АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ТРУДЫ ЗООЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
ТОМ 177

ИССЛЕДОВАНИЯ МОНОГЕНЕЙ

Под редакцией О. Н. Бауера и О. Н. Пугачева

ЛЕНИНГРАД
1988

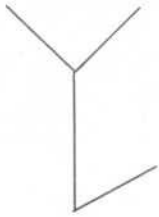
ТРУДЫ ЗООЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА АН СССР, 1988, Т. 177
USSR ACADEMY OF SCIENCES
PROCEEDINGS OF THE ZOOLOGICAL INSTITUTE, LENINGRAD, 1988, VOL. 177

О. Н. Пугачев

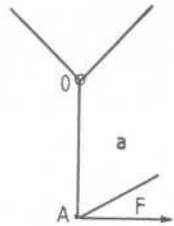
О ПРИНЦИПАХ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА СРЕДИННЫХ КРЮЧЬЕВ НИЗШИХ МОНОГЕНЕЙ

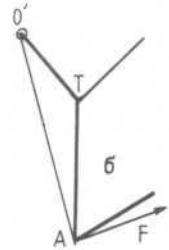
Вся система класса Monogenea, в особенности подкласса Polyonchoinea, основана на строении органов прикрепления. Б. Е. Быховский (1957) сформулировал положение о ведущей роли этих органов в эволюции моногеней. До настоящего времени работ, посвященных исследованию процесса прикрепления моногеней, сравнительно немного (Быховский, Нагибина, 1968; Герасев, 1977, 1981; Гусев, 1969; Kern, 1966, 1971; Llewellyn, 1960; Glaser, 1965 и др.). В основном в этих работах описывается процесс прикрепления отдельных видов, указывается на разнообразие способов прикрепления и выделяются отдельные способы работы срединных крючьев и всего прикрепительного аппарата. Детальная реконструкция мышечной системы прикрепительного диска также пока не дает оснований для каких-то общих представлений о процессе прикрепления, так как отсутствуют какие-либо принципы морфофункционального анализа, приложимые для всех низших моногеней. Кроме того, накопление такого рода данных — дело длительное, поэтому мы сочли целесообразным, исходя из самых элементарных физических представлений, попытаться разработать принципиальную схему морфофункционального анализа срединных крючьев — основной структуры, ответственной за прикрепление червей.

Любой срединный крючок можно представить в абстрактной форме как рычаг сложной конфигурации (рис. 1,*1*). Этот сложный рычаг является вращающейся вокруг некоторой точки системой. Сила *F*, с которой крючок вонзается в ткани хозяина, действует перпендикулярно оси крючка, т. е. по касательной к окружности с радиусом *OA*, если *O* — точка вращения (рис. 1, *2а*), или по касательной к окружности с радиусом *O'A*, если точка вращения крючка *O'* (рис. 1, *2б*). Из этого следует, что угол между линией действия силы и осью крючка (лезвием) постоянен. Сила *F* по отношению к острию крючка по правилу параллелограмма сил может быть разложена на две составляющих — F_1 — силу укола и F_2 — силу резания. Сила укола (F_1) действует вдоль грани острия, а сила резания (F_2) — перпендикулярно ей (рис. 1, *3*). Этот способ

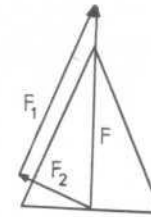


1

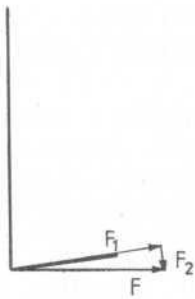




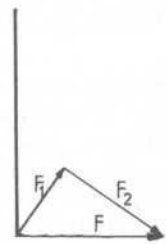
2



3

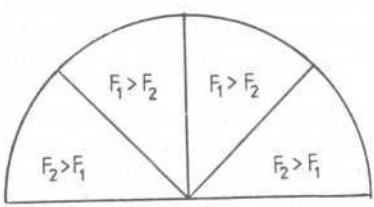


4

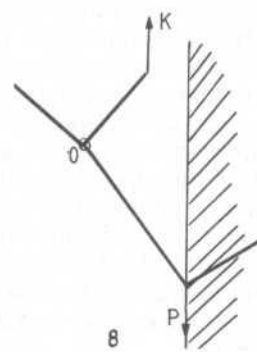


5

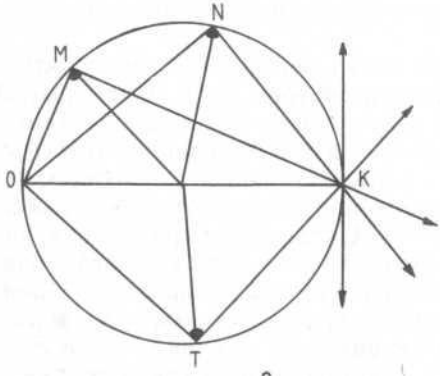
6



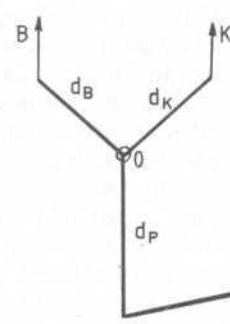
7



8



9



10

применил Л. С. Гликман (1964) при анализе функционирования зубов ископаемых ламноидных акул, что позволило ему обосновать новую систему этой группы животных.

Рассмотрим процесс внедрения лезвия крючка в ткани хозяина в зависимости от угла между основной частью крючка и острием, когда положение точки вращения соответствует случаю, приведенному на рис. 1, *2а*. Этот процесс может быть разложен на два этапа: прокол и дальнейшее внедрение. Можно полагать, что острие подводится к поверхности тканей хозяина под углом, близким к 90°.

1) Лезвие крючка составляет с основной частью (осью) угол, близкий к 90° (рис. 1, *4*).

И в момент прокола, и в процессе дальнейшего внедрения крючка в ткань хозяина $F_1 > F_2$, т. е. сила укола больше силы резания.

2) Лезвие крючка составляет с основной частью угол меньше 90° (рис. 1,*5*).

Для этого типа крючьев $F_2 > F_1$, т. е. сила резания больше силы укола, если угол меньше 45°. Представляется очевидным, что когда этот угол составляет 45° $F_1 = F_2$, если он больше 45°, то $F_1 > F_2$.

3) Лезвие крючка составляет с основной частью угол больше 90° (рис. 1,*6*).

В этом случае, если угол меньше 135° $F_1 > F_2$, если он равен 135° $F_1 = F_2$, и, наконец, если этот угол больше 135° $F_2 > F_1$. Таким образом, крючья, у которых угол между острием и основной частью составляет 45—90° и 90—135°, можно охарактеризовать как распорку или клещи, в то время как крючья, у которых этот угол составляет 0—45° и 135—180°, как якорь (рис. 1,7). Можно предположить также, что крючья из первой группы, если и могут при внедрении разворачиваться, то преимущественно навстречу друг другу, тогда как крючья из второй группы (в особенности с углом в 135—180°) могут разворачиваться в противоположные стороны.

Несомненно, это предположение требует проверки на конкретном живом материале. Представляется вероятным, что в группу

Рис. 1. *1* — представление срединного крючка в виде рычага сложной конфигурации; *2, а, б* — возможные положения точки вращения срединных крючьев. *О* и *О'* — точки вращения, *А* — точка перехода основной части в острие, *Т* — точка перехода рукояток в основную часть, *F* — сила, с которой крючок вонзается в ткани хозяина; *3* — составляющие силы *F* по отношению к острию крючка. F_1—сила укола, F_2 — сила резания; *4* — соотношение сил F_1 и F_2, когда лезвие крючка составляет с основной частью угол близкий к 90°; *5* — то же, когда угол между лезвием и основной частью меньше 90°; *6* — то же, когда угол между лезвием и основной частью больше 90°; *7* — диаграмма, позволяющая определить тип крючка по углу между лезвием и основной частью; *8* — силы, действующие на крючок после закрепления червя. *К* — сила мышц червя, *Р* — сила, действующая со стороны тканей хозяина; *9* — объяснения в тексте; *10* — максимальные плечи сил, действующих на крючок. *К, В* — силы мышц червя, $d_к$ и $d_в$ — их максимальные плечи, d_p — максимальное плечо силы Р, действующей со стороны тканей хозяина

крючьев 135—180° следует отнести крючья с распрямленным лезвием (типа *D. vastator).*

Как уже отмечалось выше, теоретически возможны два варианта положения точки вращения рычага (рис. 1, *2а, б*). Можно себе представить и третий вариант — это комбинация первого и второго. Тем не менее представляется целесообразным разобрать два крайних варианта.

Рассмотрим внедрение крючка в ткани хозяина в зависимости от угла между острием и основной частью, когда точка вращения рычага находится на концах рукояток (рис. 1, *2б*). Эта точка может фиксироваться системой мышечных пучков при отсутствии соединительной пластинки или утрате ею связи с срединными крючьями.

Во всех этих случаях сила *F* действует перпендикулярно линии, соединяющей точку вращения и точку приложения силы (рис. 1, *2б*). Так как эта линия не совпадает с основной частью крючка, то в этом случае будет иметь значение еще и угол между рукояткой и основной частью. Чем больше угол между острием и *O' A* или чем меньше угол *ATO',* тем больше F_2 и меньше F_1. Соответственно, чем ближе этот угол к 180°, тем меньше F_2 и больше F_1, что напоминает вариант крючка с углом между острием и основной частью в 90° и точкой вращения по первому типу (рис. 1, *2а*). В целом же для случая на рис. 1, *2б* большую, точнее определяющую, роль играет не угол между основной частью и острием, а угол между осью вращения крючка и острием. Изменение этого угла может достигаться за счет изменения угла между рукоятками срединных крючьев или за счет удлинения самой рукоятки, на которой располагается точка вращения. Изменение угла между острием и основной частью крючка в этом случае может приводить к изменению соотношения между силами резания и укола. В значительной степени можно считать, что изменения этих углов в противоположных направлениях приводят к стабилизации этих отношений. Для случая 1, *2б* также приложима диаграмма (рис. 1,*7*), но для входа в нее необходимо использовать угол между осью вращения и острием. Таким образом, при неизменном угле между основной частью срединного крючка и острием только за счет изменения угла между основной частью и рукояткой при условии, что точка вращения находится на концах рукояток, возможно изменение соотношения между силой укола и силой резания. Следовательно, центральной проблемой в подобного рода анализе является определение положения точки вращения крючка.

Рассмотрим функциональное значение рукояток и основной части крючка. На крючок в процессе его внедрения в ткань и после завершения процесса закрепления действуют две силы: *P* — сила, противодействующая со стороны тканей хозяина в процессе прикрепления, или сила, которую надо компенсировать червю, чтобы удержаться, и *K* — сила мышц червя, компенсирующая силу *P* (рис. 1,*8*). Нас будет интересовать только момент равновесия

этих сил, т. е. момент, когда червь закрепился. Для этого анализа потребуются два правила.

Правило моментов. Тело, способное вращаться вокруг закрепленной оси находится в равновесии, если алгебраическая сумма моментов приложенных к нему сил относительно этой оси равна нулю:

$$M = \sum F \mid d,$$

где M — момент силы F, d — плечо силы F или расстояние от оси вращения до линии действия силы.

Правило рычага. Рычаг находится в равновесии, когда действующие на него силы обратно пропорциональны плечам. В нашем случае $K/P = d_p/d_k$. Для дальнейшего анализа важно также показать, что линия, соединяющая точку вращения крючка и точку приложения силы, всегда является максимальным плечом этой силы. Это необходимо для того, чтобы рассматривать оптимальные функциональные характеристики крючьев и их частей. В целом эта задача сводится к следующей: пусть имеются две точки О и K. Если через точку K провести любое число прямых, а из точки О опустить к ним перпендикуляры, то точки пересечения будут укладываться в окружность диаметром OK. Точка O — точка вращения; K — точка приложения силы; линии, проходящие через точку K — линии действия силы; перпендикуляры — плечи этой силы. Пусть мы имеем три прямых, проходящих через точку K, отрезки ON, OM, OT — перпендикуляры. Соответственно треугольники OMK, OKT и ONK — прямоугольные с общей гипотенузой OK. Точки M, N и T равноудалены от середины отрезка OK, так как медиана в прямоугольном треугольнике равна половине гипотенузы. Единственной кривой, все точки которой равноудалены от некой точки, является окружность. Диаметр же окружности (в данном случае OK) является максимальным отрезком, который соединяет две точки окружности. Таким образом, линия, соединяющая точку вращения рычага и точку приложения силы, является максимальным плечом этой силы, если она может быть разнонаправленной (рис. 1,*9*).

Рассмотрим три типа крючьев с разным соотношением рукояток. Пусть точка вращения располагается по варианту на рис. 1,*2а*.

I тип. Рукоятки равны (рис. 1, *10*).

Для того, чтобы крючок оставался в ткани хозяина, необходимо выполнение следующего условия $K/P = d_p/d_k$ (правило рычага). Для «вонзания» крючка необходимо, чтобы $Kd_k > Pd_p$ или $K/P > d_p/d_k$. Для «вытаскивания» его из ткани хозяина $Bd_в > Pd_p$ или $B/P > d_p/d_в$.

Естественно, что во всех трех случаях сила P разнонаправлена, но мы условились, что будем анализировать только максимальные характеристики. Нетрудно видеть, что $K/B = d_в/d_k$, т. е. для этого типа крючьев силы для «вонзания» и «вытаскивания» равны.

II тип. Внутренний отросток больше наружного.

В данном случае, исходя из установленных выше отношений, можно показать, что этот крючок легче «вонзить», чем «вынуть», так как $d_к > d_в$.

III тип. Наружный отросток больше внутреннего.

Для этого типа крючьев, так как $d_в > d_к$, характерно, что его «легче вынуть, чем вонзить».

Пусть точка вращения расположена так, как на рис. 1, *2б* (рис. 2, *1*). Если при вонзании точкой вращения является *O'*, то при вытаскивании — *O''*. Очевидно, что максимальным плечом сил *B* и *K* является один и тот же отрезок $d_{вк}$. Максимальным плечом силы *P* при «вонзании» является $d_{рк}$, а при «вытаскивании» — $d_{рв}$. Так как максимальным плечом сил *B* и *K* является $d_{вк}$, то $K/B = d_{рв}/d_{рк}$. Величина $d_{рк}$ и $d_{рв}$ в данном случае зависит не только от длины рукояток, но и от углов, которые образуют рукоятки с основной частью. Поэтому при сохранении отношений *K* и *B* у II и III типа крючьев равенство этих сил достигается только при условии равенства рукояток и углов, которые они составляют с основной частью крючка. Таким образом, по соотношению частей крючка можно установить соотношения сил *K*, *B* и *P*.

Для того, чтобы увеличивать эффективность действия крючка при «вонзании», необходимо увеличивать $d_к$ и уменьшать $d_в$, а для «вытаскивания» крючка — наоборот (тип 1, *2а*). В случае 1, *2б* для «вонзания» и «вытаскивания» выгодно увеличивать базу крючка ($d_{вк}$), уменьшать отростки и основную часть. Основная часть крючка играет роль максимального плеча силы *P*, силы, которая противодействует силам *B* и *K*, приводящим в движение крючья (рис. 1, *2а*), и существенно влияет на максимальное плечо этой силы в случае 1, *2б*. Соответственно ее во всех случаях выгодно уменьшать, что может достигаться и за счет изгибания (наподобие *D. vastator*).

Отметим еще одну закономерность. Если мышцы, крепящиеся к одной рукоятке, действуют в диаметрально противоположных направлениях, то они выступают в качестве мышц-антагонистов, как если бы они прикреплялись к разным рукояткам и действовали в одном направлении. На рис. 2, *2* показаны соотношения направлений мышц-антагонистов.

Вероятно и угол, на который может поворачиваться крючок, играет важную роль в успешном закреплении червя. Вращение заканчивается только тогда, когда точка вращения окажется на линии действия силы, т. е. когда момент вращения станет равным нулю. Если предположить, что сила действует по одному и тому же направлению в процессе поворота крючьев, то весь крючок повернется на угол $y = 180° — x$, где *x* — угол, который составляет линия действия силы с рукояткой крючка (вариант 1, *2а*) (рис. 2, *3*). Соответственно, чем меньше *x*, тем больше угол поворота *y*. В

этом случае изменение угла поворота может достигаться за счет изменения направления действия силы, т. е. за счет изменения направления хода мышечных пучков, или путем изменения угла между рукоятками при неизменной направленности мышечных пучков. В случае 1, *2б* $y=180°-x$, где x — угол между линией действия силы и базой крючка ($d_{вк}$, на рис. 2, *1*) (рис. 2, *4*). Для изменения угла поворота в этом случае, кроме изменения направленности мышечных пучков, может быть использовано изменение соотношений между рукоятками. При этом, если увеличивается внутренний отросток, то x увеличивается и соответственно уменьшается угол поворота y, а при увеличении наружного отростка угол поворота увеличивается. Все эти рассуждения справедливы и для пары сил, только для мышцы-антагониста изменение угла поворота достигается противоположными изменениями элементов крючка. Таким образом, можно установить максимальные углы, на которые могут поворачиваться крючья при данном направлении мышечных пучков.

Попытаемся оценить и минимальный угол, на который необходимо отклонить крючок перед «вонзанием». Это можно сделать, если предположить, что в момент «вонзания» острие приближается к поверхности тканей хозяина под углом, близким к 90°. Если для крючьев, острие которых составляет с основной частью угол, близкий к 90° или больше, это не столь существенно, то для крючьев, у которых острие составляет с основной частью угол меньше 90°, это весьма актуально. Очевидно, что в этом случае крючок надо отвести на угол равный 90° — β (где β — угол между острием и основной частью крючка) (рис. 2, *5*). Амплитуда вращения зависит в случае 1, *2а* от длины рукояток и углом между ними, а в случае 1, *2б* — от величины базы срединного крючка, что вообще также связано с длиной рукояток и углом между ними.

Исходя из всего вышеизложенного предлагается следующая рабочая схема морфофункционального анализа:

1) определение точки вращения;

2) определение типа крючка (распорка, клещи, якорь) и соотношения сил «вонзания» и резания (F_1 *и* F_2).

3) определение максимальных плеч сил и соотношения сил «вонзания» и вытаскивания;

4) определение максимальных и минимальных углов поворота, для чего устанавливаются линии действия сил, соответствующие ходу основных мышечных пучков.

Следует отметить, что все приведенные выше рассуждения справедливы для сил, действующих в плоскости крючка. Все мышцы, действующие вне этой плоскости способствуют в той или иной степени развороту крючка, а также в какой-то степени и повороту крючка. Можно было бы оценить влияние и этих мышечных пучков, разлагая вектор силы этих мышц на два вектора: перпендикулярный плоскости крючка (F_p) — составляющая, ответственная за разворот, и вектор, лежащий в плоскости крючка ($F_п$) — со-

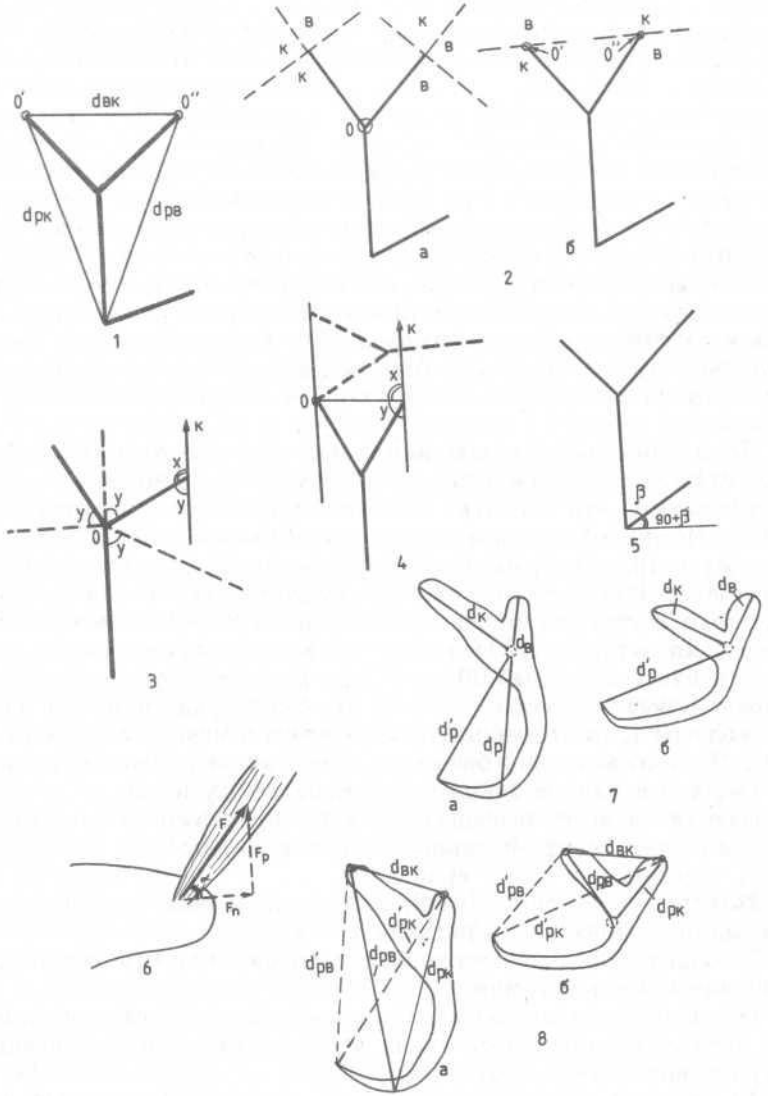


Рис. 2. *1* — максимальные плечи сил, действующих на крючок. Положение точек вращения как на рис. 1, *2б*. Объяснение в тексте; *2а*, *б* — возможные направления линий действия мышц-антагонистов в зависимости от положения точки вращения. *К* — мышцы, ответственные за «вонзание» и удерживание крючка в тканях хозяина, *В* — мышцы, ответственные за вытаскивание крючка; *3* — определение угла поворота крючка в зависимости от направленности мышечного пучка. Точка вращения как на рис. 1, *2а*. Объяснение в тексте; *4* — то же. Точка вращения как на рис. 1, *2б*. Объяснение в тексте; *5* — определение минимального угла, на который должен быть

ставляющая, ответственная за вращение крючка в его плоскости (рис. 2, *6*). Тогда сила, ответственная за вращение крючка в его плоскости, будет представлять собой сумму сил мышц, действующих в плоскости крючка и составляющих сил других мышц в этой плоскости. Однако подобный анализ представляется достаточно сложным. Предлагается оценивать только вклад мышцы в поворот крючка по соотношению F_p/F_m, что равно $\sin\alpha$, где α — угол составленный мышцей и плоскостью крючка. Все это требует реконструкций мышечного аппарата прикрепительного диска.

В результате предлагается схема промеров срединных крючьев, где каждый промер является максимальным плечом соответствующей силы (рис. 2, *7, 8*). Характерно, что крючья с распрямленным лезвием после внедрения в ткани хозяина практически сводят к нулю плечо силы *P*, действующей со стороны тканей хозяина и возникающей при воздействии на тело червя силы тока воды.

В качестве примера проведем такой анализ крючьев *D. alatus*. Данные о строении мышечной системы взяты из работы П. И. Герасева (1981) (рис. 3). В этом случае с большой долей вероятности можно считать, что точка вращения срединного крючка находится в месте его соединения с соединительной пластинкой. Угол между лезвием и основной частью $\approx 60°$, соответственно $F_1 > F_2$, поэтому по типу действия этот крючок можно охарактеризовать как якорь. Мышцы *1* и *3* ответственны за «вонзание», а мышца *2* — за вытаскивание крючка. Мышца *4* действует вне плоскости крючка и, вероятно, в большей степени, ответственна за его разворот. Отметим, что к наружному отростку крепятся две мышцы-антагониста — *2* и *3*. Соответственно силы «вонзания» и вытаскивания относятся как $K/B = d_в/d_к \approx 24/54 \approx 0{,}4$ и $K'/B = d_в/d_к \approx 24/16 \approx$ $\approx 1{,}5$. Следовательно, мышца *1* действует в 4 раза эффективнее мышцы *3*, и эта мышца у внутреннего отростка гораздо мощнее. Отношение сил *K* и *B* к силе *P* (сила действующая со стороны тканей хозяина и тока воды: $K/P = d_p/d_к \approx 27/54 \approx 0{,}5$; $K'/P = d_p/d_к \approx 27/16 \approx 1{,}7$; $B/P = d_p/d_в \approx 27/24 \approx 1{,}1$. Максимальный угол поворота крючка под действием мышцы *1* $y = 180° - x \approx$ $\approx 180° - 150° = 30°$, что гораздо меньше такового при действии мышцы *3* $y = 180° - x \approx 180° - 45° = 135°$. Видимо, мышца *1* ответственна за проникновение в ткани хозяина (первый удар), мышца *3* — за дальнейшее более глубокое внедрение, а мышца *4* — за разворот крючка после проникновения в ткани хозяина. Минимальный угол, на котором необходимо отклонить крючок перед внедрением, равен $90° - \approx 90° - 65° = 25°$.

отведен крючок перед вонзанием. Объяснение в тексте; *6* — определение вклада мышцы, действующей вне плоскости крючка, в его поворот в этой плоскости и разворот в плоскости перпендикулярной плоскости крючка. Объяснение в тексте; *7а, б* — максимальные плечи сил крючьев двух типов. Точка вращения как на рис. 1, *2а*. d'_p — максимальное плечо силы *P* в начале процесса «вонзания», d_p — максимальное плечо силы P по окончании процесса закрепления. Остальные обозначения как на рис. 1, *10*. На рис. 2, *7б* — $d_p \approx 0$; *8* — то же. Точка вращения как на рис. 1, *2б*. Обозначения как на рис. 2, *1* и 2, *7*

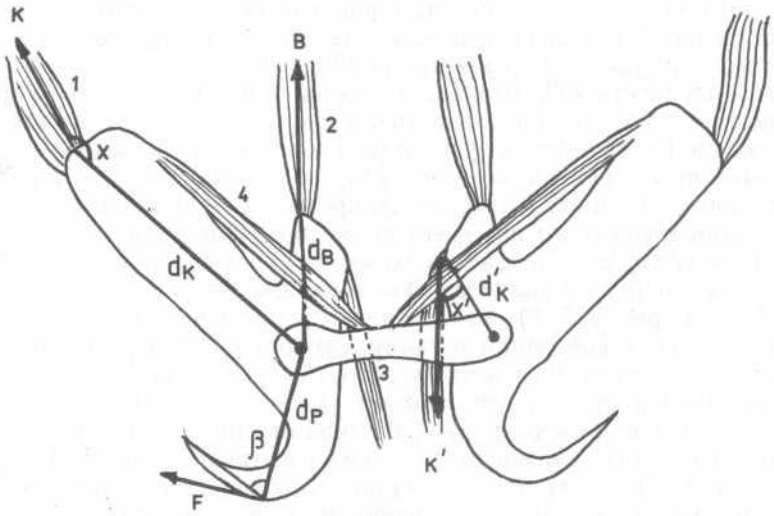


Рис. 3. Пример морфофункционального анализа срединных крючьев *D. alatus*
Объяснение в тексте

Исходя из предложенных принципов морфофункционального анализа срединных крючьев, представляется очевидным, что срединные крючья *Gyrodactylus* не являются вращающейся системой. В данном случае срединные крючья выполняют функцию упора, приподнимая свод прикрепительного диска. По-видимому, этим обусловлено и особое строение соединительной пластинки этих червей, а также перенесение функции прикрепления в основном на краевые крючья. Эти особенности прикрепительного диска гиродактилид позволяют им закрепляться как на поверхностях со сложным «рельефом», так и на «гладких».

Изложенные в работе принципы морфофункционального анализа несомненно при получении данных об организации мышечной системы прикрепительного диска разнообразных низших моногеней будут дополняться и уточняться. Однако представляется, что именно в этом направлении следует разрабатывать основы анализа морфофункциональных закономерностей в эволюции прикрепительных образований низших моногеней.

ЛИТЕРАТУРА

Быховский Б. Е. Моногенетические сосальщики, их система и филогения М.; Л.: Изд-во АН СССР. 1957. 509 с.

Быховский Б. Е., Нагибина Л. Ф. Triacanthinella — новый род морских моногеней (Monogenoidea) с трехиглых спинорогов // Паразитология. 1968. Т. 2, вып. 2. С. 148—158.

Герасев П. И. Механизм прикрепления Dactylogyrus extensus и D. achmerowi (Monogenoidea) к жабрам хозяина // Паразитология. 1977. Т. 1, вып. 6. С. 513—519.

Герасев П. И. Мышечные системы прикрепительных дисков и механизм прикрепления некоторых дактилогирусов (Monogenea, Dactylogyridae) // Паразитол. сб. ЗИН АН СССР. Л.: Наука. 1981. Т..30. С. 190—205.

Гликман Л. С. Акулы палеогена и их стратиграфическое значение. М.; Л.: Наука. 1964. 229 с.

Гусев А. В. История фауны и адаптации к прикреплению пресноводных моногеней Евразии и Северной Америки // Паразитол. сб. ЗИН АН СССР. Л.: Наука, 1969. Т. 24. С. 106—127.

Glaser H.-Y. Zur Kenntnis der Gattung Dactylogyrus Diesing, 1950 (Monogenoldea) // Ztschr. Parasitehk. 1965. Bd. 25. S. 459—484.

Kern G. C. The adhesive mechanism of the monogenean parasite Tetraonchus monenteron from the gills of the pike (Esox lucius) // Parasitology. 1966. Vol. 56. P. 505—510.

Kern G. C. The attachment of the ancyrocephalid monogenean Haliotrema balisticus to the gills of the tigger fish, Balistes capriscus (= carolinensis) // Ibid. 1971. Vol. 63. P. 157—162.

Llewellyn J. Amphibdellid (Monogenean) parasites of electric rays (Torpedenidae) // J. mar. biol. ass. U. K. 1960. Vol. 39. P. 561—589.

Summary

O. N. Pugachev

PRINCIPLES OF THE FUNCTIONAL MORPHOLOGY ANALYSIS OF THE LOWER MONOGENEA ANCHORS

The basis of the Monogenea system is the structure of the adhesive apparatus of these worms. It is the attempt to find the relationships between anchor morphology and its function. The basis of our approach is the idea of anchor as the liver with compound configuration. The next working scheme is suggested: 1) discovering the point of rotation; 2) discovering the anchors type («outside calliper», «inside calliper», «anchor») and alignment of «piercing» and «slicing» forces; 3) discovering the maximum force arms and alignment of «piercing» and «draging out» forces; 4) discovering the maximum and minimum rotation angles. It seems that this approach can be useful for the working out of basis of the functional morphology analysis of the regularities in evolution of the adhesive apparatus of the lower monogeneans.