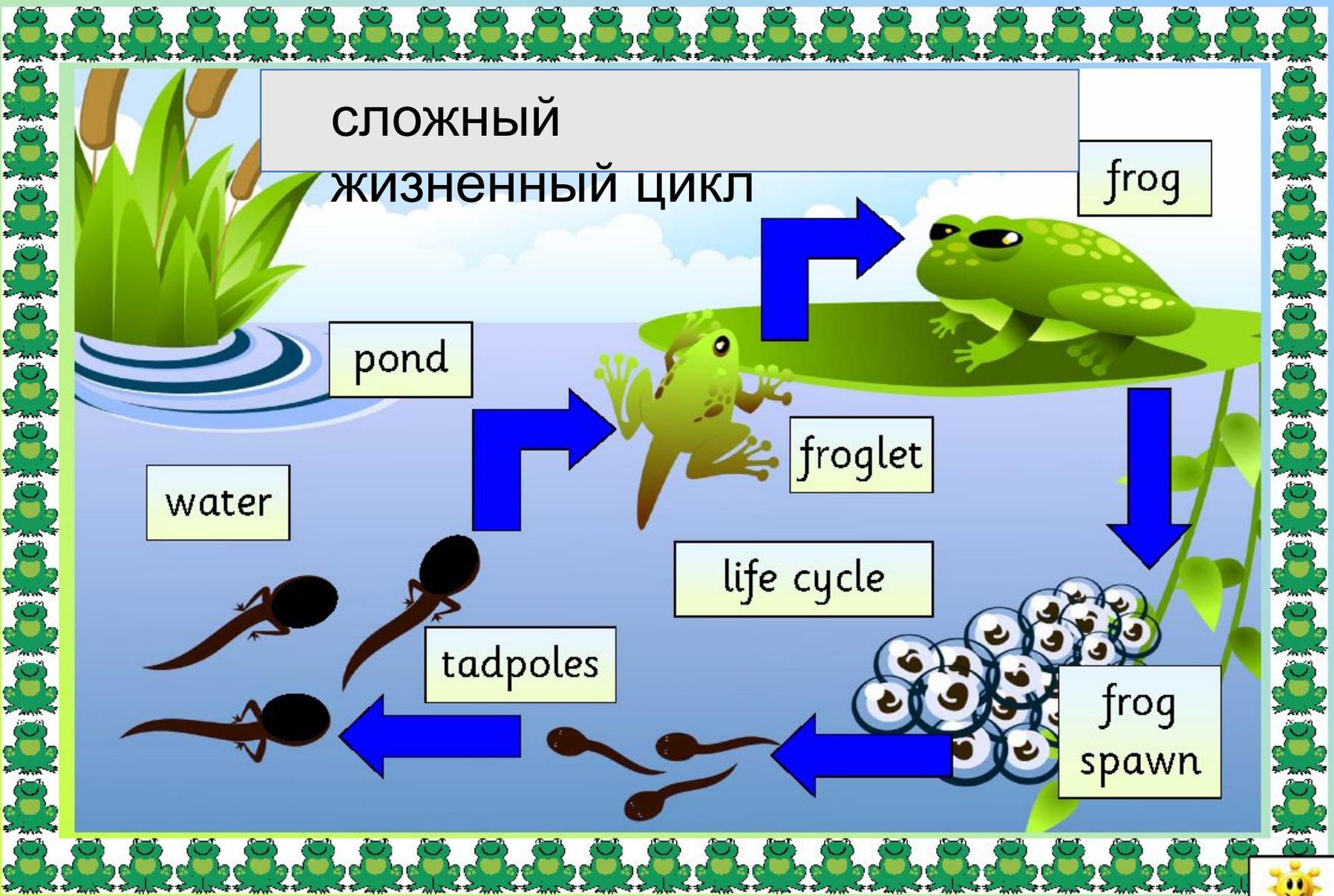
water

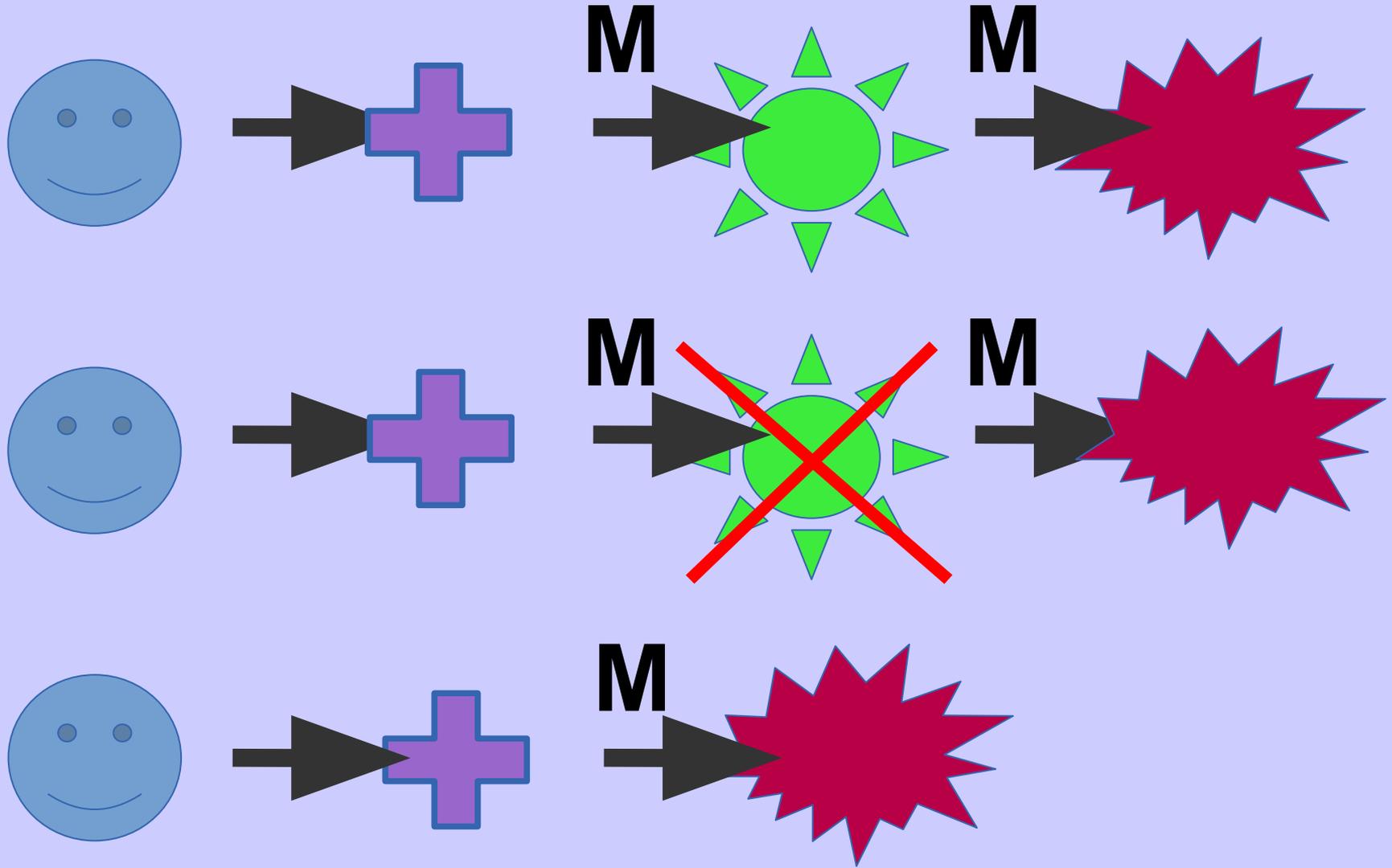
froglet

life cycle

tadpoles

frog  
spawn

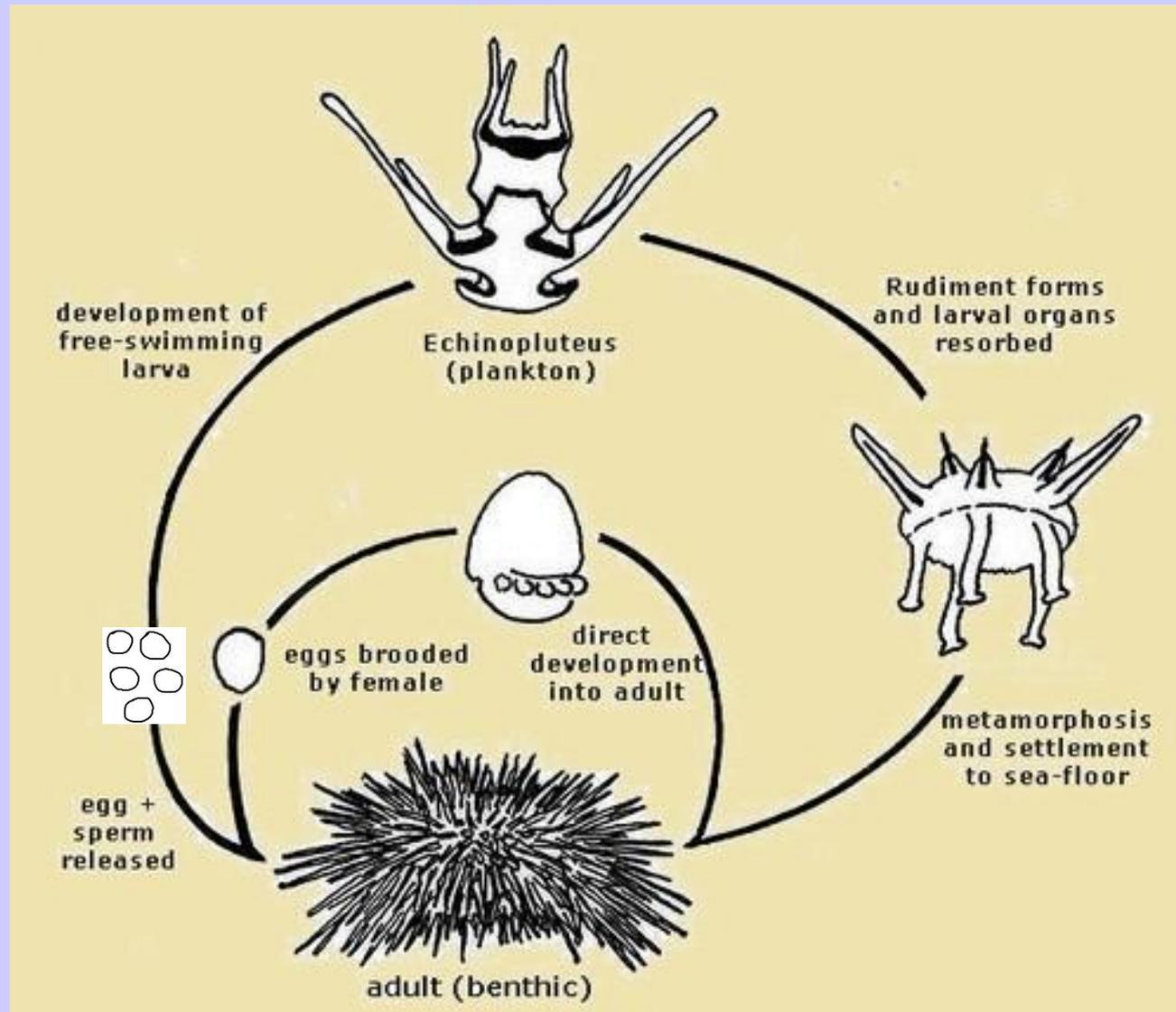




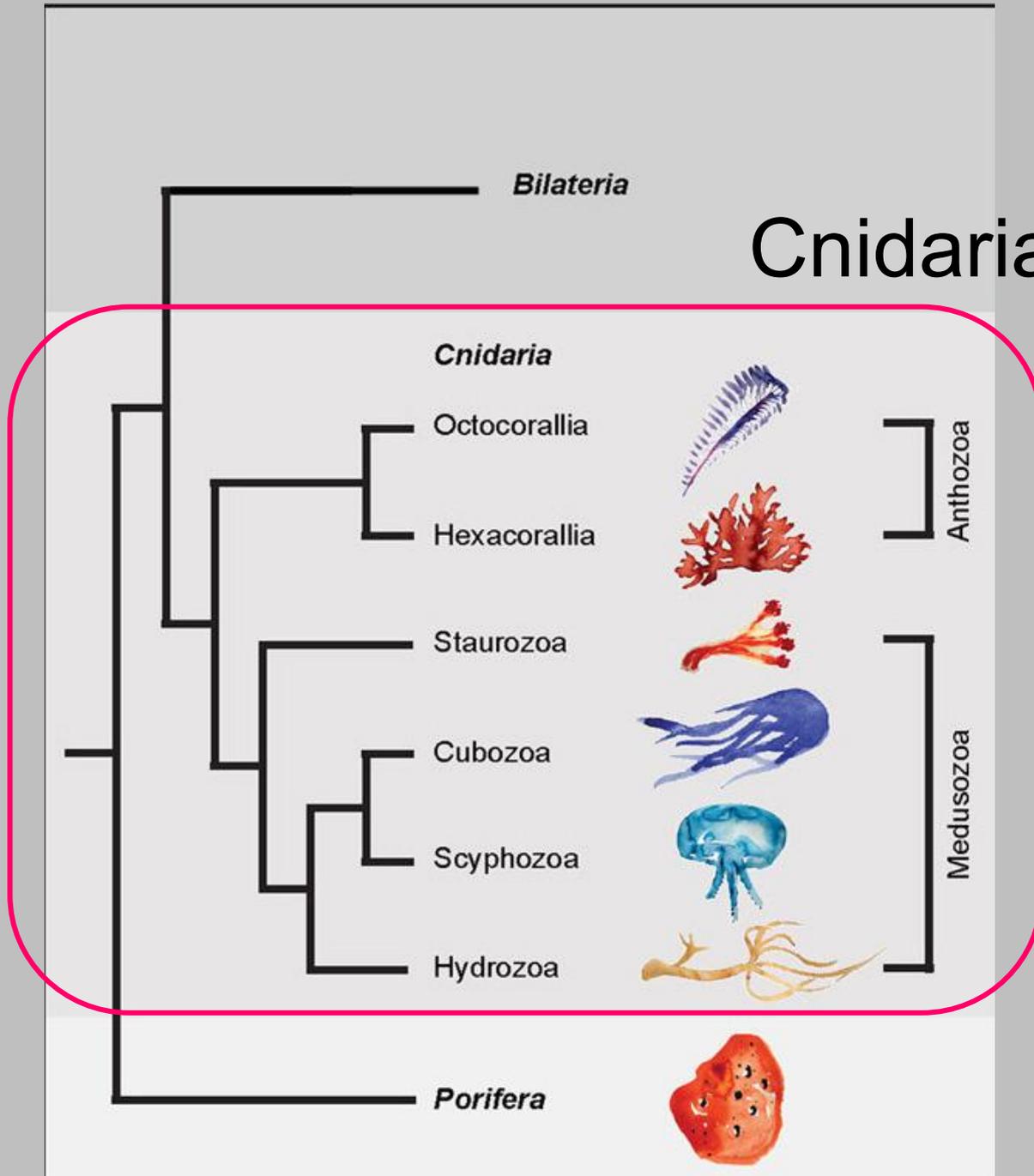
# Можно ли изменить жизненный цикл?



M



# Cnidaria



# Medusozoa

Antho



Staurozoa



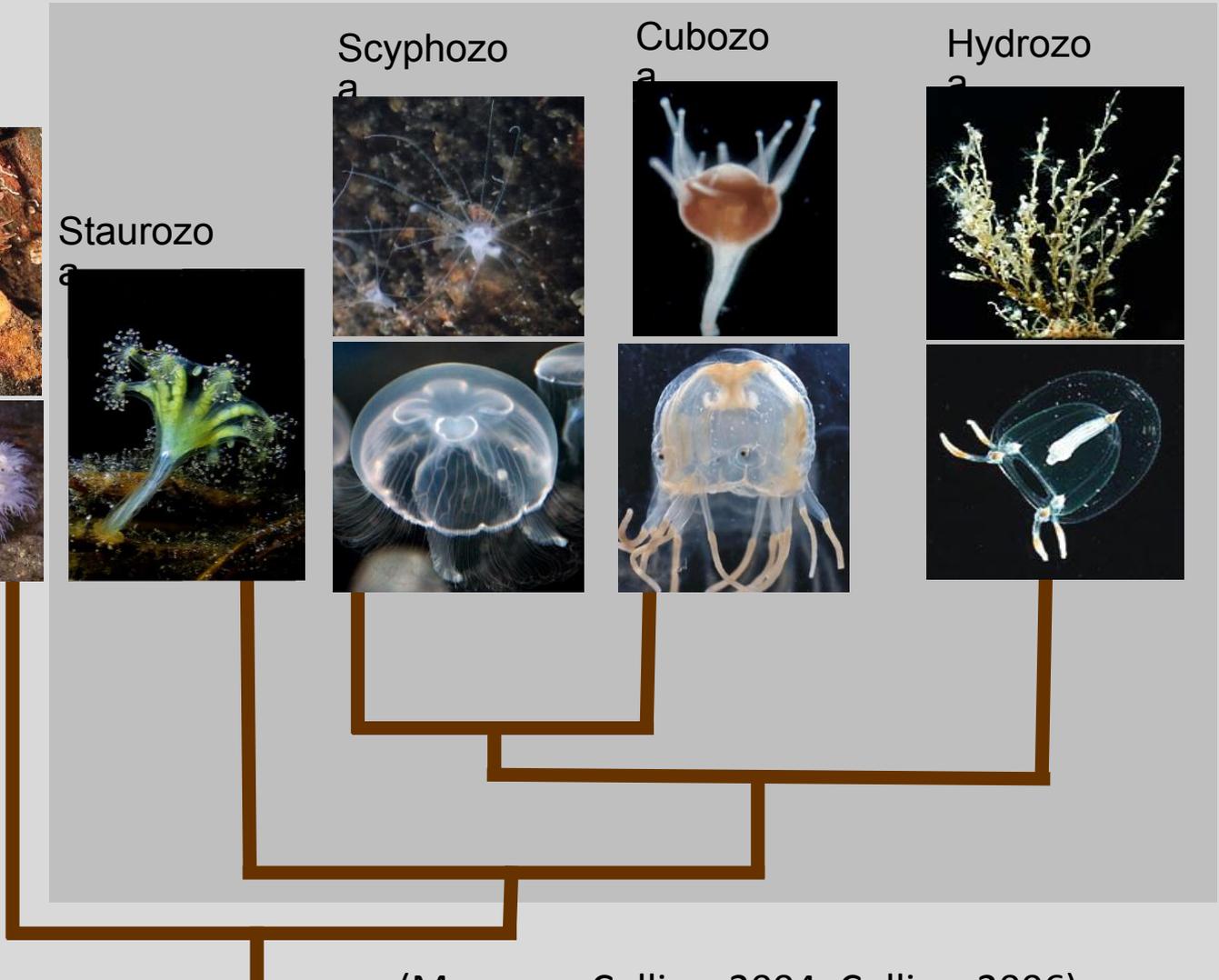
Scyphozoa



Cubozoa

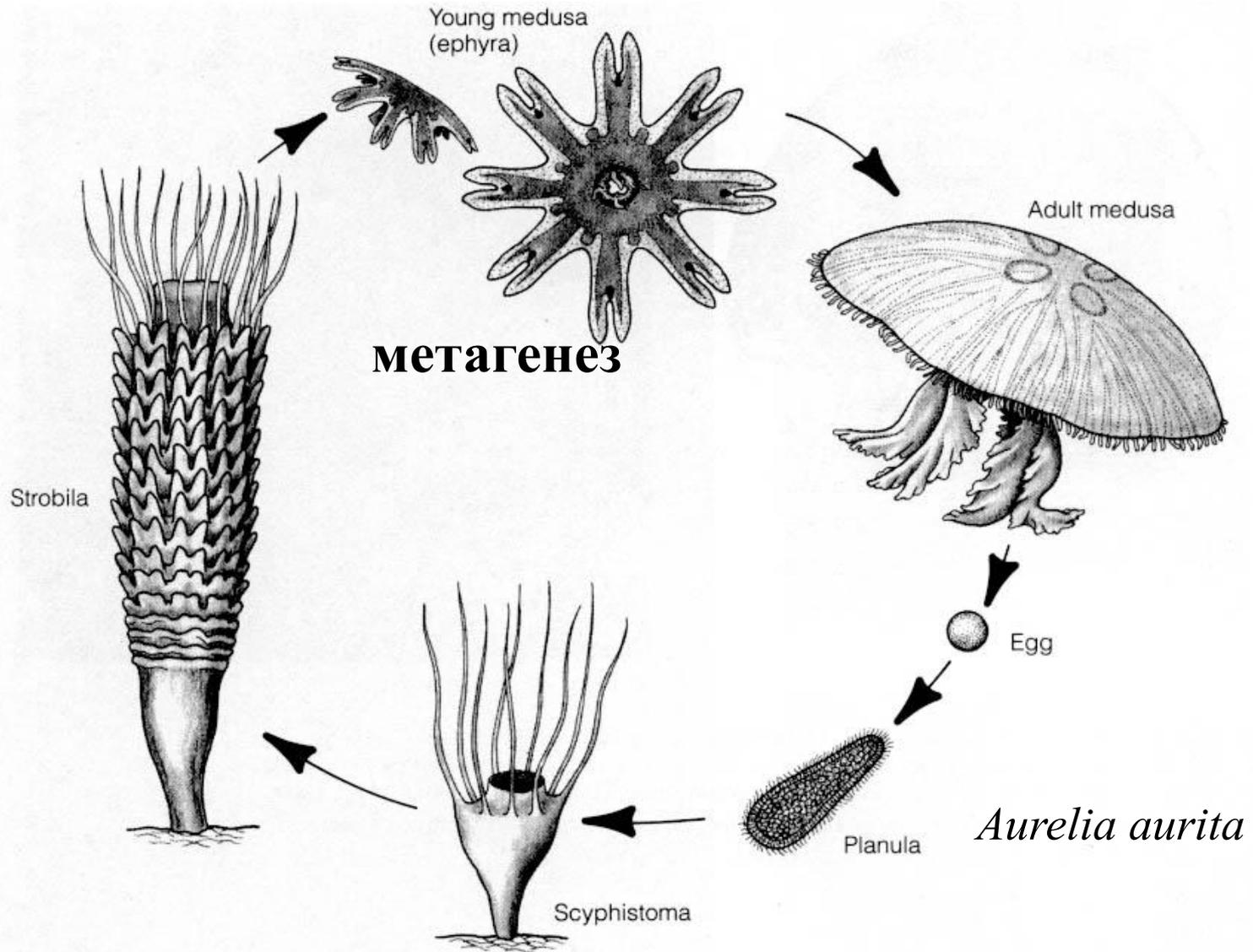


Hydrozoa



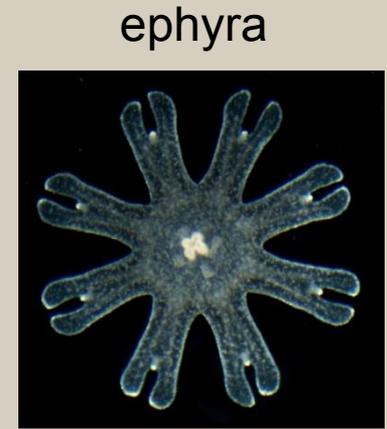
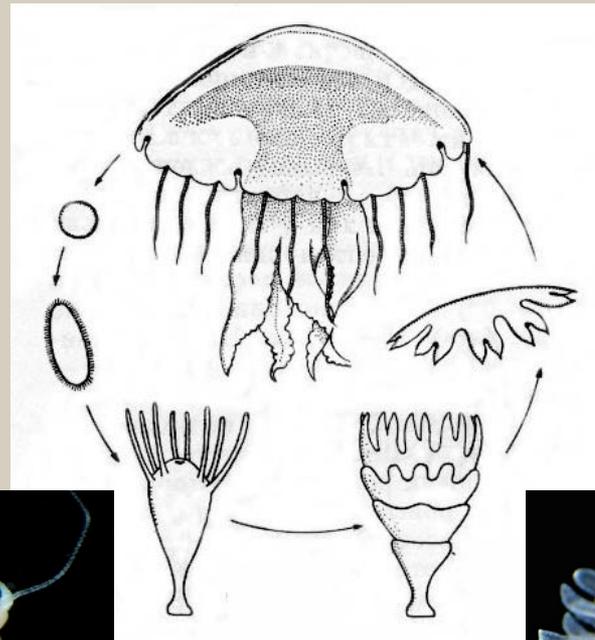
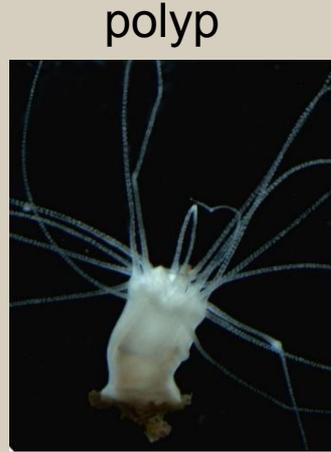
(Marques, Collins, 2004; Collins, 2006)

# Cnidaria, Scyphozoa



# Типичный жизненный цикл сцифоидной медузы

У сцифи́дов полип преобразуется в стопку дисков, из которых развиваются личинки - эфиры. Эфиры отсоединяются, растут, и из них развиваются половозрелые медузы.



*Aurelia aurita*



by Alexandr Semyonov

polyp

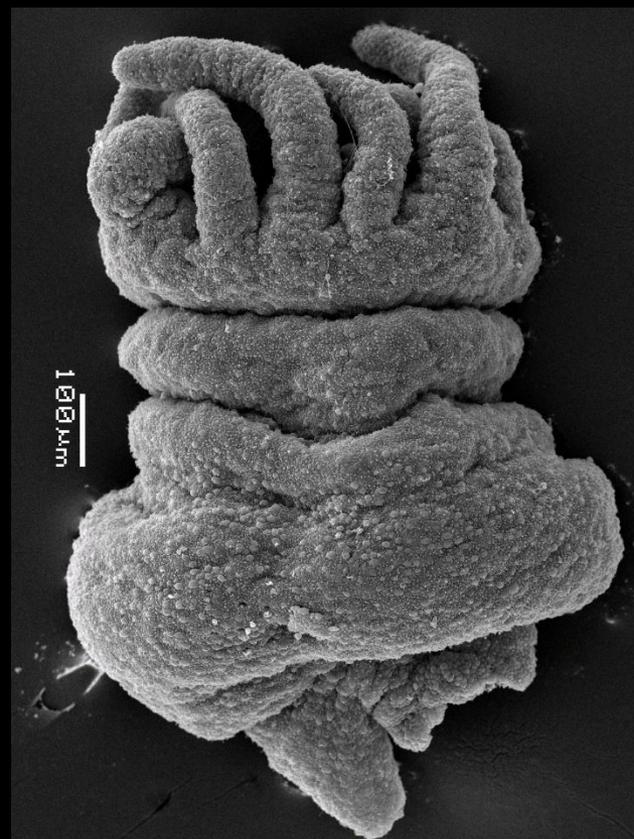


## Стробиляция *Aurelia*

strobilation



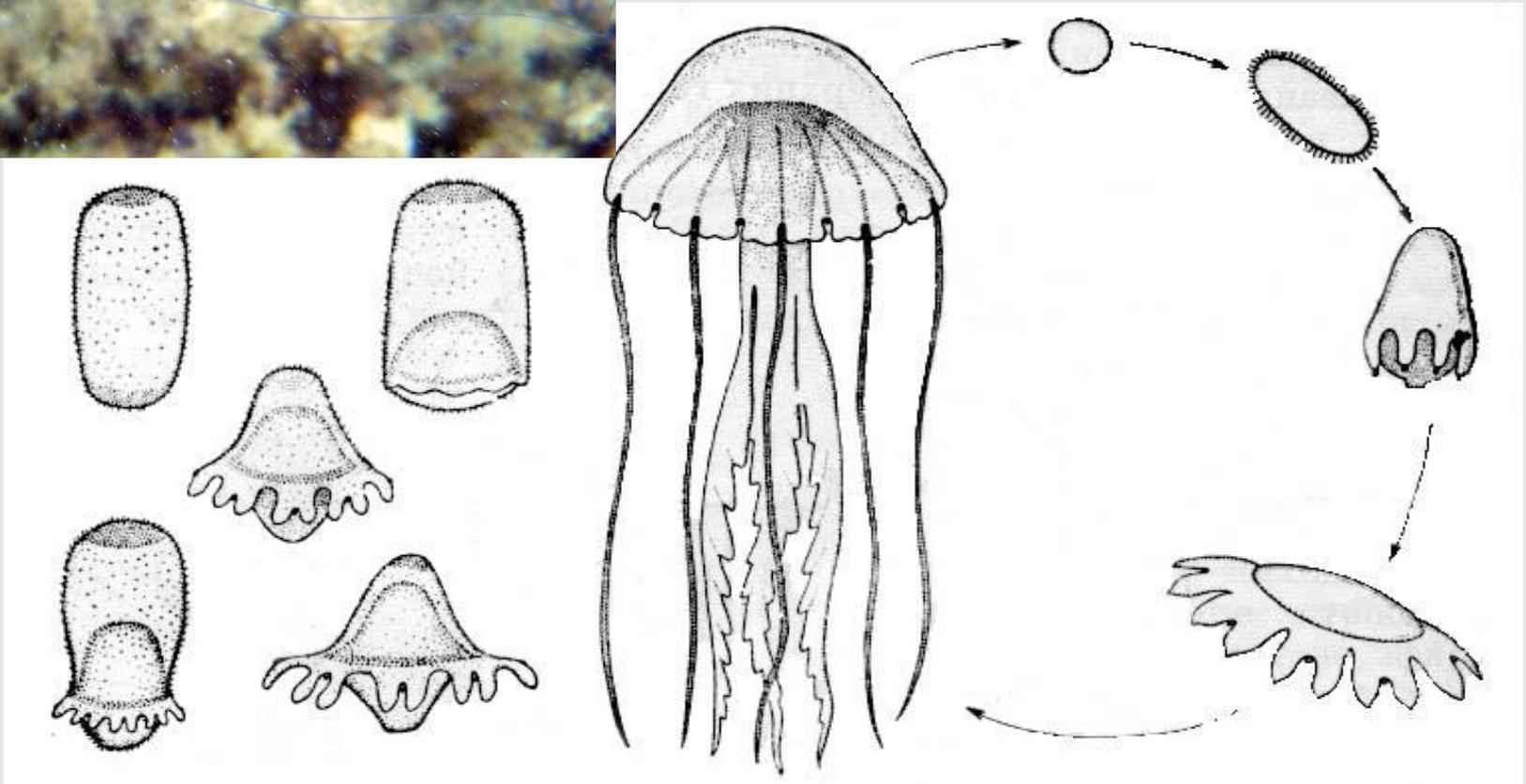
beginning of strobilation





# Scyphozoa

*Pelagia noctiluca*

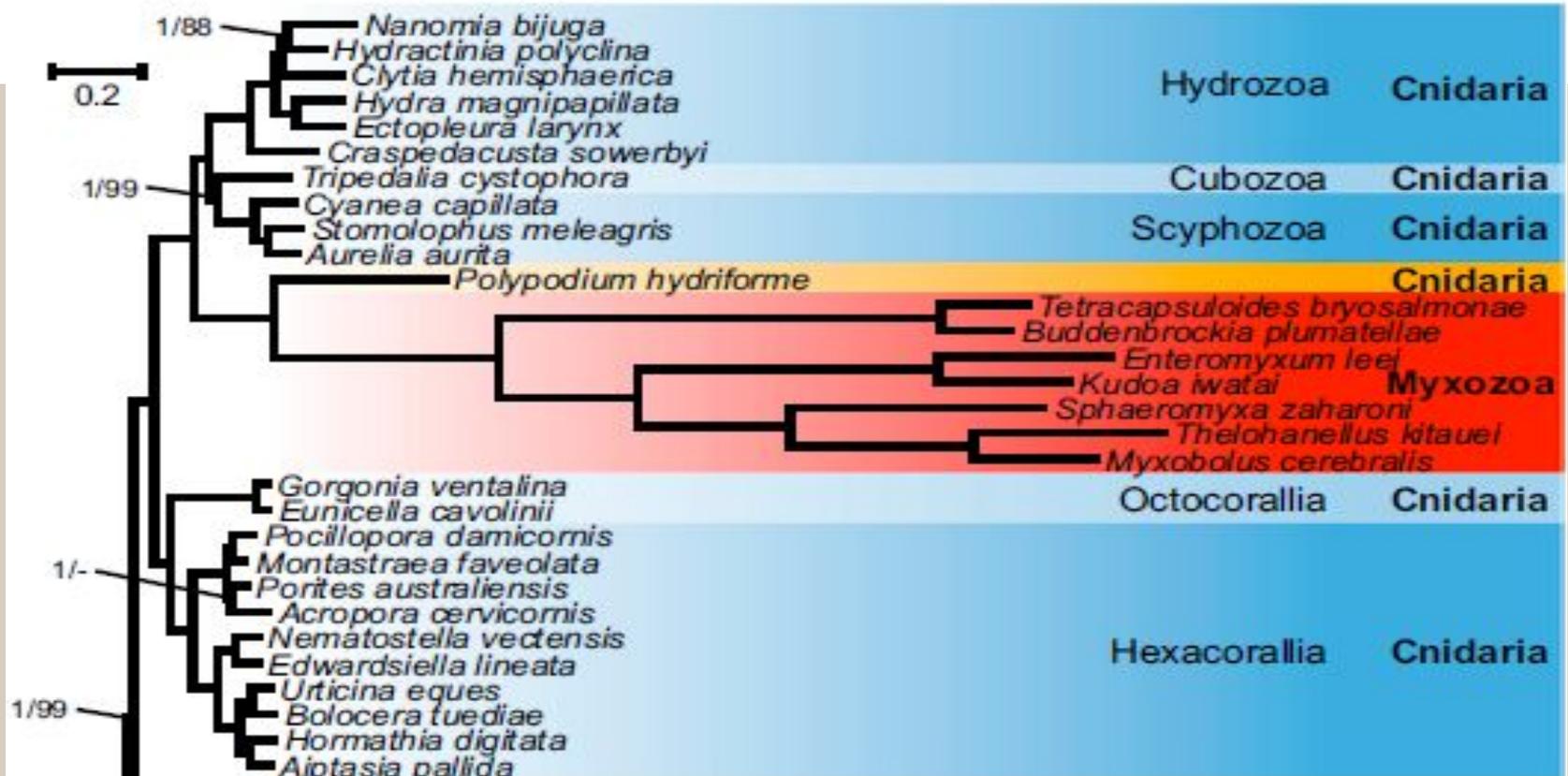


Насколько сильно может измениться фенотип организма в ходе эволюции жизненного цикла?

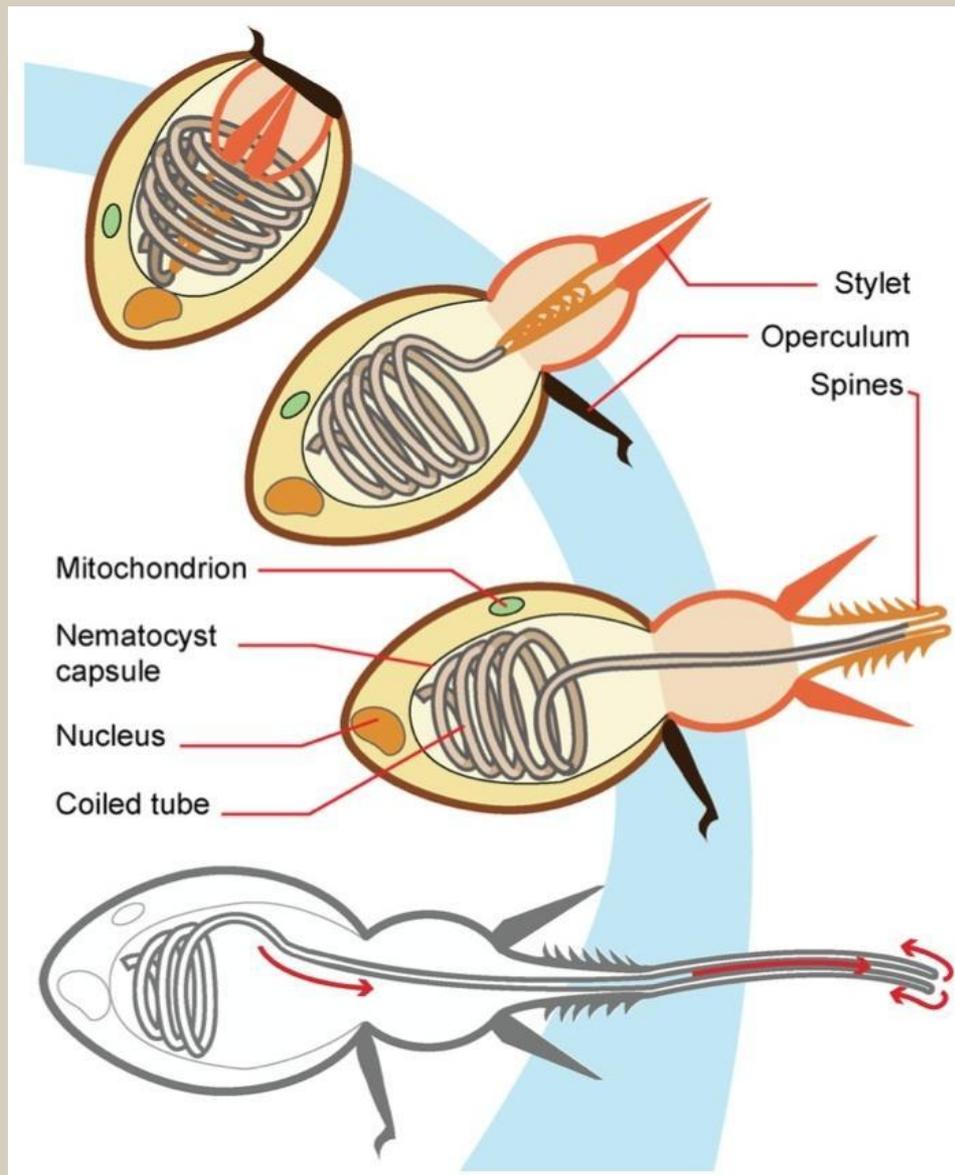
# Genomic insights into the evolutionary origin of Myxozoa within Cnidaria

E. Sally Chang<sup>a</sup>, Moran Neuhof<sup>b,c</sup>, Nimrod D. Rubinstein<sup>d</sup>, Arik Diamant<sup>e</sup>, Hervé Philippe<sup>f,g</sup>, Dorothée Huchon<sup>b,1</sup>, and Paulyn Cartwright<sup>a,1</sup>

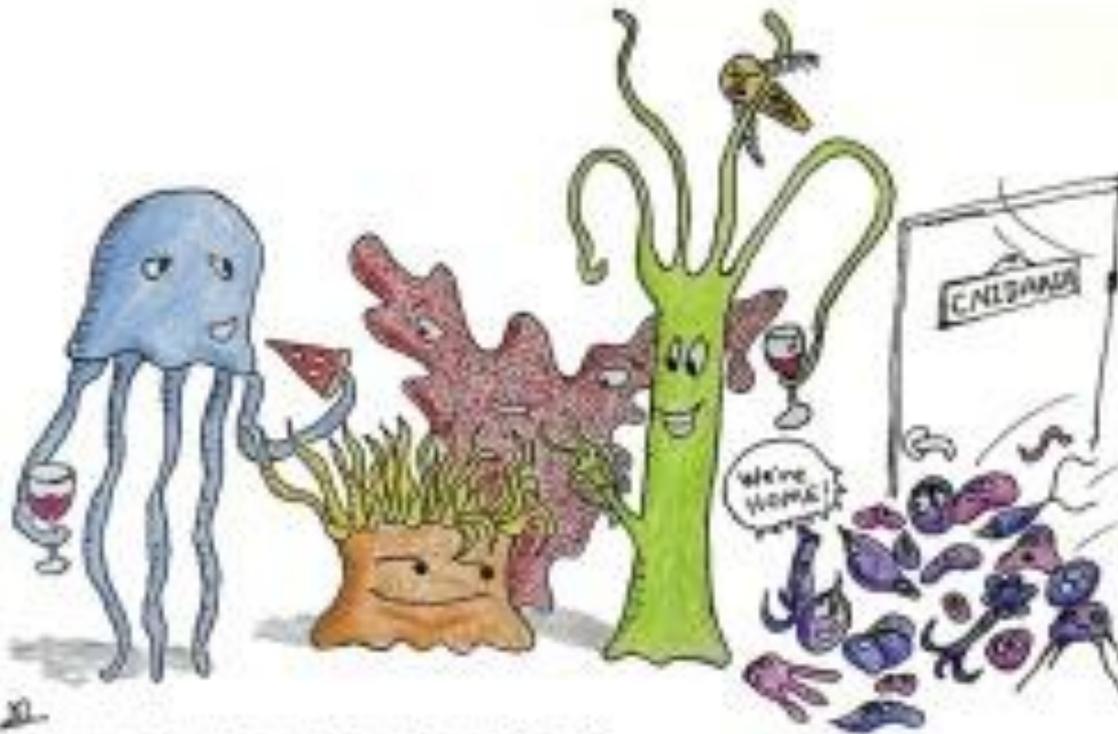
<sup>a</sup>Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Kansas, Lawrence, KS 66045; <sup>b</sup>Department of Zoology, George S. Wise Faculty of Life Sciences, Tel-Aviv University, Tel-Aviv 6997801, Israel; <sup>c</sup>Department of Neurobiology, George S. Wise Faculty of Life Sciences, Tel-Aviv University, Tel-Aviv



# Стрекательные клетки Cnidaria - книдоциты

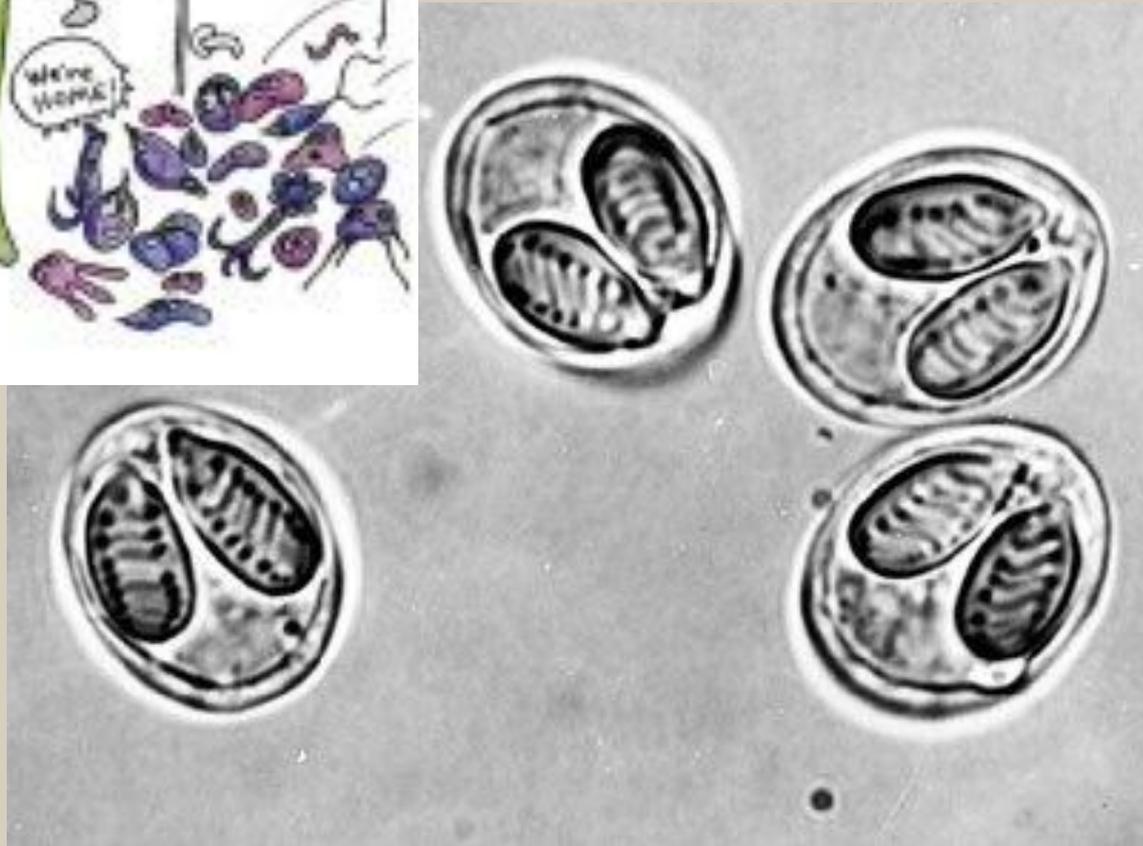


Welcome home Myxozoa



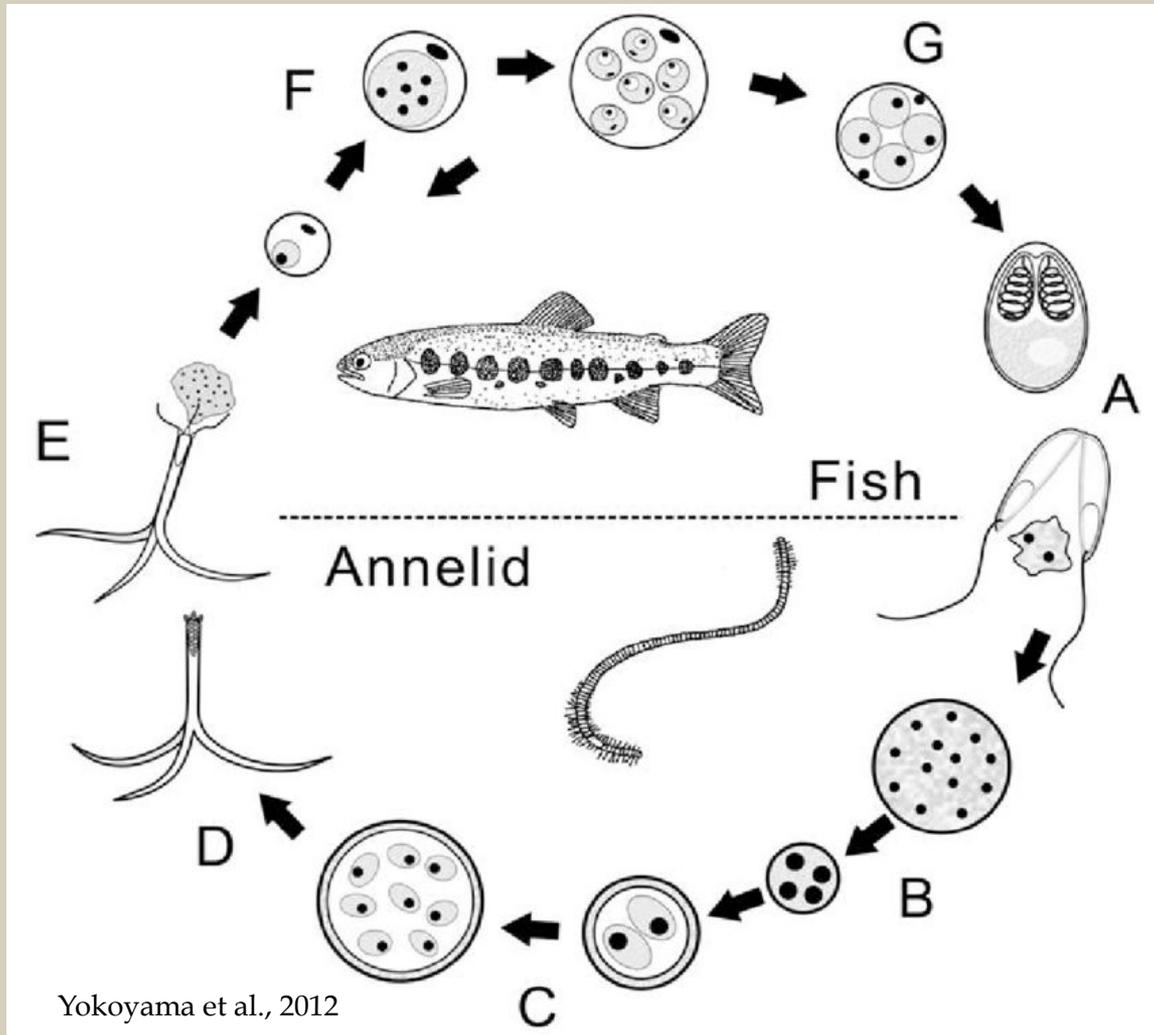
Drawn by: Jonathan Ben-David

Myxozoa

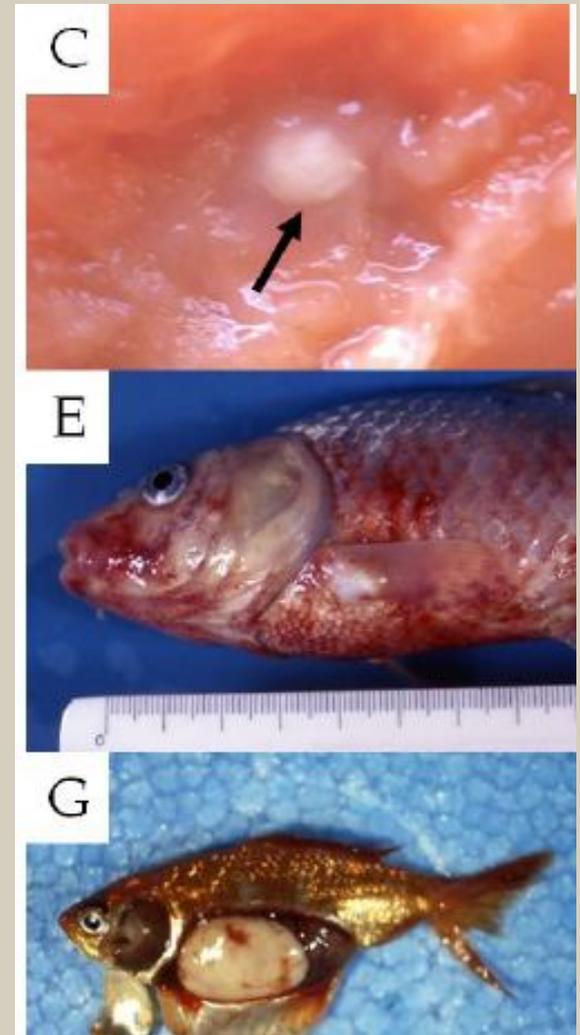


**Облигатный паразит** - паразитический организм, который не может завершить свой жизненный цикл без использования организма - хозяина. Если хозяин недоступен, паразит не может размножаться. Для облигатных паразитов характерно огромное разнообразие жизненных циклов и очень своеобразное строение.

# Схема жизненного цикла одного из представителей Мухозоа, паразитирующего на рыбах и кольчатых червях.

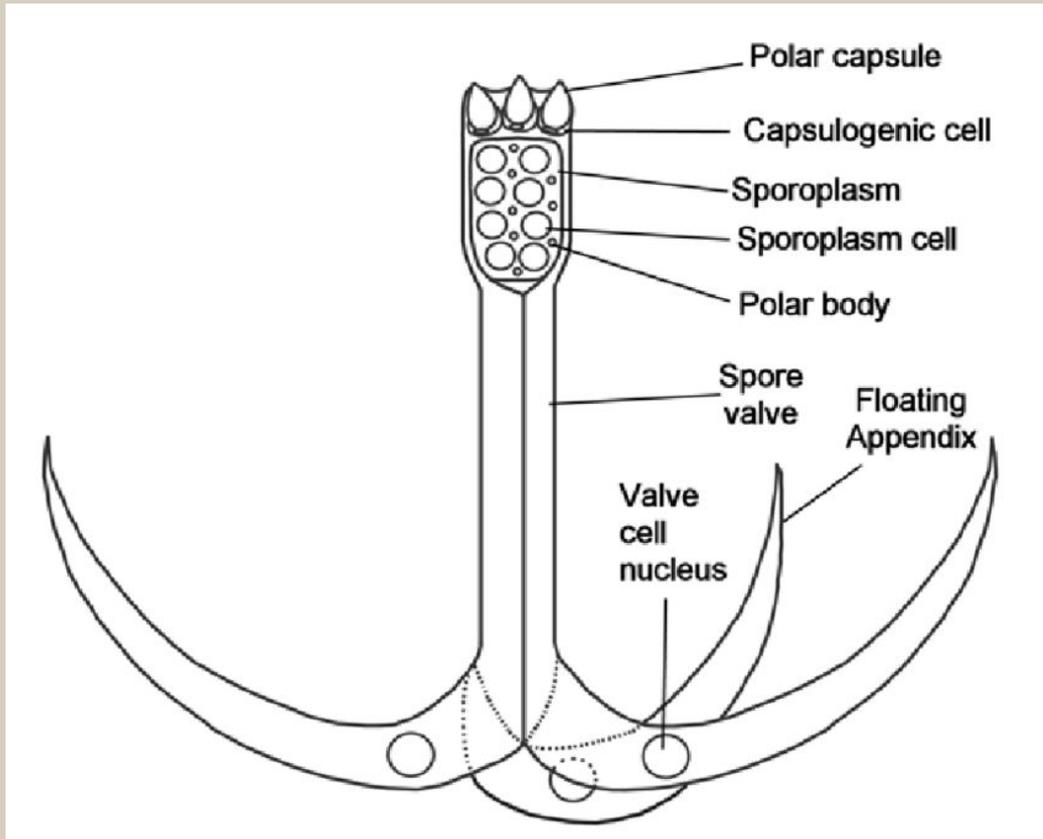


Yokoyama et al., 2012

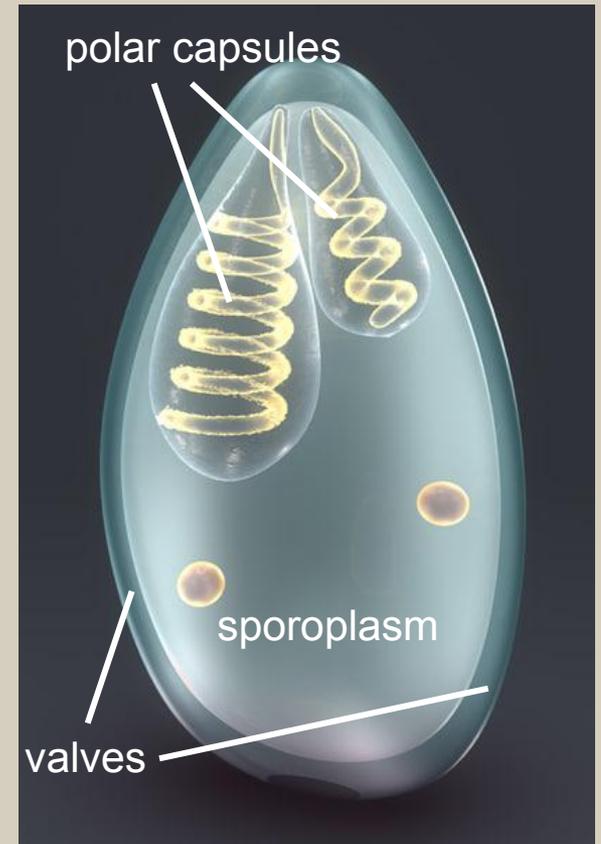


# Две стадии жизненного цикла Мухозоа

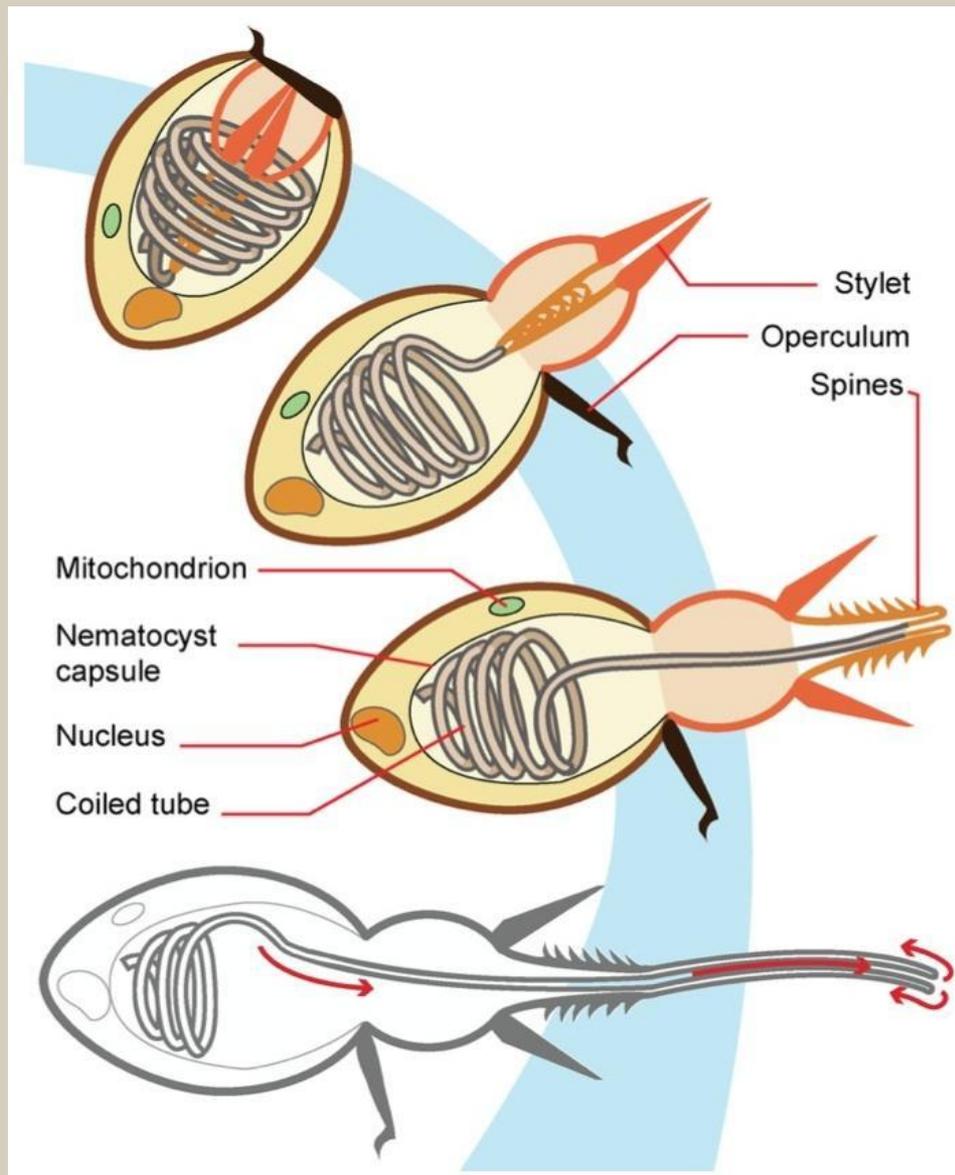
актиноспора



микроспора



# Стрекательные клетки Cnidaria - книдоциты



Разнообразиие фенотипов можно обнаружить и на одной и той же стадии жизненного цикла.

omnivore  
morph

carnivore  
morph



feed on the pond  
bottom  
on detritus

feed in the water  
column  
on fairy shrimps

**These two tadpoles are same-aged full siblings.**

(<http://sites.sinauer.com/ecology3e/problem12.html>)



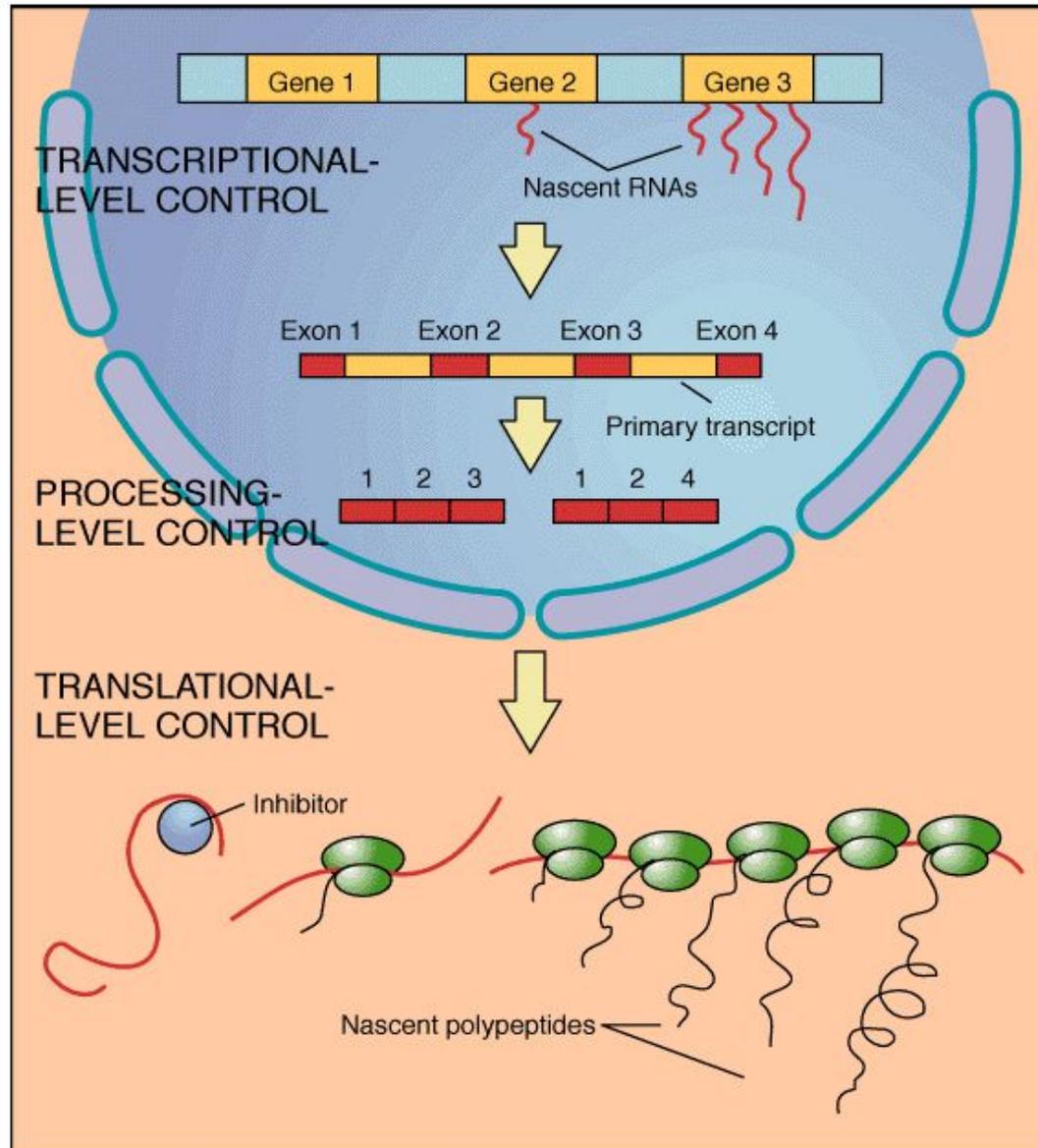
New Mexico spadefoot toad (*Spea multiplicata*).



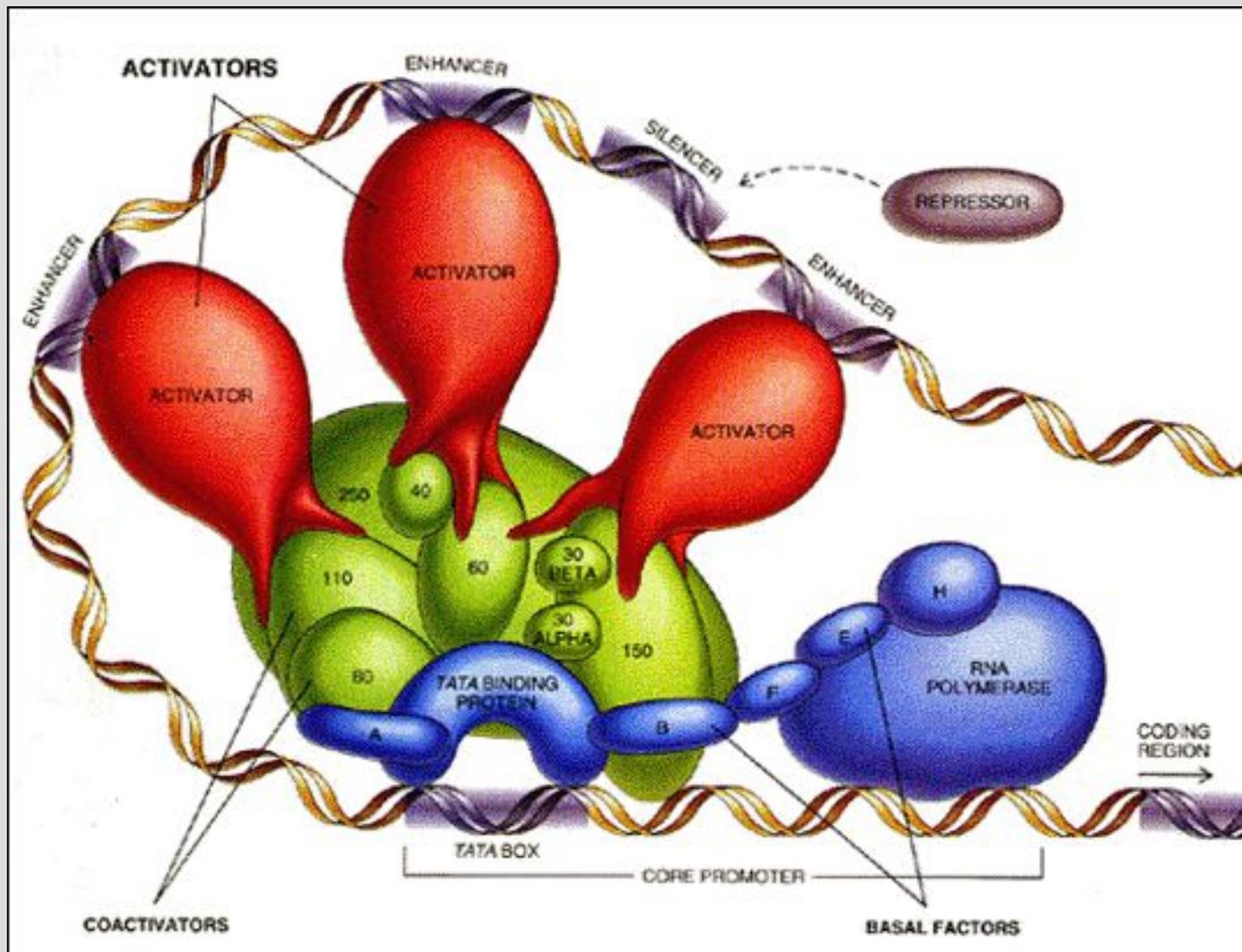
Plains spadefoot toad (*Spea bombifrons*).

Как же такие разные фенотипы могут  
формироваться на основе одного и  
того же генотипа ?

# ГЕН -- БЕЛОК



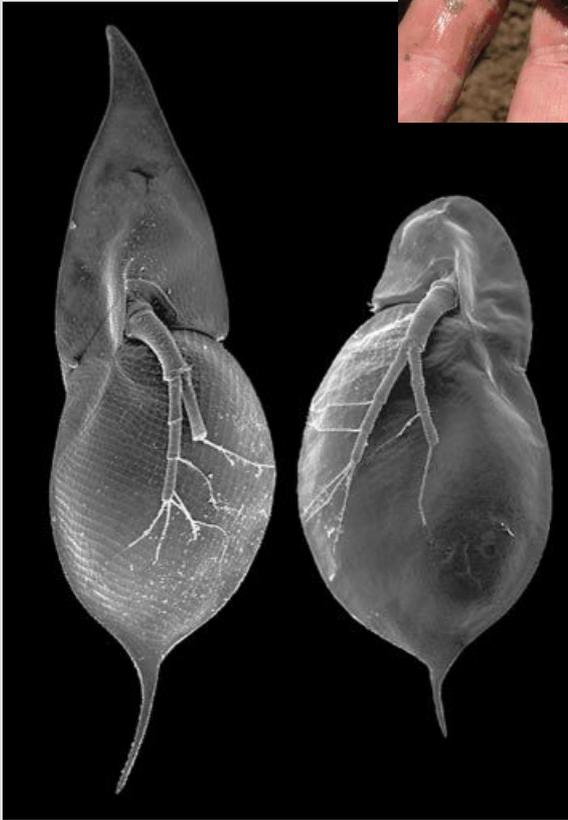
# РЕГУЛЯЦИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОМА



*Triops* (Notostraca)

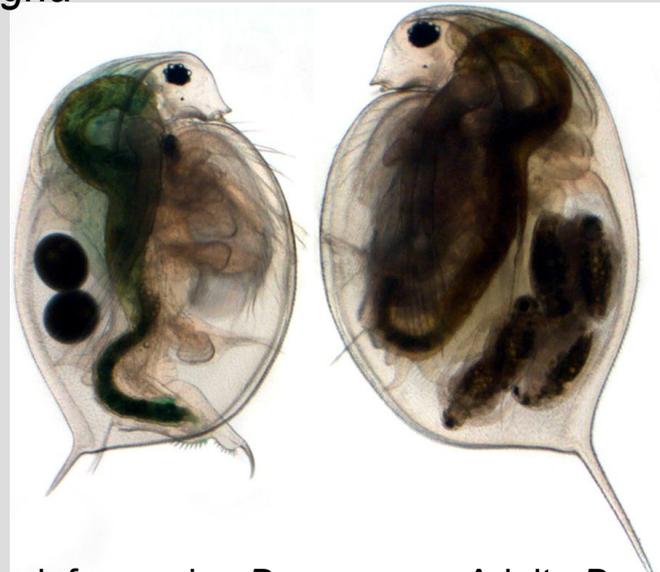


*Daphnia cucullata*



Scanning electron micrograph showing typical and predator - induced morphs of *Daphnia cucullata* of the same clone.

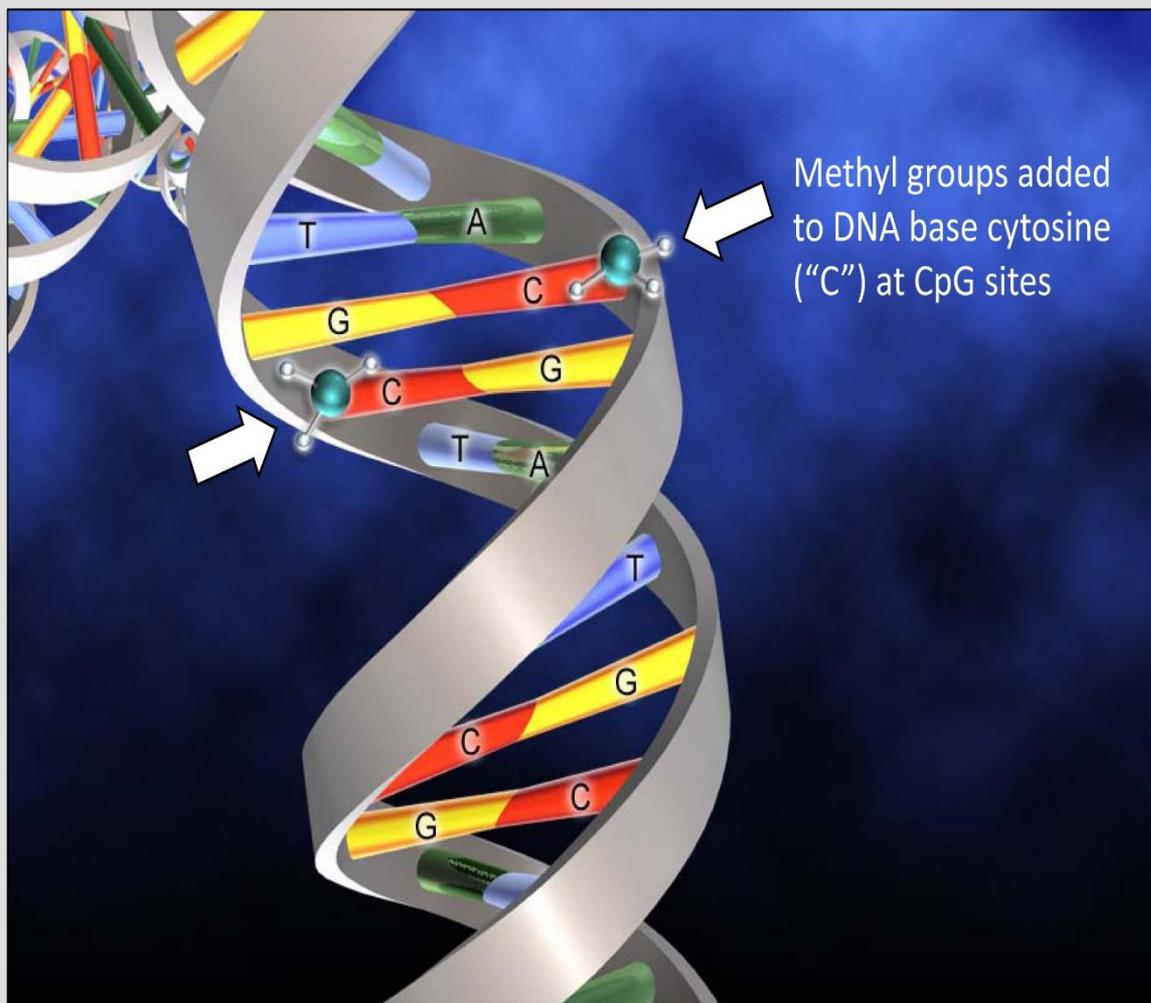
*Daphnia magna*



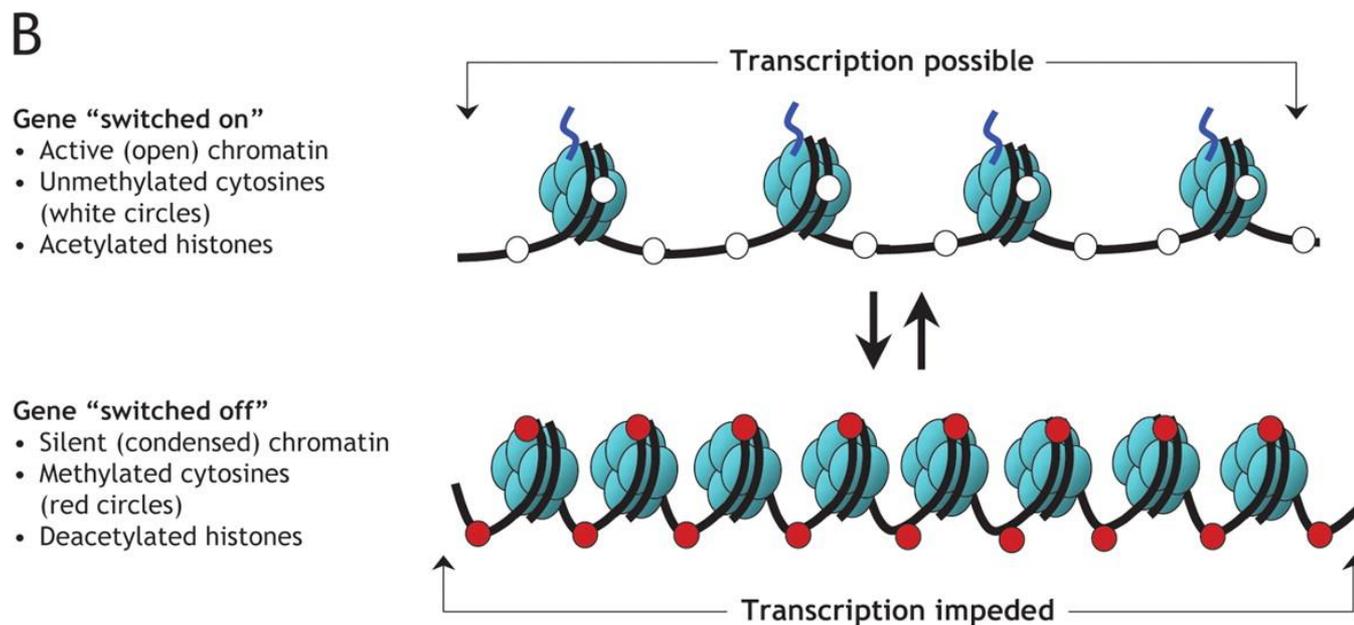
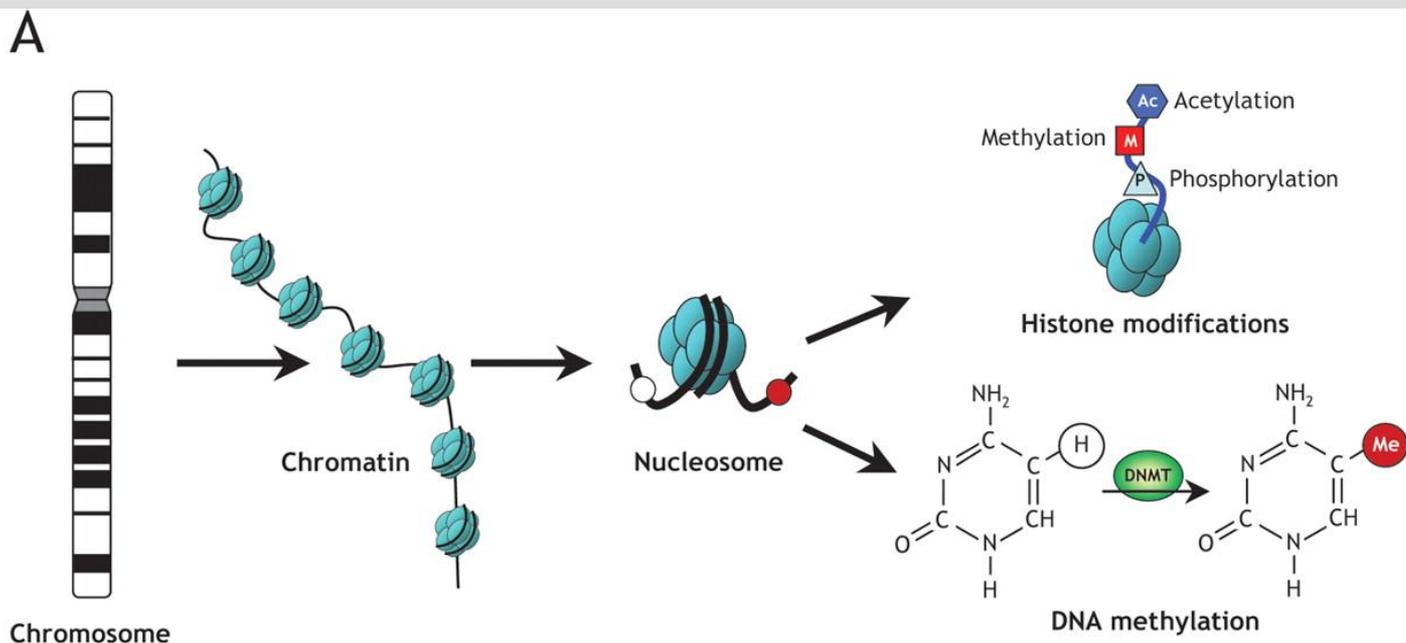
Inducible defence in *D. magna*. Adult *D. magna* showing increased bulkiness after *Triops* induction (right) compared to control animal (left). (Photo: M. Rabus).

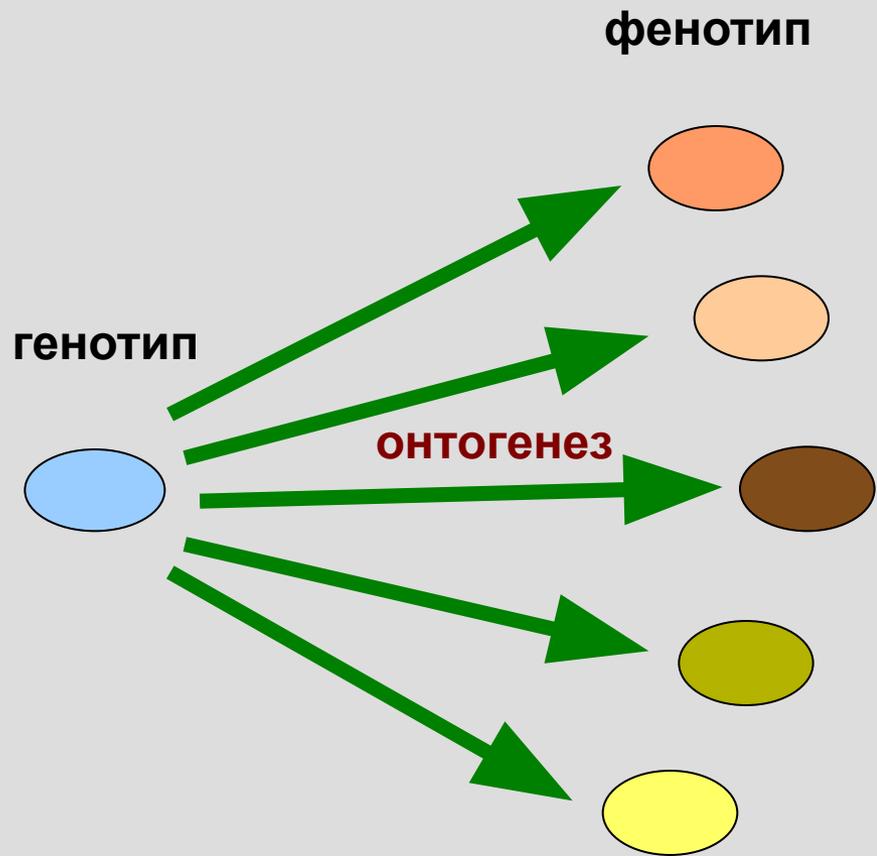


**Дифференциальная экспрессия, обусловленная эпигенетической "разметкой" генома (метилование ДНК, модификация гистонов, переупаковка хроматина)**

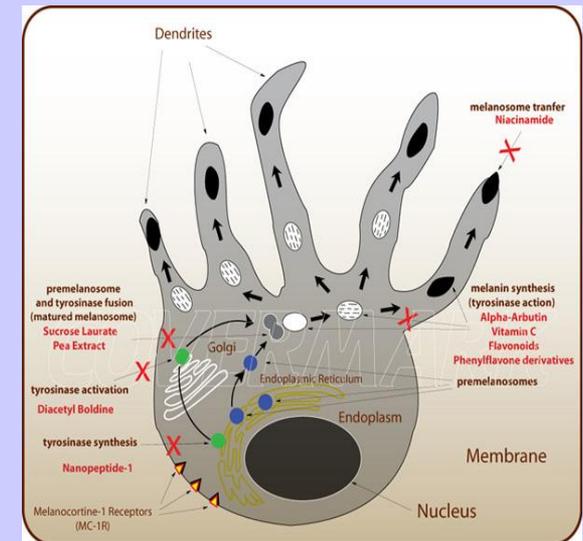
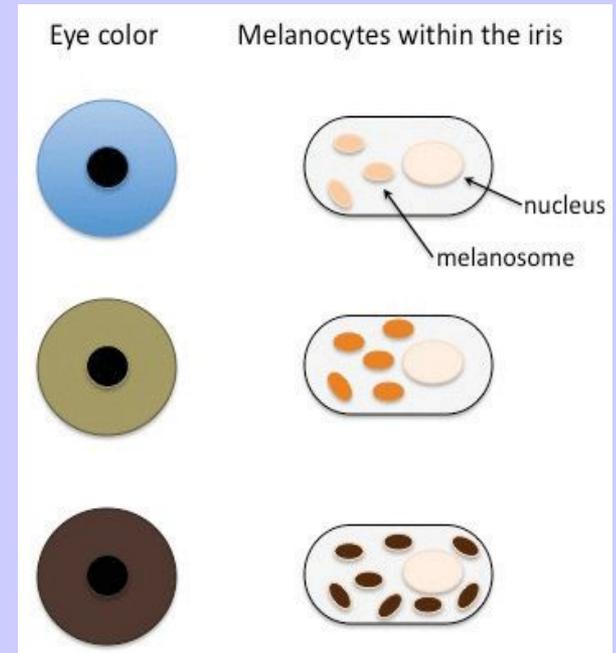


**Дифференциальная экспрессия, обусловленная  
эпигенетической "разметкой" генома  
(метилование ДНК, модификация гистонов,  
переупаковка хроматина)**



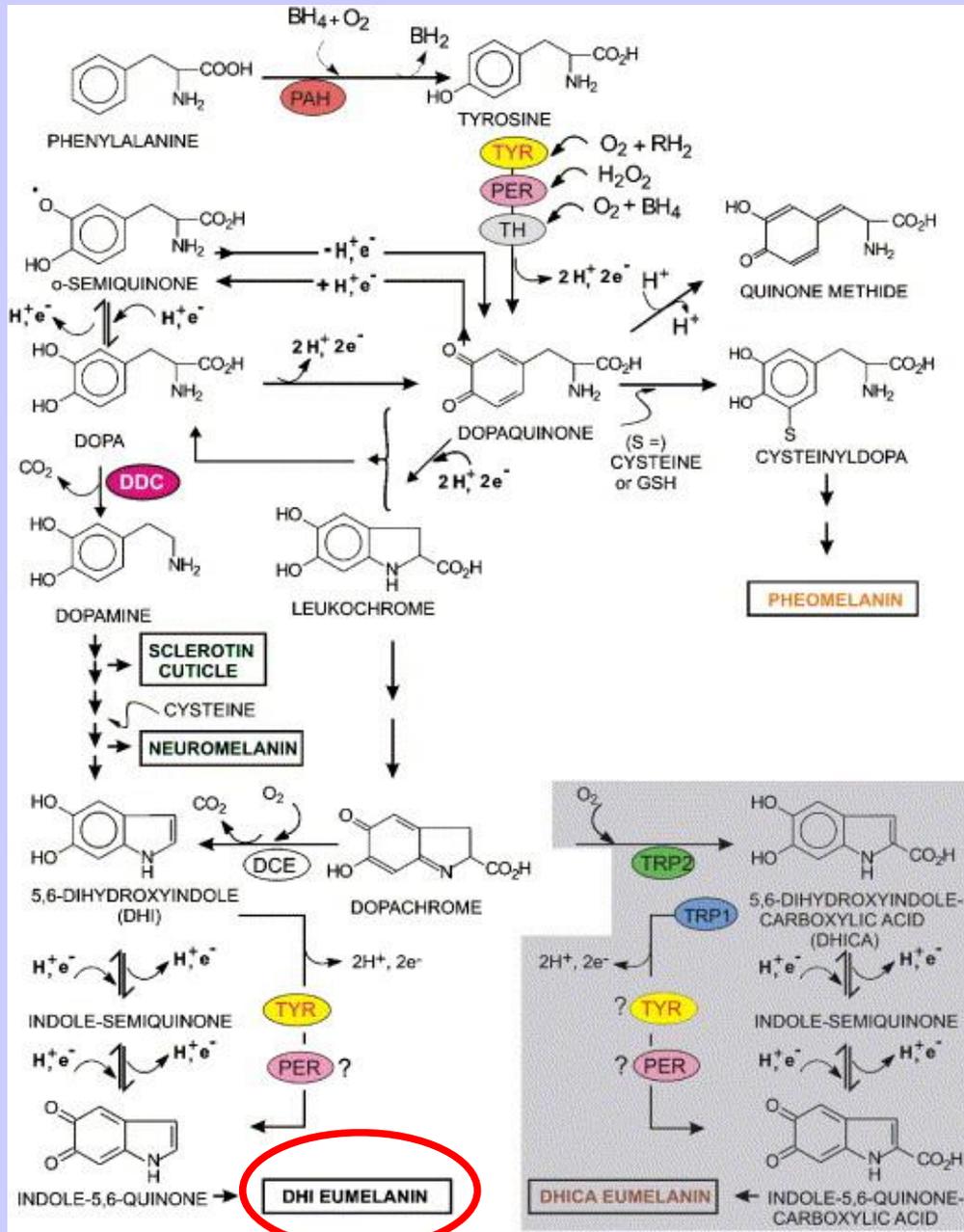


Варианты окраски глаз зависят от количества и распределения пигмента меланина в радужной оболочке.

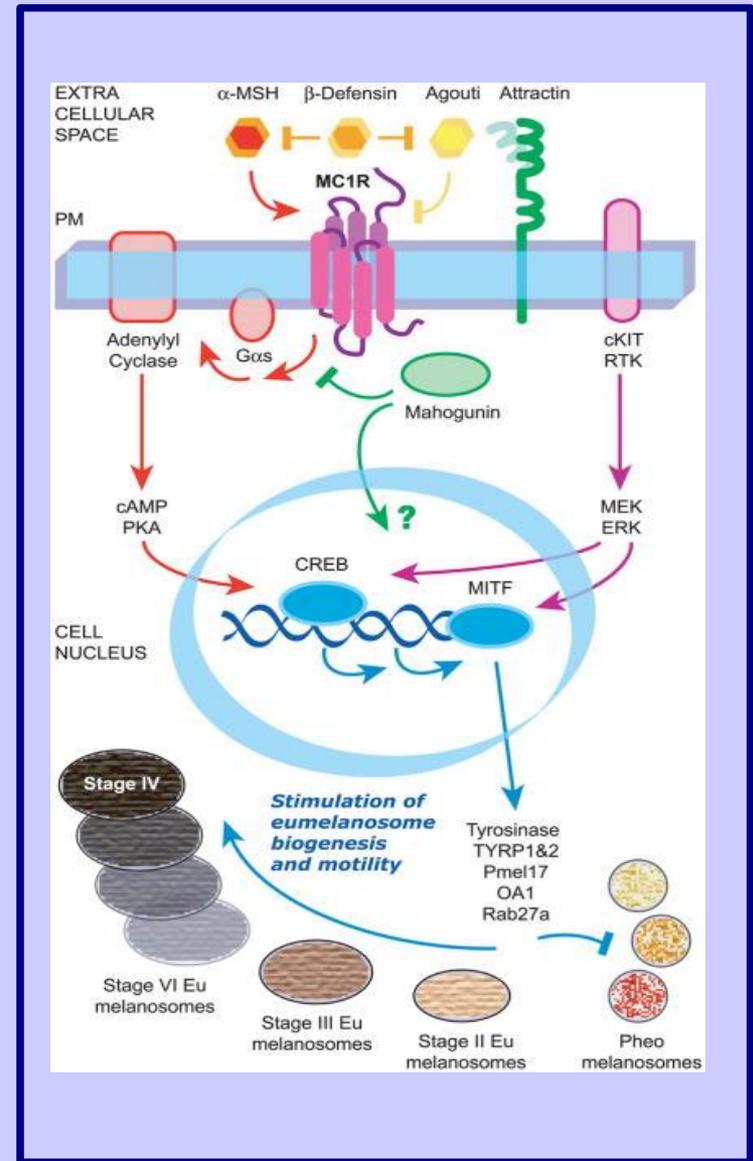


.bioscienceexplained.org; Sturm, Frudakis, 2012.

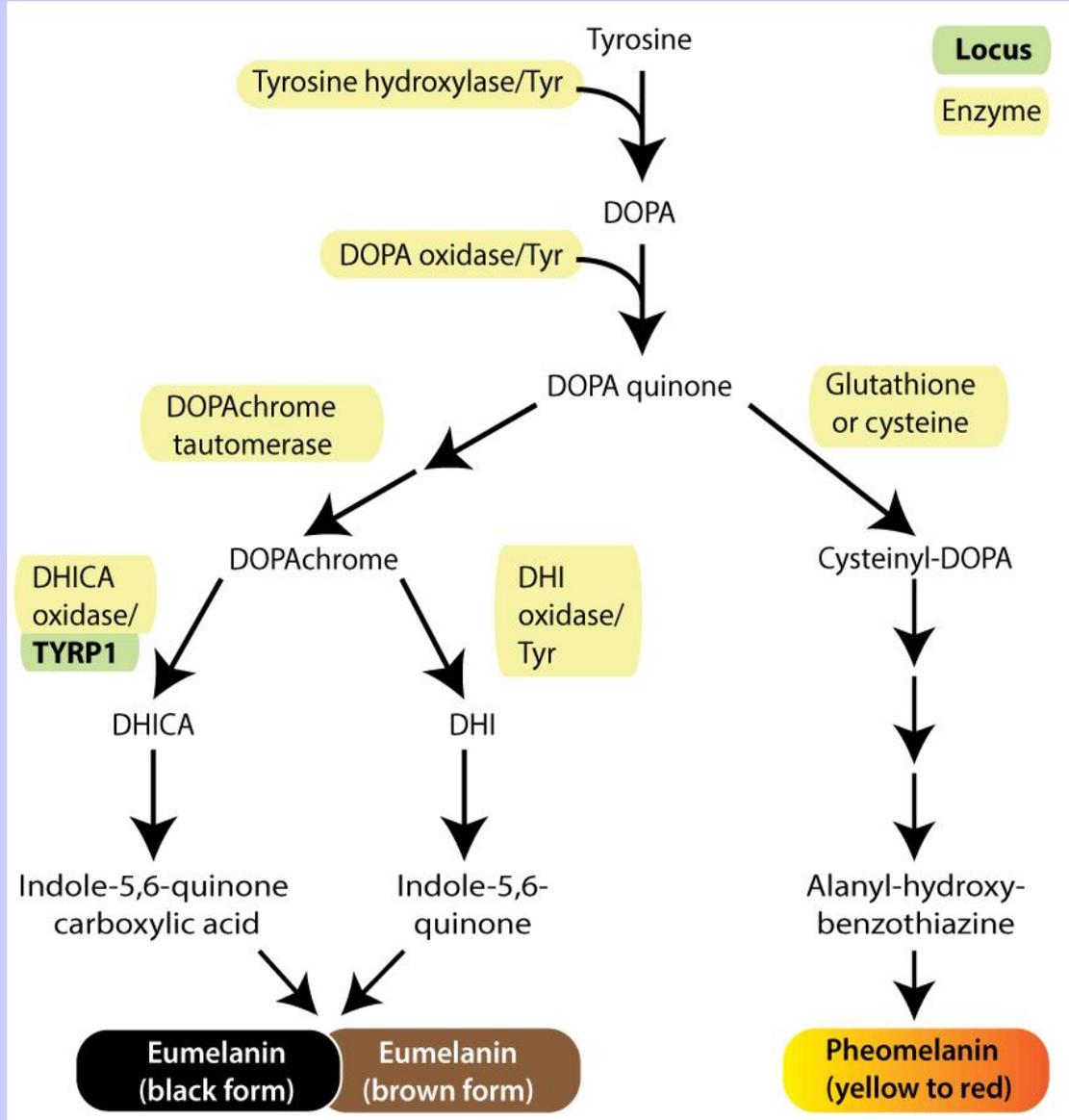
# Биосинтез меланина



# Регуляция синтеза меланина в меланоците



# Упрощенная схема биосинтеза меланина



В середине XX века Адольф Ремане сформулировал три критерия гомологии:

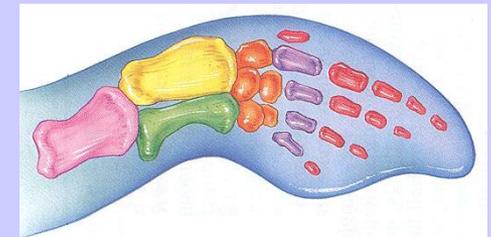
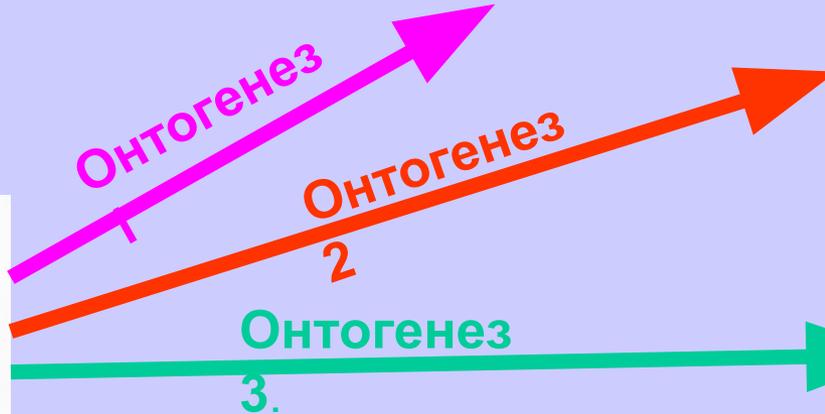
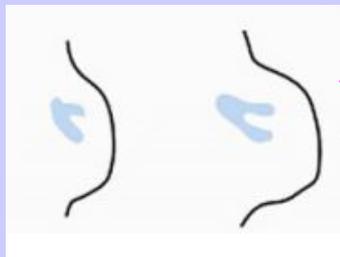
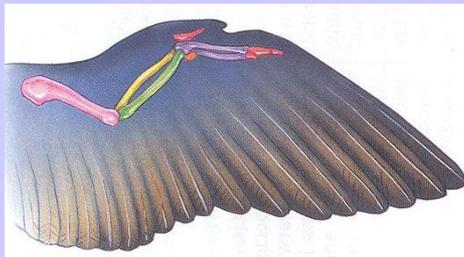
\* **Критерий положения.** Гомологичными считаются части, занимающие сходное положение относительно других частей тела.

\* **Критерий специального качества.** Гомологичными могут считаться только те структуры, которые сходны между собой по тонкому строению.

\* **Критерий переходных форм.** Если две формы не сходны друг с другом, но связаны непрерывным рядом «переходных форм», то их можно считать гомологичными.

+ **Критерий развития.** Гомологичными считаются органы, сходным образом развивающиеся из одинаковых эмбриональных зачатков.

Онтогенез  
передней  
конечности.

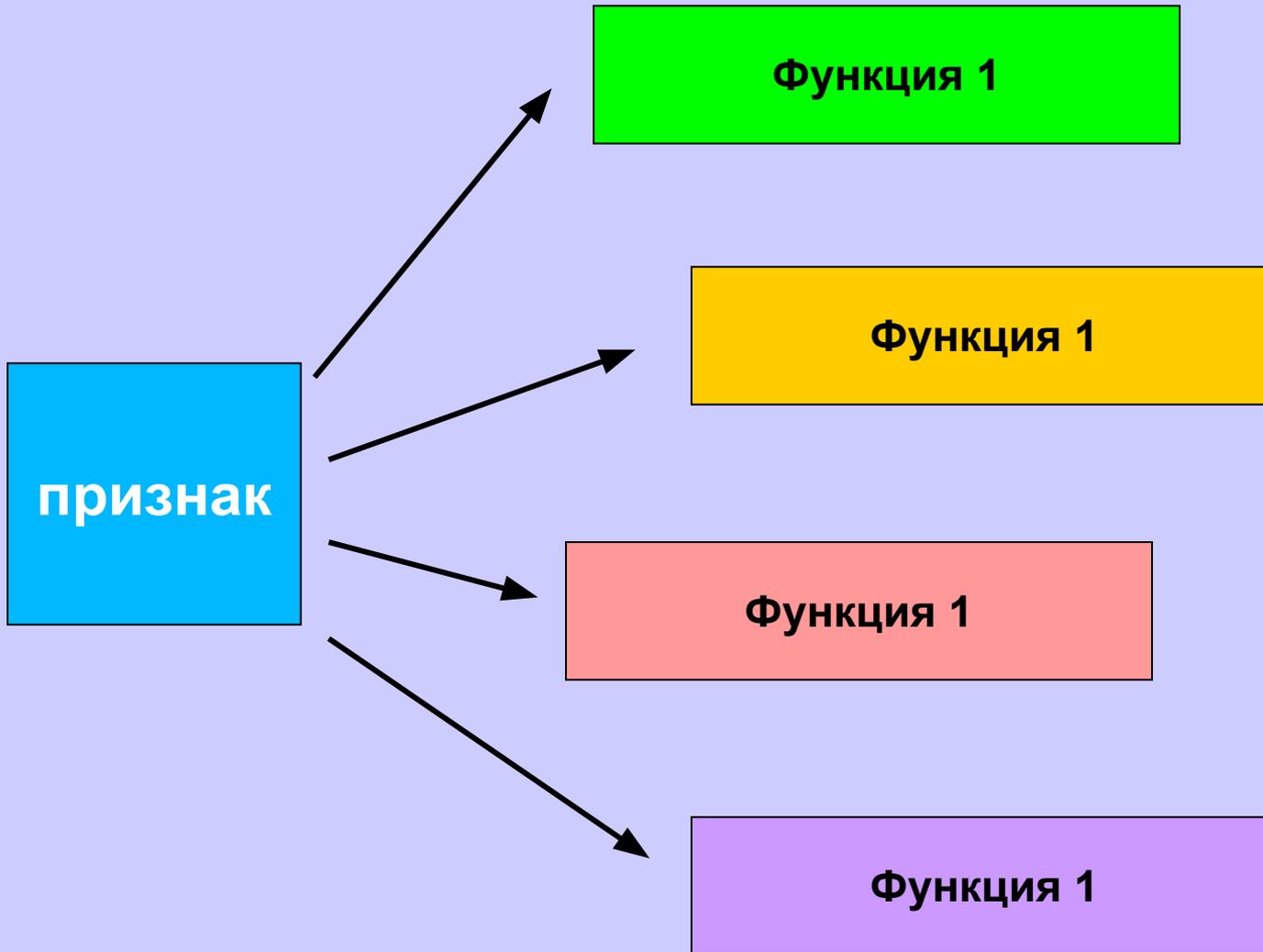


?



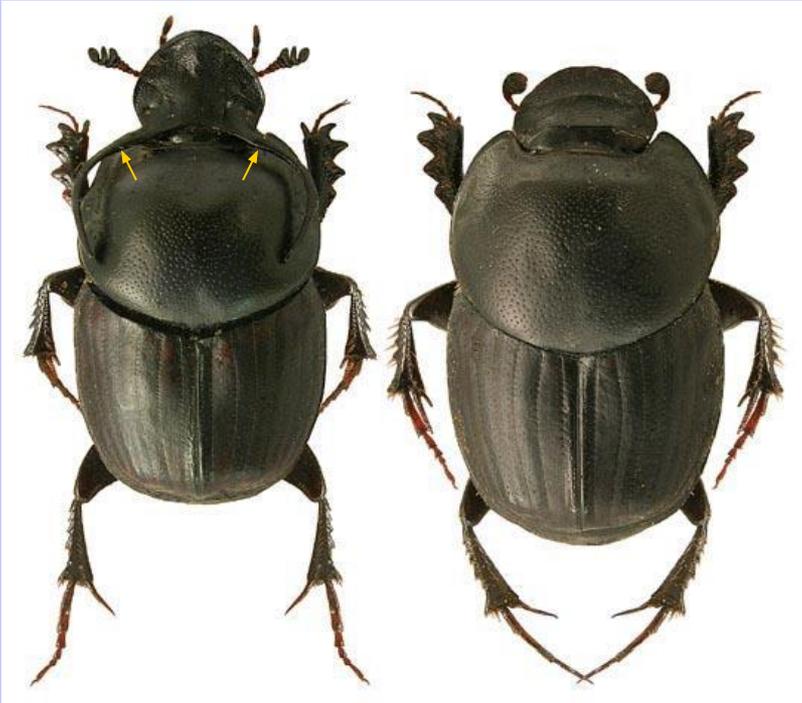
~~1 ГЕН = 1 ПРИЗНАК~~

~~1 ПРИЗНАК / СТРУКТУРА = 1  
ФУНКЦИЯ~~

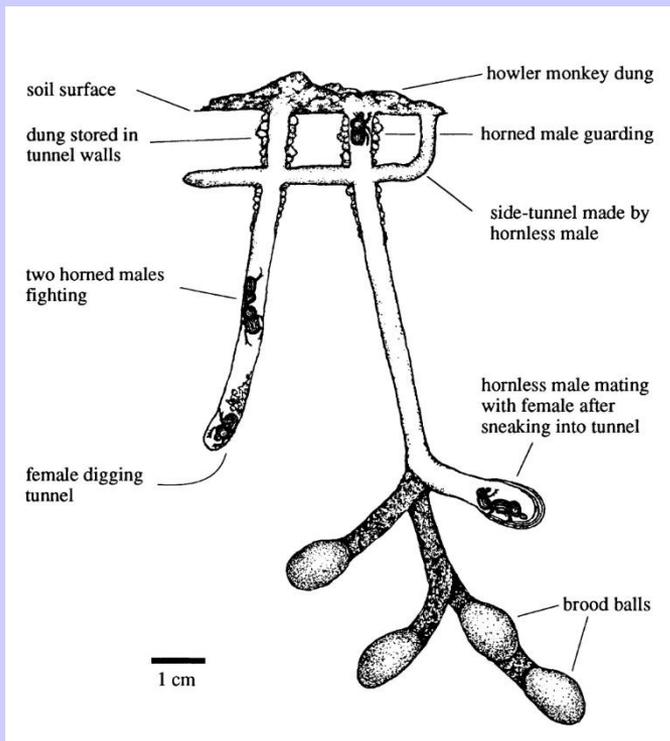


**ФУНКЦИЯ = НАПРАВЛЕНИЕ ЭВОЛЮЦИИ !!!!**

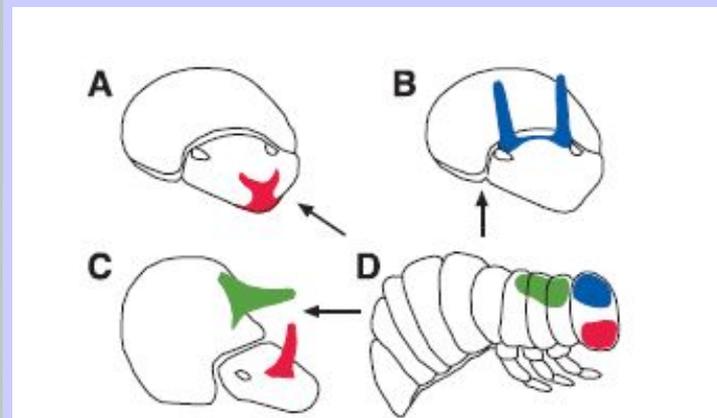
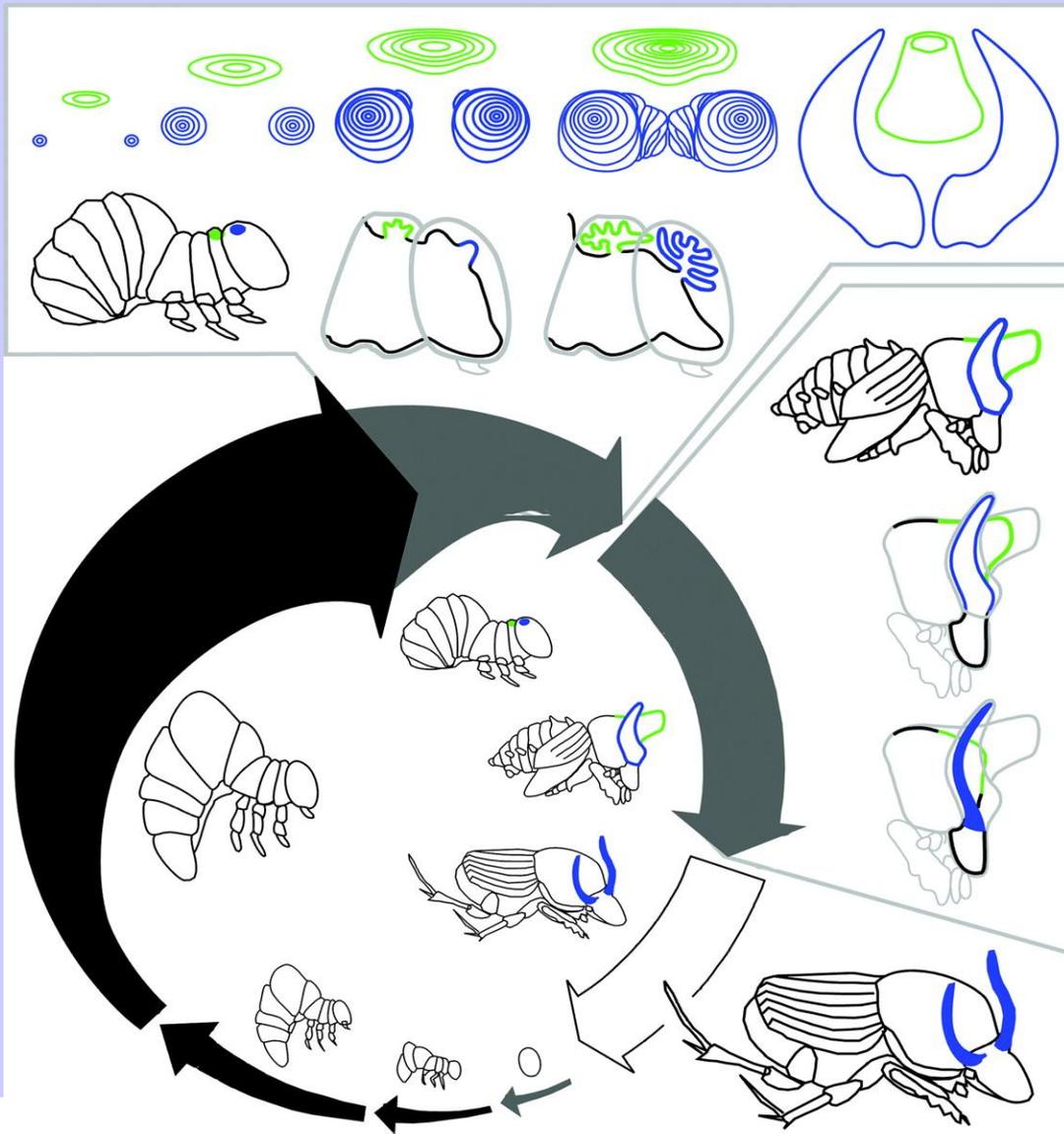
*Onthophagus acuminatus* (Coleoptera:  
Scarabaeidae).



# Жизненные стратегии жуков – скарабеев.

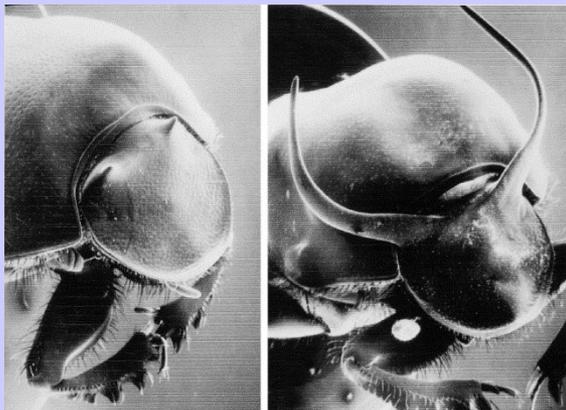


# Схема развития рогов у жуков - скарабеев.

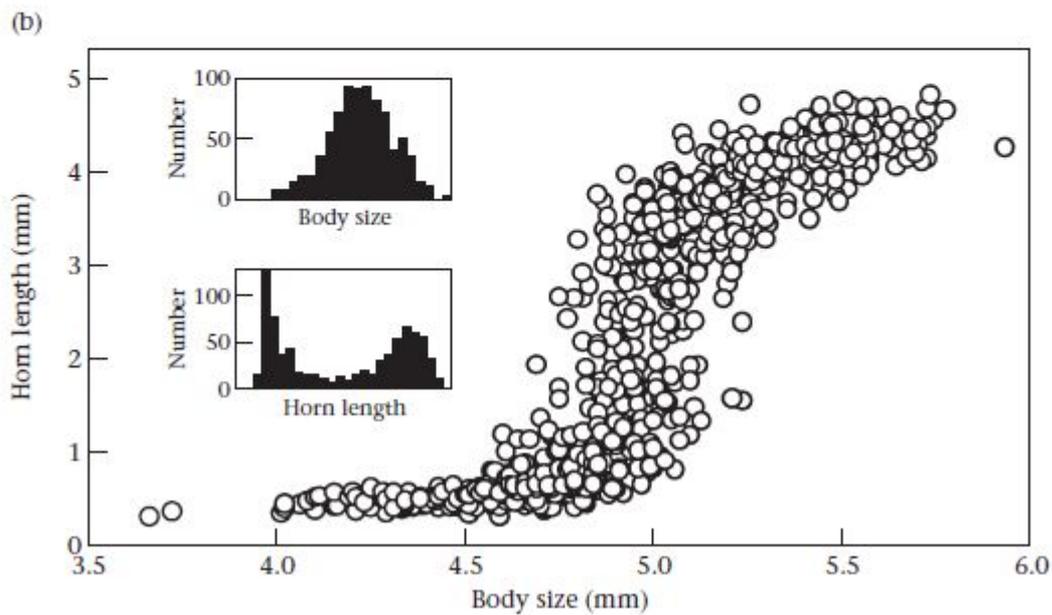


Emlen D J et al. PNAS 2007;104:8661-8668

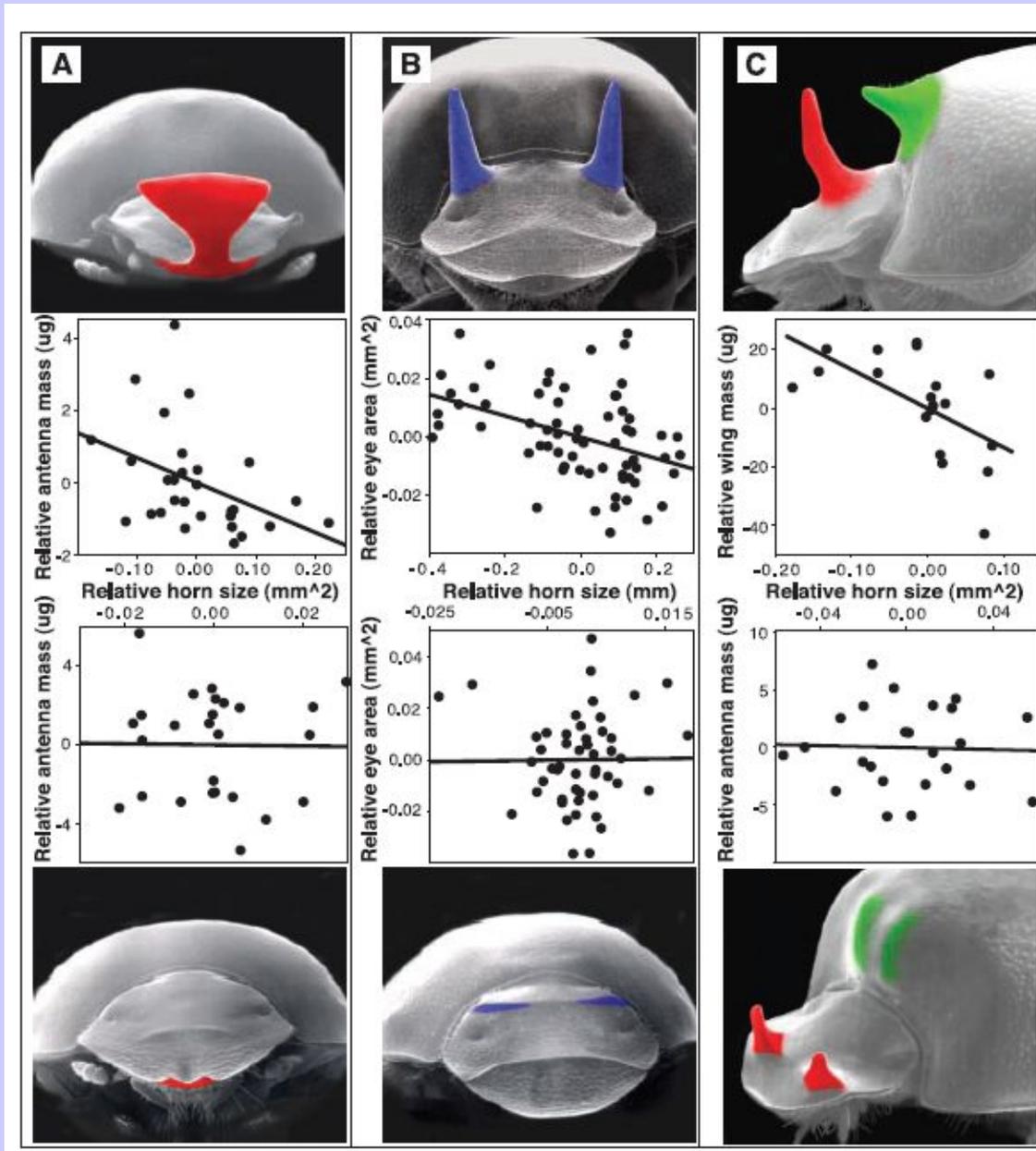


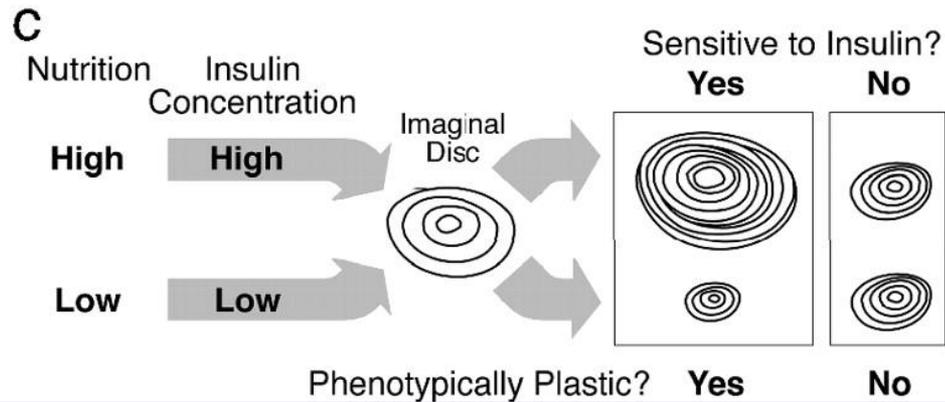
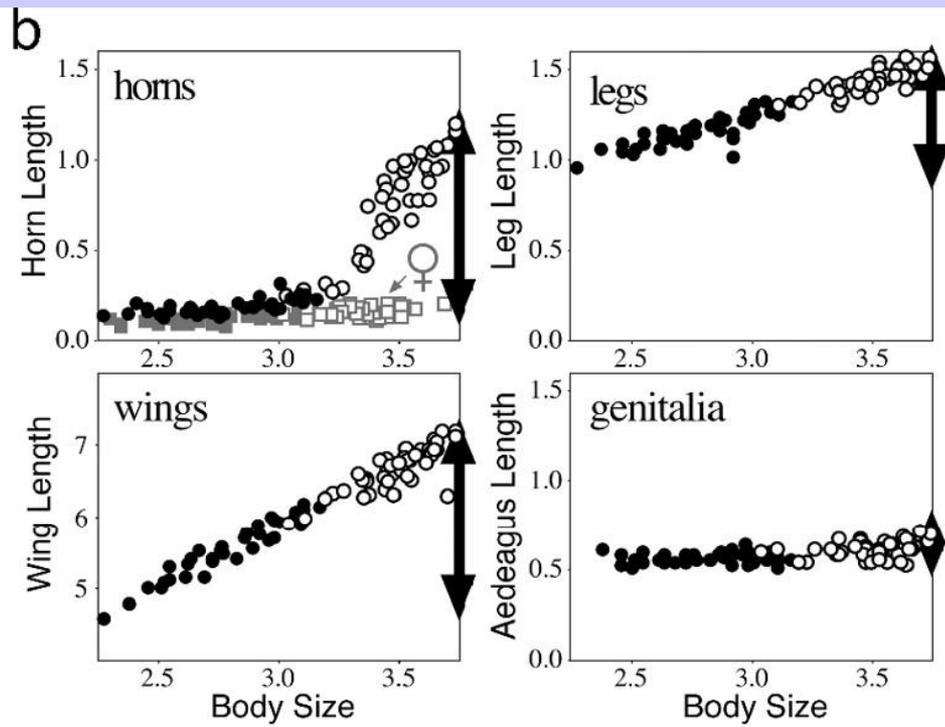


Зависимость размера рогов от размера тела.



# «Цена» формирования рогов.

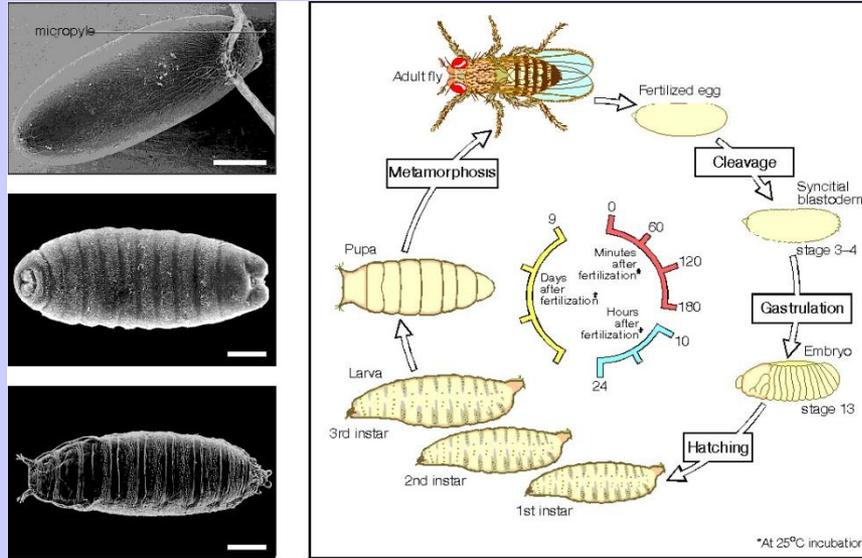
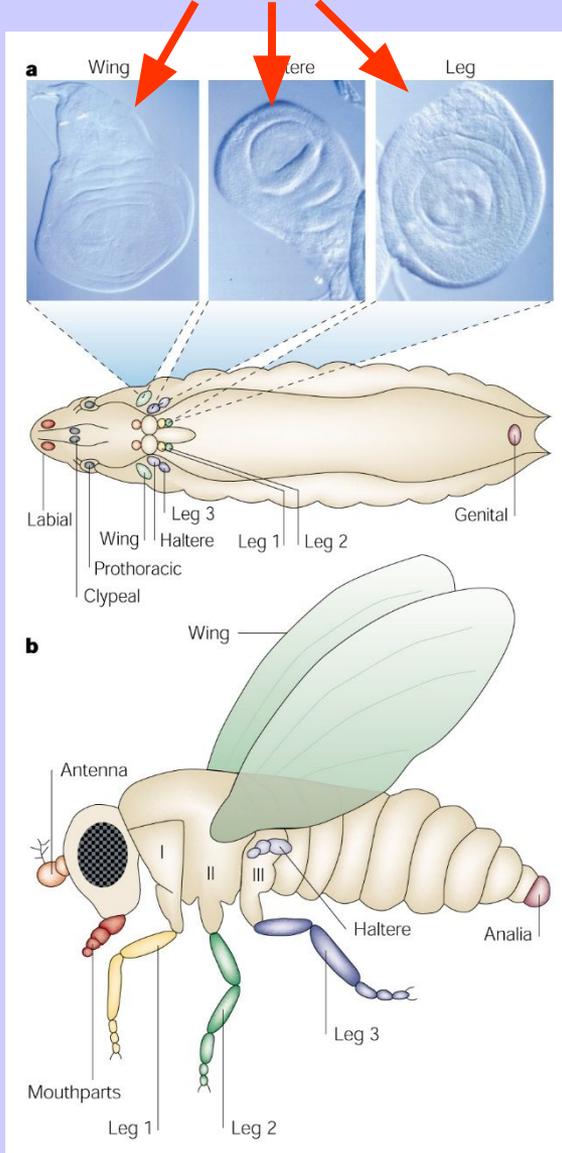




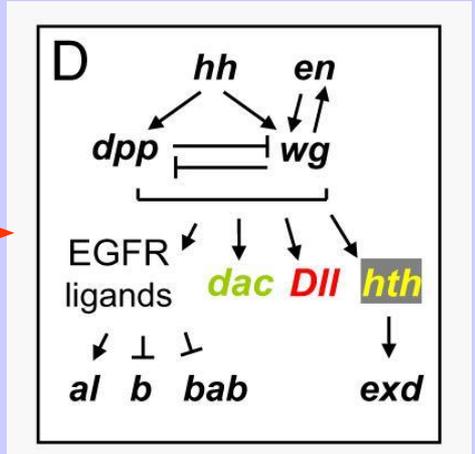
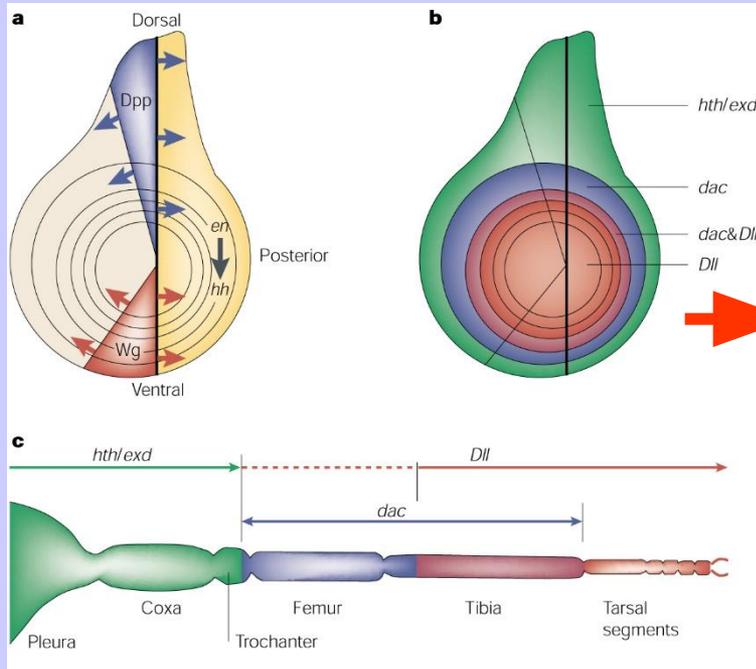
Emlen D J et al. PNAS 2007;104:8661-8668

# Жизненный цикл *Drosophila*

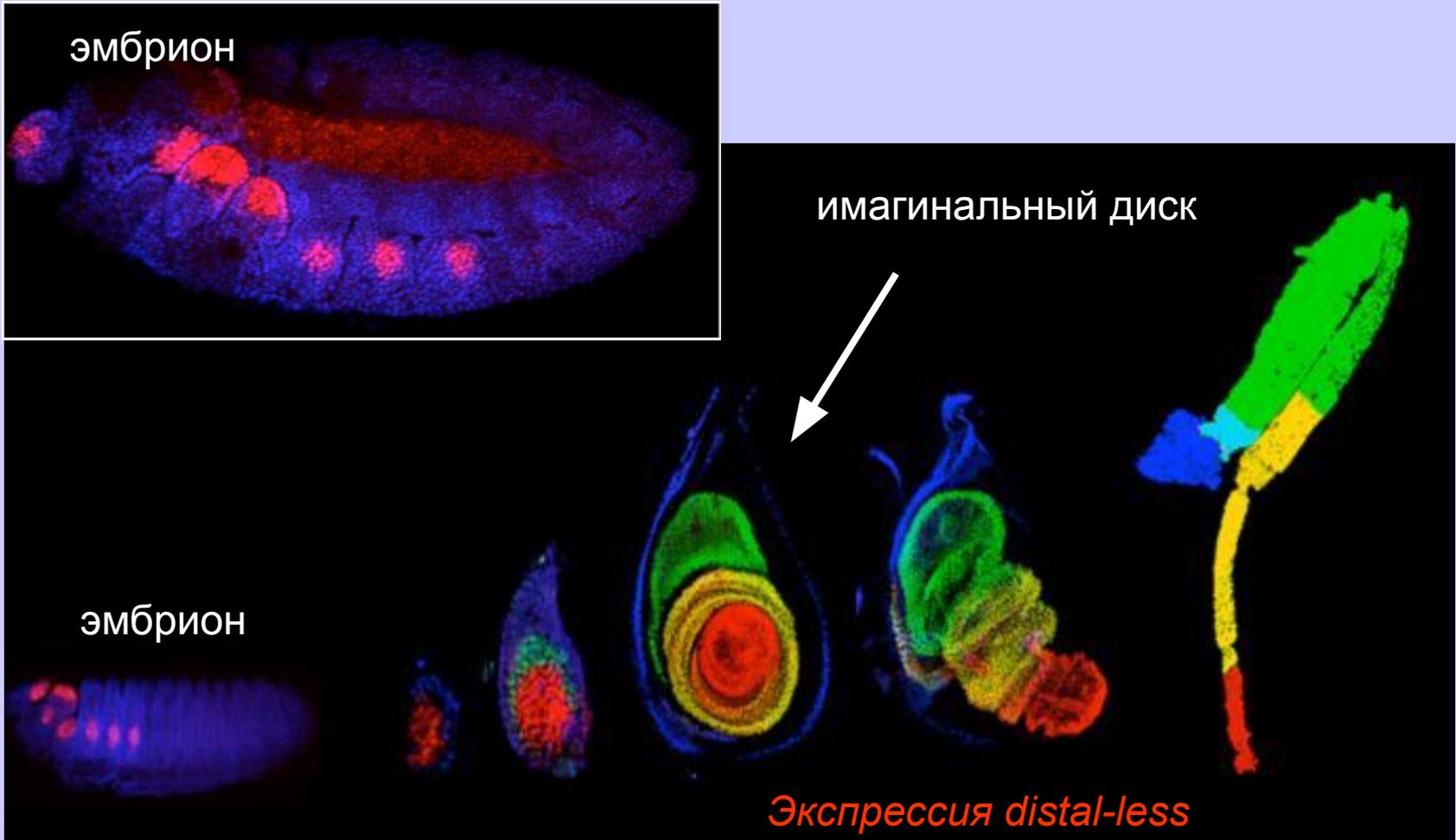
## Имагинальные диски личинки.



## Имагинальный диск конечности

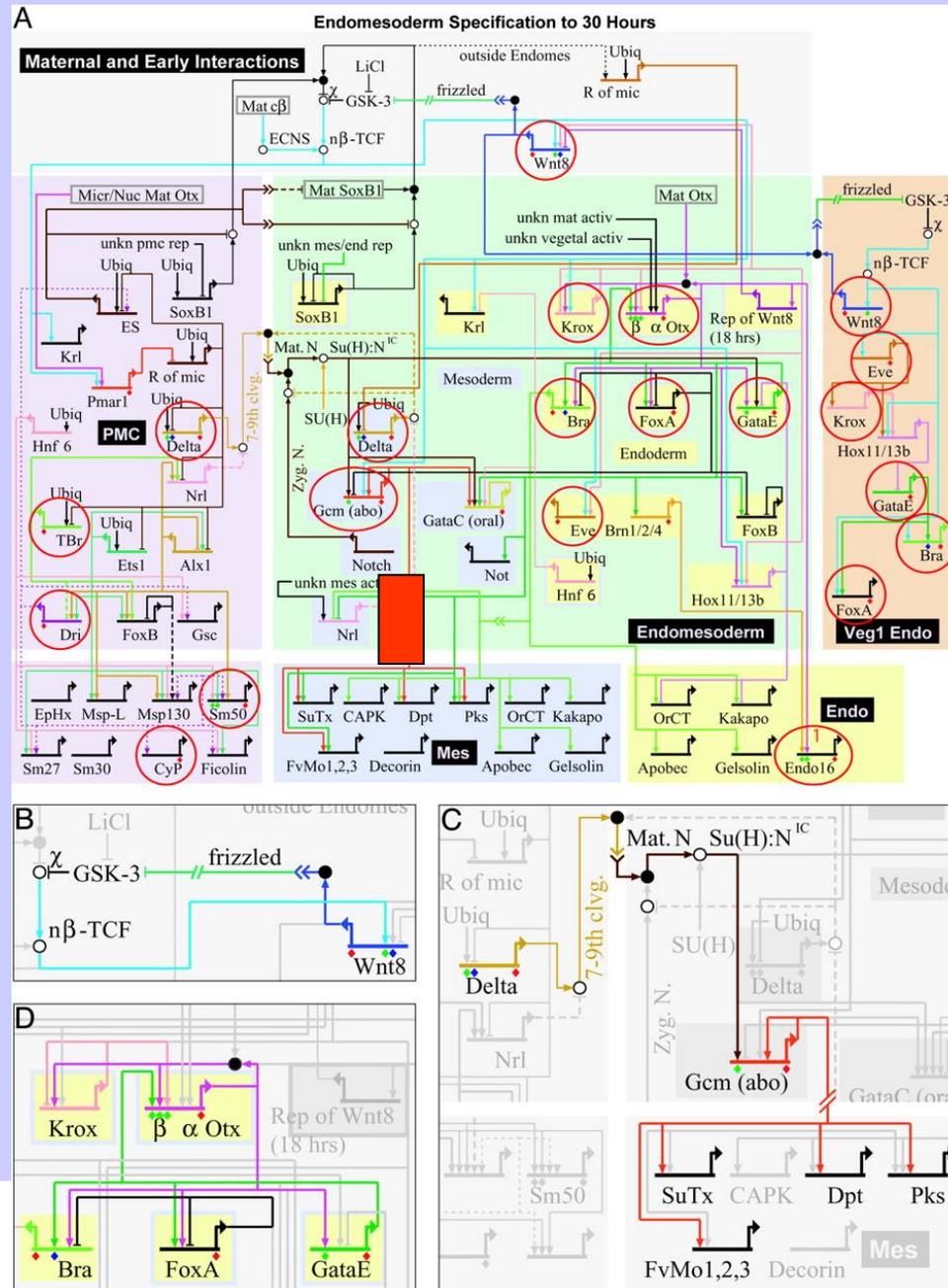


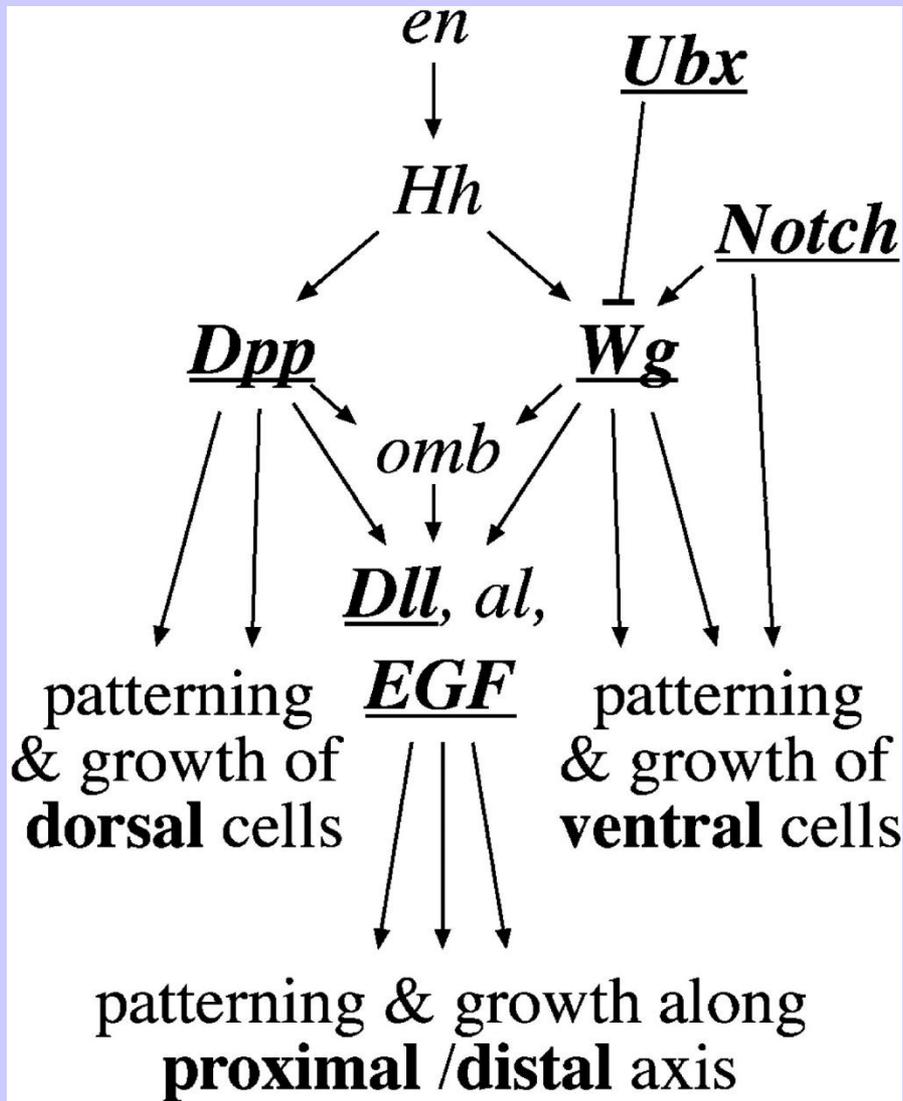
# РАЗВИТИЕ КОНЕЧНОСТИ *Drosophila*.



# Пример генетической регуляторной сети.

Levine M, and Davidson  
 E H PNAS  
 2005;102:4936-4942

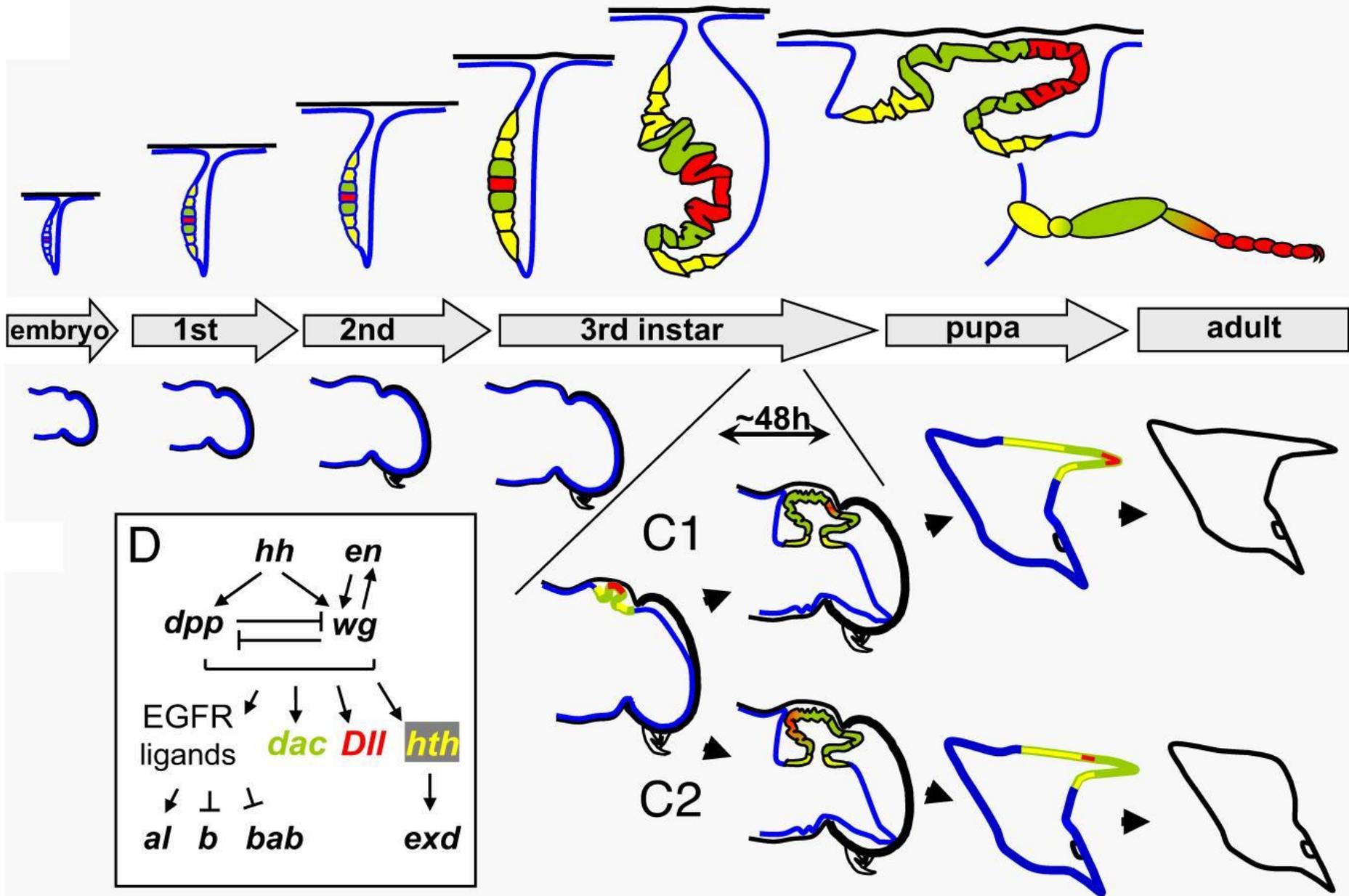




Генетическая регуляторная сеть, обеспечивающая дифференцировку и рост имагинального диска конечности *Drosophila*. Сигнальные молекулы и факторы транскрипции регулируют направленную пролиферацию клеток.

*en*, engrailed; *Hh*, Hedgehog; *Ubx*, Ultrabithorax; *Dpp*, Decapentaplegic; *omb*, optomotor-blind; *Dll*, Distal-less; *al*, arista-less; *EGF*, epidermal growth factor

# Экспрессия генов модуля регуляторной сети в конечности и рогах жуков.



Как регулируется формирование рисунка на крыльях бабочек?



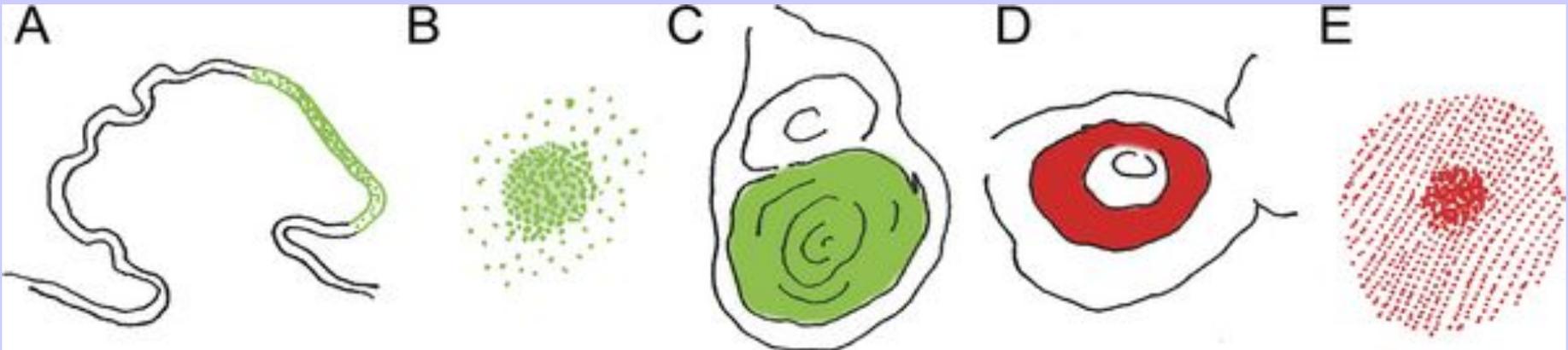
# Экспрессия одинаковых генов при формировании негомологичных структур.

## транскрипционный фактор *Distal-less*

Dll, закладка рога у жука-скарабея

Dll, закладка пятна на крыле бабочки

Spal, закладка конечности насекомого

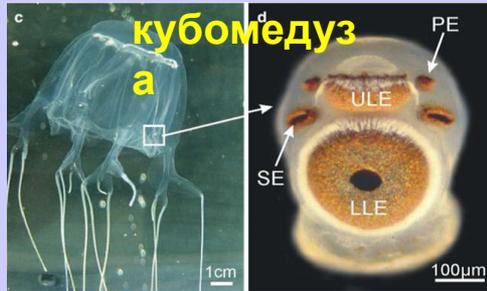


Dll, закладка конечности насекомого

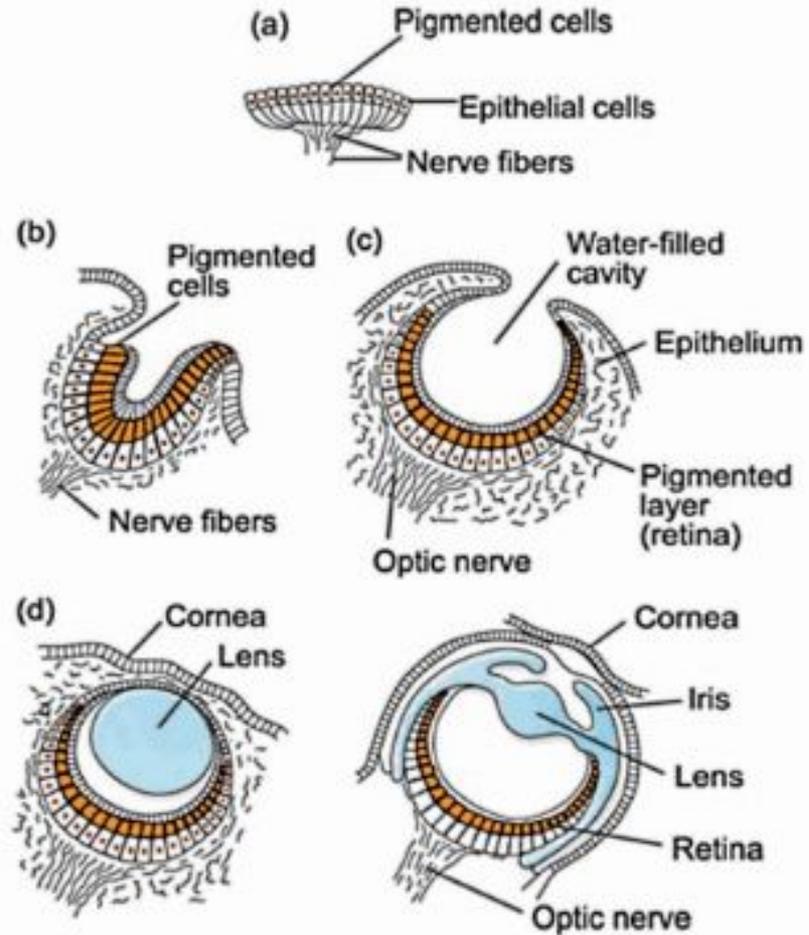
Spal, пятна на крыле бабочки

## транскрипционный фактор *Spalt*

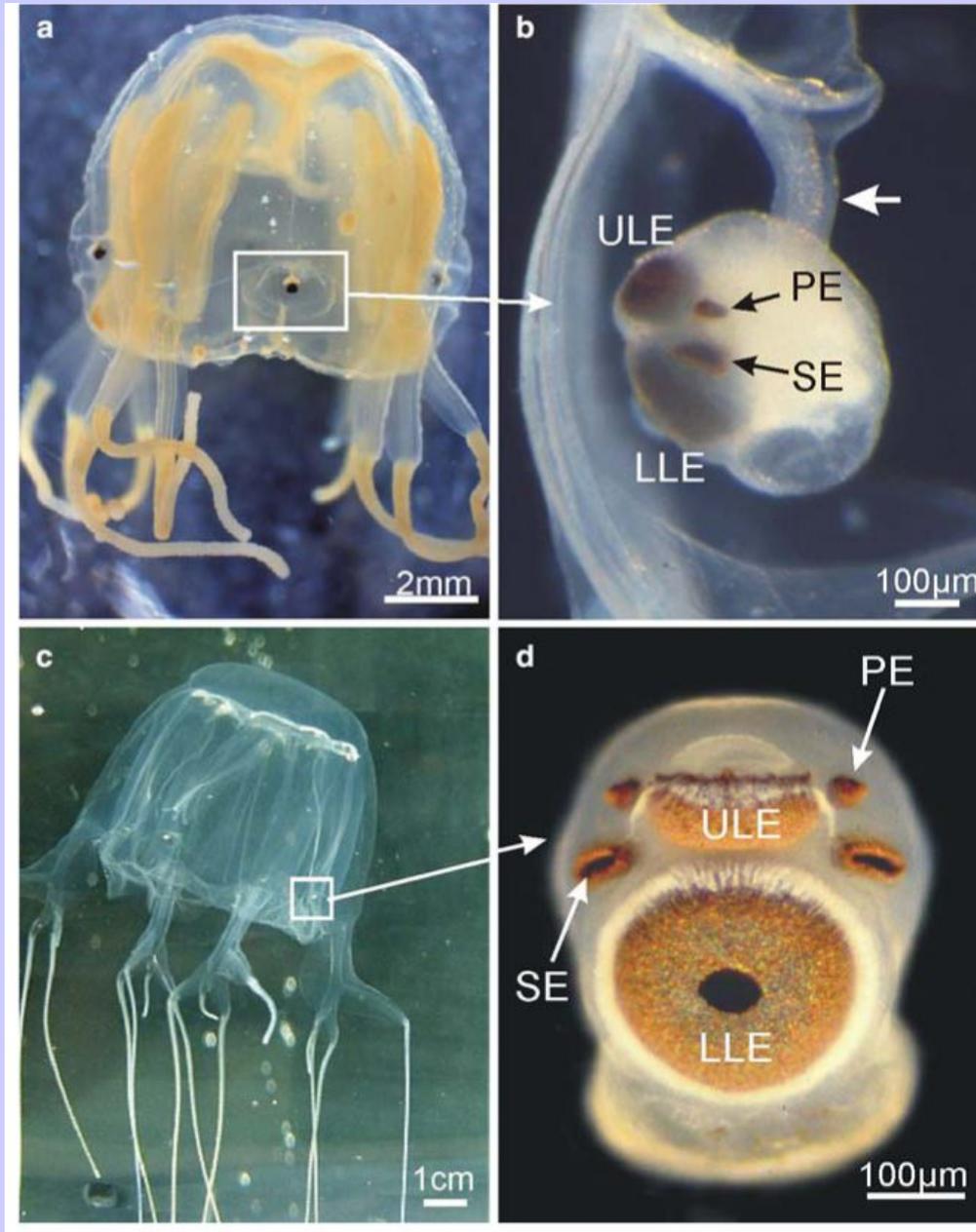
Monteiro A, Podlaha O (2009) Wings, Horns, and Butterfly Eyespots: How Do Complex Traits Evolve?. PLoS Biol 7(2): e1000037.  
doi:10.1371/journal.pbio.1000037  
<http://www.plosbiology.org/article/info:doi/10.1371/journal.pbio.1000037>



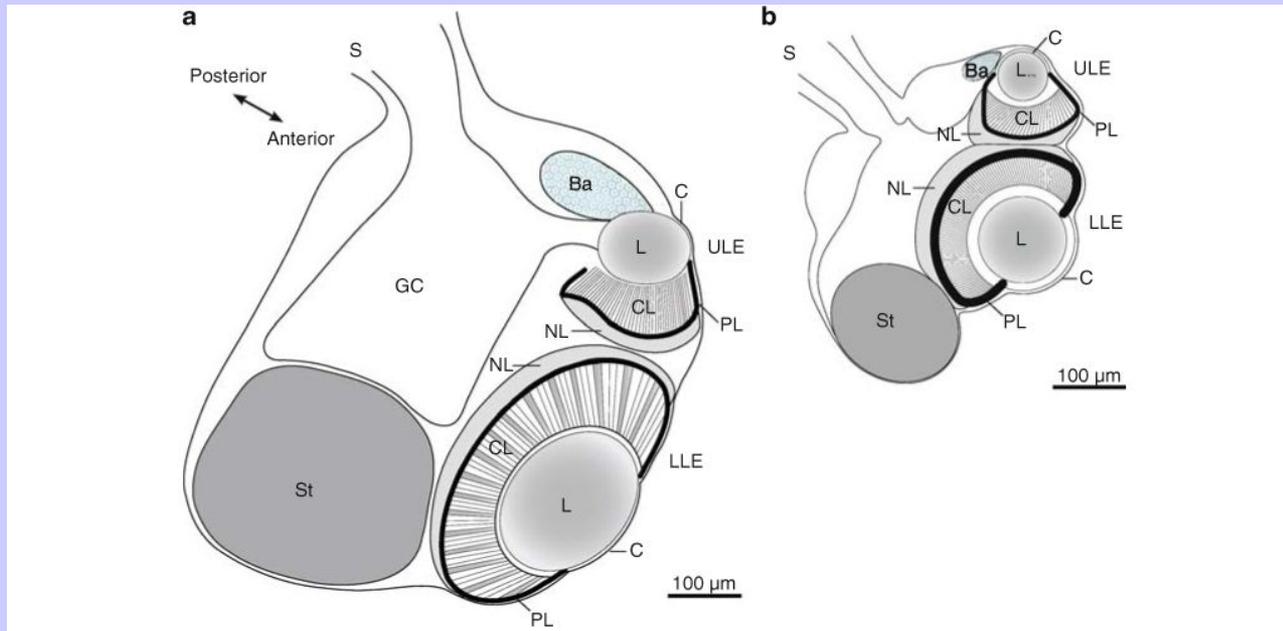
## ЭВОЛЮЦИЯ ГЛАЗА



*Tripedalia, Chiropsella* (Cnidaria, Cubozoa)

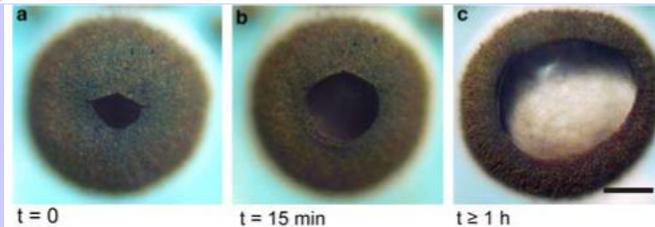


# Строение глаз кубомедуз.

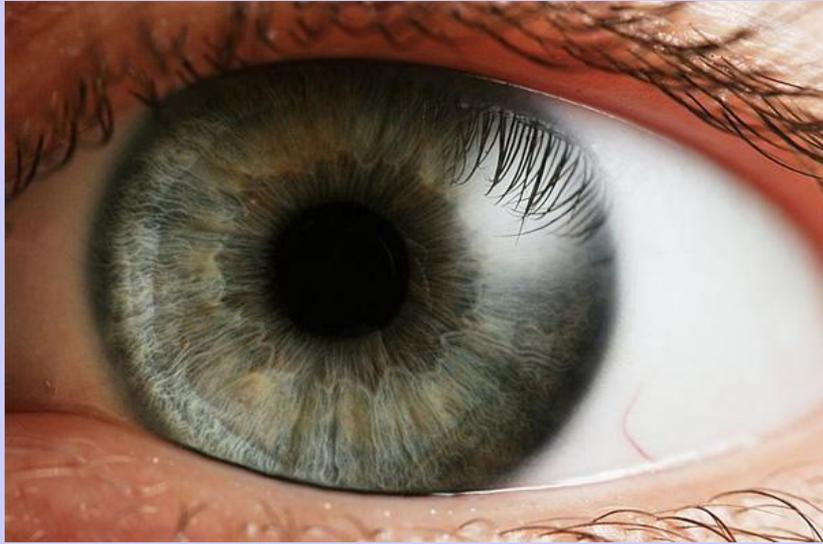


**Fig. 1** Schematic diagram of the sagittal plane through rhopalia of **a** *Chiropsella bronzie* and **b** *Tripedalia cystophora*. Box jellyfish have two different camera-type eyes, the upper lens-eye (ULE) and lower lens-eye (LLE), as well as two pairs of pigment pit eyes (not in the sagittal plane). Both the upper and lower lens-eyes contain the typical components of camera-type eyes: a cornea (C), a lens (L), and a retina consisting of a ciliary layer (CL), a pigment layer (PL) and neural layer (NL). In contrast to *T. cystophora*, the lenses of *C. bronzie* are

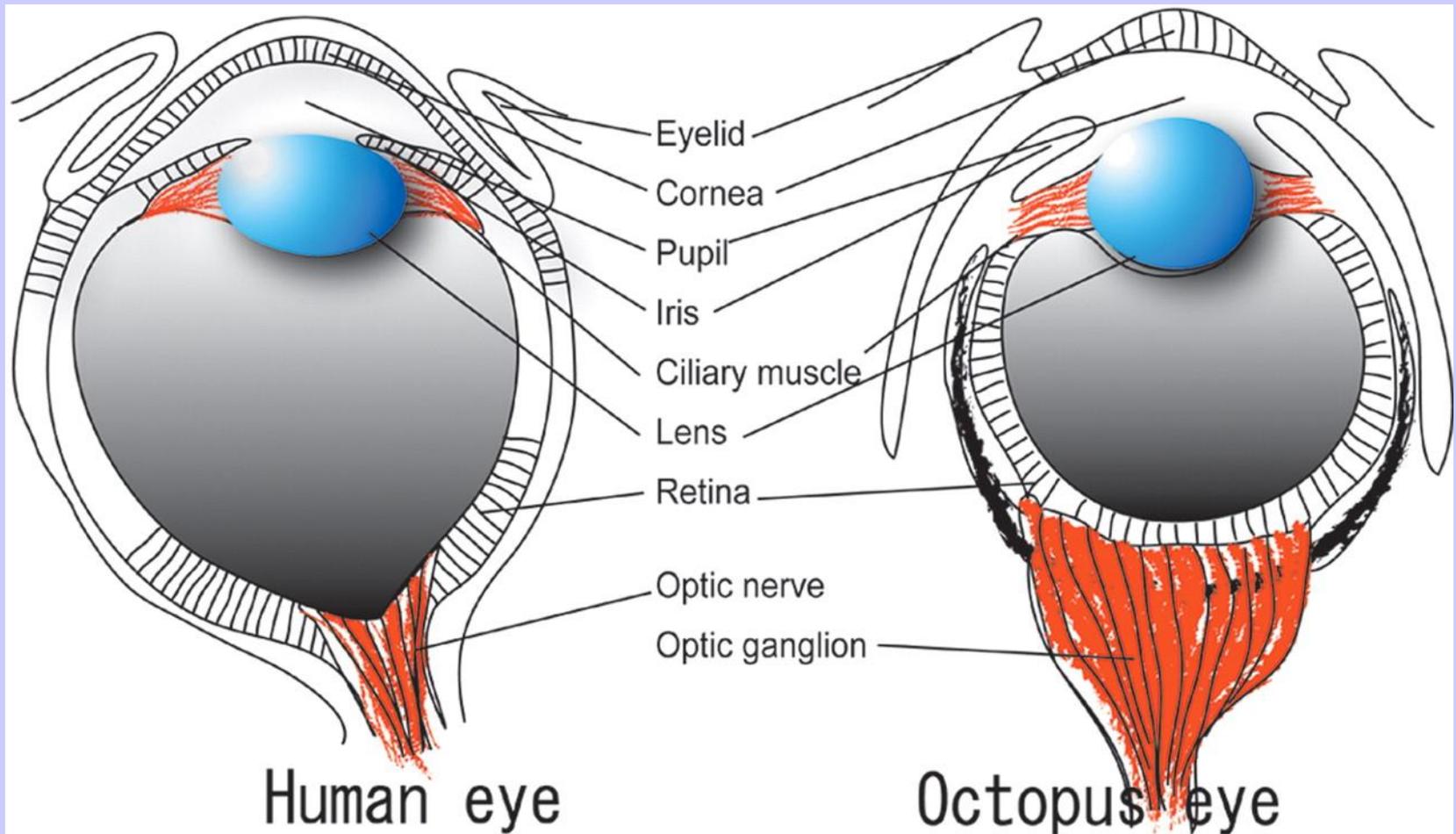
not spherical. Additionally, in *C. bronzie*, the pigment layer of the upper lens-eye does not meet the lens at the posterior side of the rhopalia. At the peripheral end of the rhopalia, there is a crystalline weight (statocyst, St). The gastric cavity (GC) extends into the rhopalia via the stalk (S) and a mass of large cells, referred to as “balloon cells” (Ba), is covering part of the aperture of the upper lens-eye, and extending towards the rhopalial stalk



**Fig. 4** Constriction and dilation of the pupil of the lower lens-eye of *Chiropsella bronzie* under different light adaptation states. **a** A fully light-adapted eye with constricted pupil, **b** after 15 min of dark adaptation and **c** after  $\geq 1 \text{ h}$  in total darkness. Scale bar 100 µm



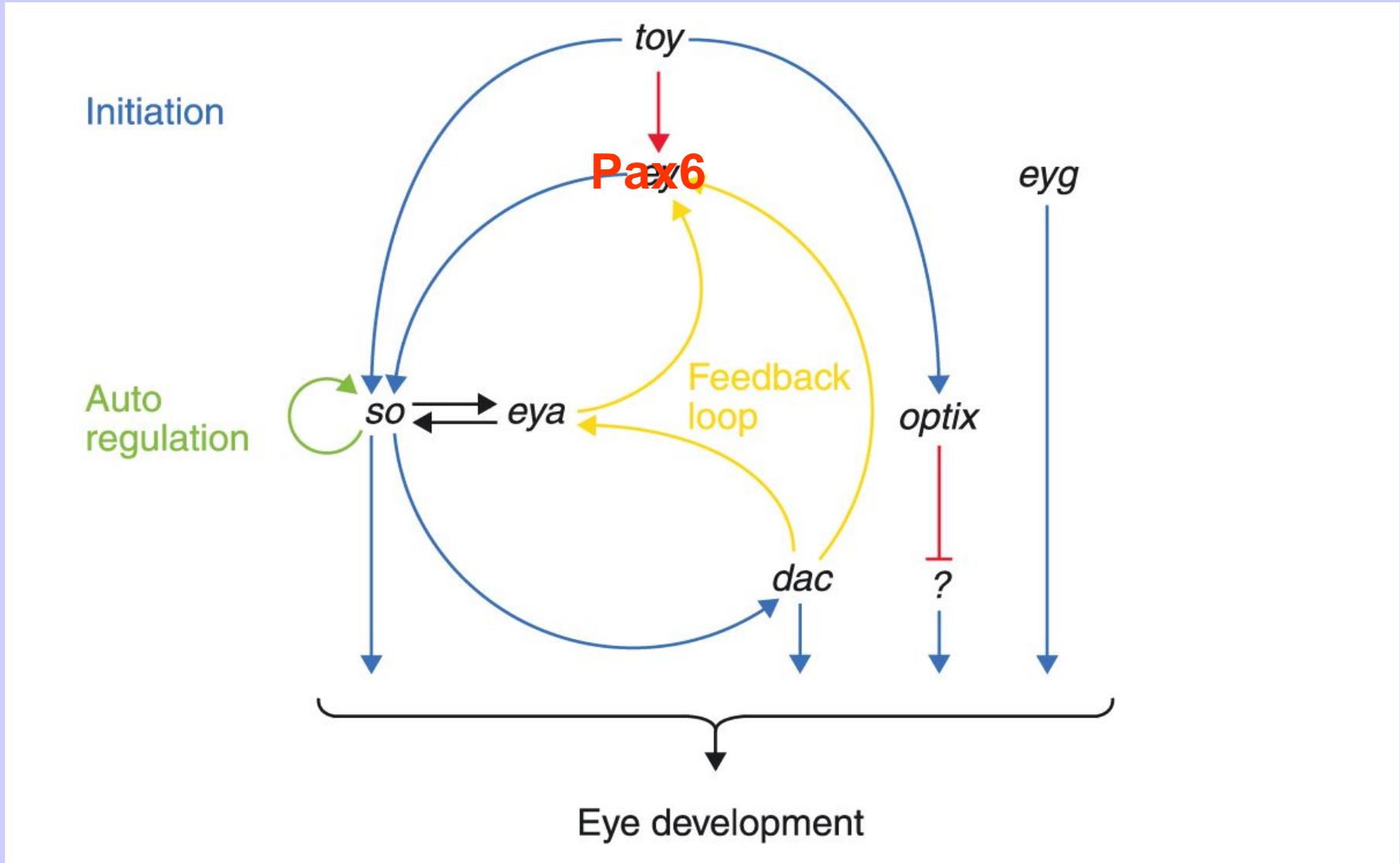
## Строение глаз человека и осьминога.



Ogura A et al. *Genome Res.* 2004;14:1555-1561



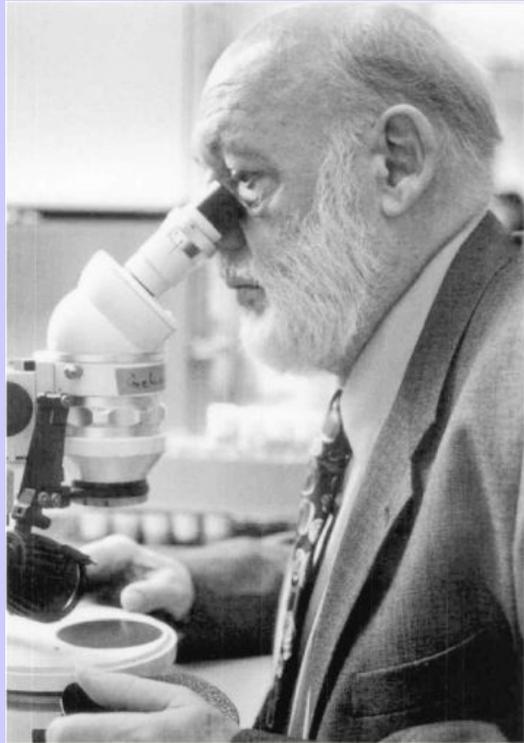
# Модуль генетической регуляторной сети, обеспечивающий формирование глаз.



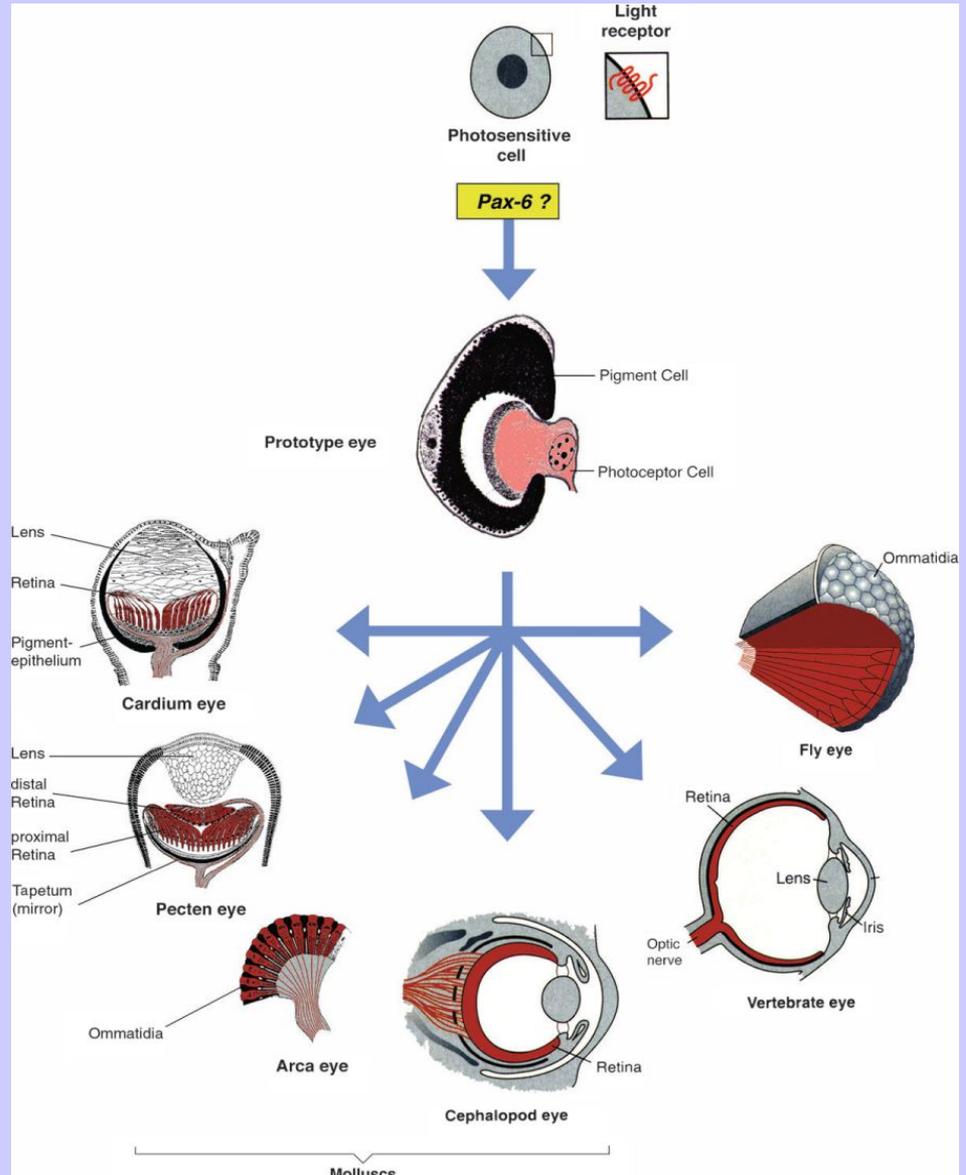
# ЭКТОПИЧЕСКАЯ ЭКСПРЕССИЯ Рах6 в эксперименте.

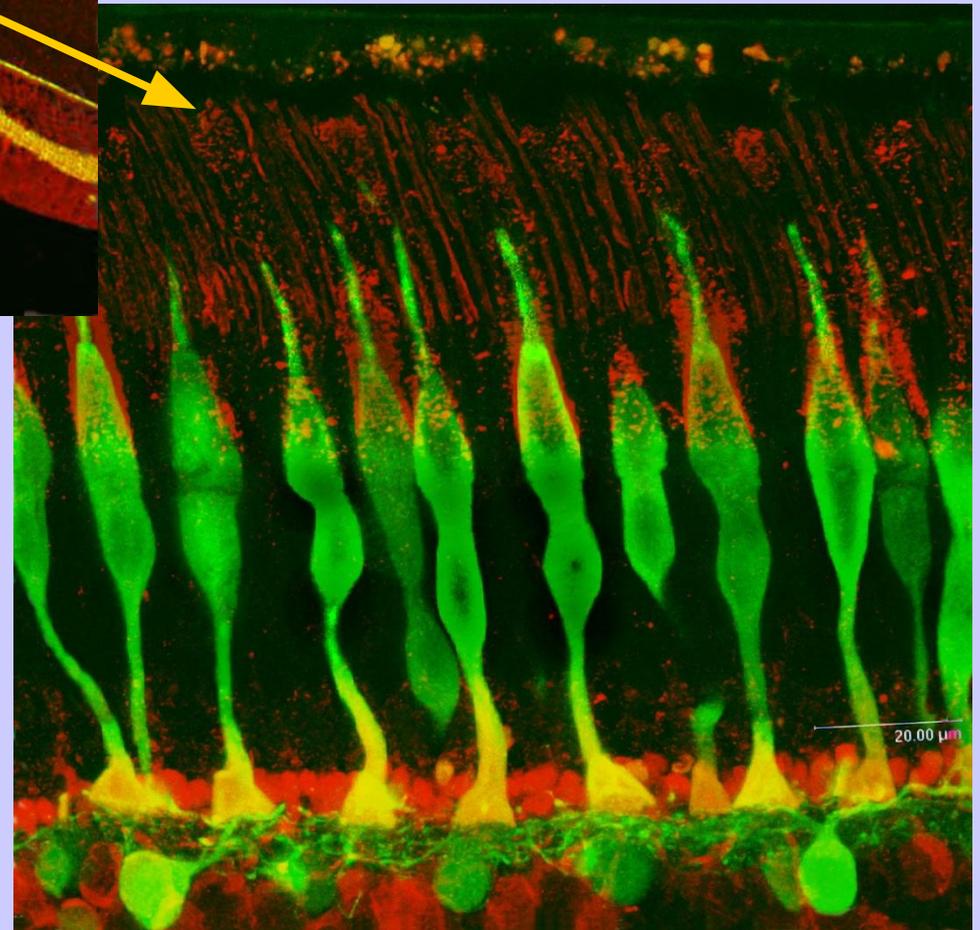
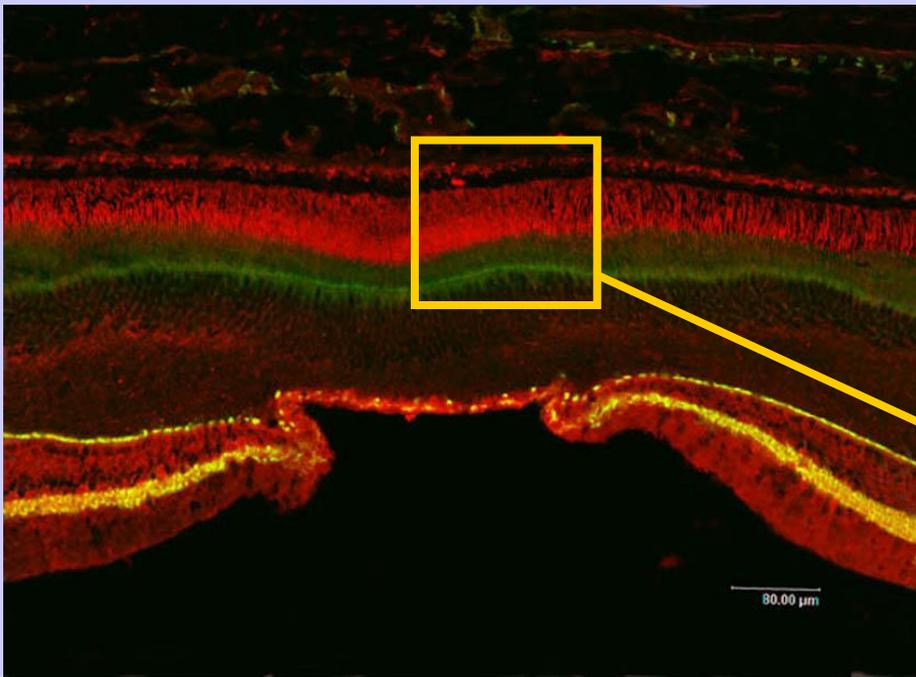


# Существуют ли у разных глаз гомологичные элементы?



Walter J. Gehring,  
Professor at the Biozentrum  
of the University of Basel,  
Switzerland.

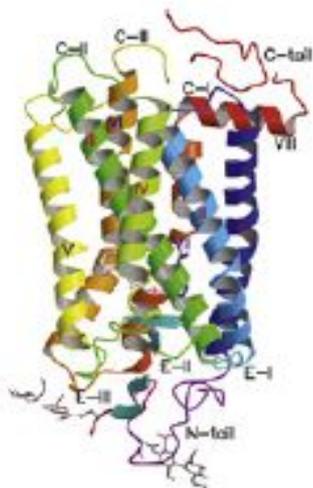




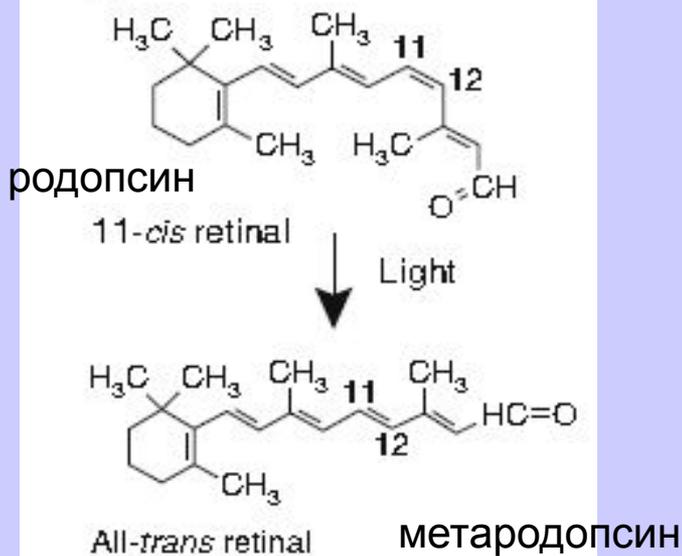
**Фоторецепторы** — светочувствительные нейроны, расположенные в сетчатке глаза. Фоторецепторы превращают световой сигнал в электрический. Зрительный пигмент в наружном сегменте фоторецептора «собирает» фотоны и инициирует каскад биохимических реакций, меняющих мембранный потенциал (заряд мембраны) клетки.

# РОДОПСИН

A

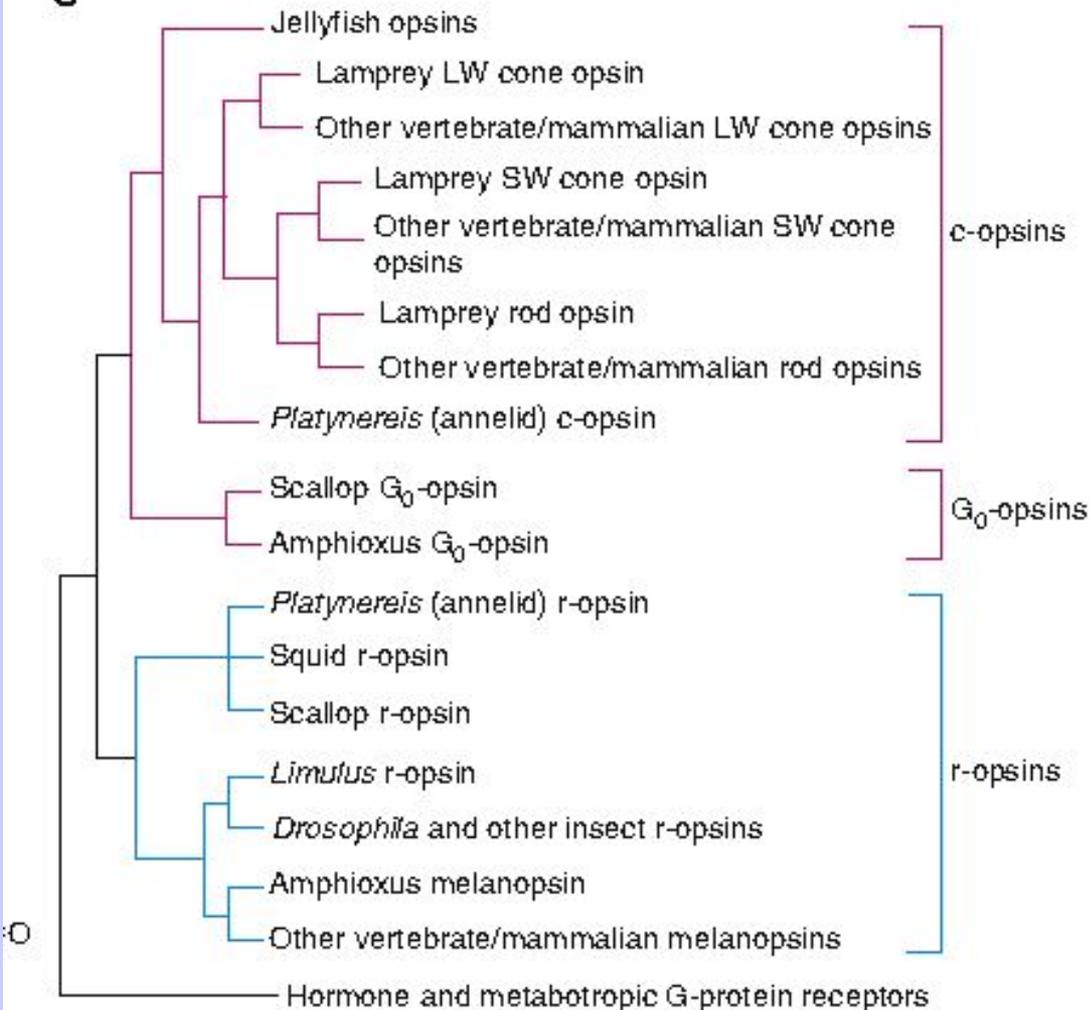


B

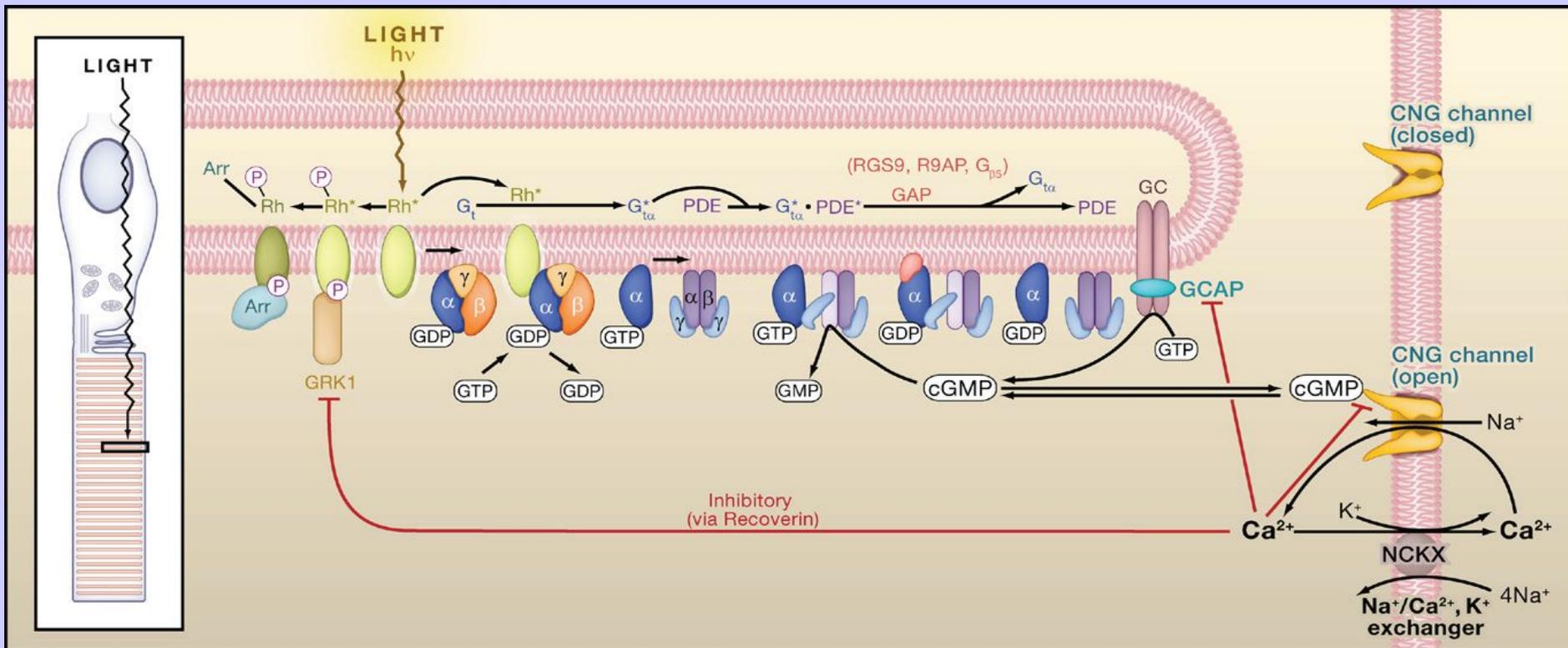


# Присутствие зрительных пигментов-опсинов в фоторецепторах разных животных

C

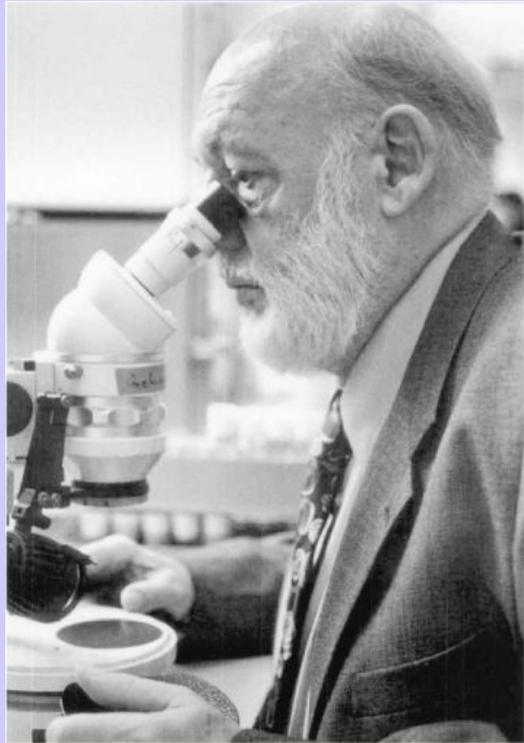


## ФОТОТРАНСДУКЦИОННЫЙ КАСКАД



Под воздействием света родопсин переходит в активную форму, Rh\*, которая активизирует каскад биохимических реакций. Этот каскад регулирует работу ионных каналов, что позволяет транспортировать ионы через мембрану клетки и, таким образом, менять ее потенциал.

# Существуют ли у разных глаз гомологичные элементы?



Walter J. Gehring,  
Professor at the Biozentrum  
of the University of Basel,  
Switzerland.

