

Рыбы-брызгуны давно поражали ученых удивительной способностью охотиться на насекомых, сбивая их сильной струей воды с надводной растительности. До сегодняшнего дня считалось, что рыба может столь сильно плевать благодаря внутренним, доселе неописанным, структурам самого брызгуна. Но итальянские специалисты, проведя кинематический анализ водной струи, показали, что никаких специальных структур брызгуну не требуется. Рыба просто умело применяет законы гидродинамики, используя нестабильные свойства струи, что, кстати, напоминает механизм работы струйного принтера.

Рыбы-брызгуны, живущие в мангровых болотах, выработали уникальный способ охоты на насекомых. Как только они замечают свою жертву, сидящую на листе над водой, они метко плюются в нее сильной струей воды и сбивают насекомое, которое падает в воду и благополучно съедается. Со времен описания замечательного способа охоты брызгунов (а описан он был очень давно — в 1764 г.) ученые много ломали головы над механизмом, с помощью которого рыба может так сильно плевать. Ученые искали какие-либо внутренние структуры наподобие тех, что известны у хамелеонов и саламандр, у которых мышечная энергия медленно накапливается в коллагеновых волокнах, а затем быстро высвобождается, в результате чего язык «выстреливает» с ускорением 500 м/с^2 . Но никаких морфологических структур, похожих на описанный механизм катапульты у хамелеона, у брызгунов найдено не было.

Чтобы разобраться в этом механизме, физики из Миланского Университета засняли процесс охоты полосатого брызгуна *Toxotes jaculatrix* на сверхскоростную видео-камеру (даже страшно представить — 1000 кадров в секунду!), после чего провели кинематический анализ видеок кадров. Анализ дал удивительные результаты. Оказывается, брызгуну совсем не нужен особый внутренний механизм плевания, просто рыбы меняют скорость и ускорение выплевываемой жидкости и искусно используют законы гидродинамики.

В исследовании участвовали два брызгуна сходного размера (длиной 67 и 61 мм), которых поместили в плоский аквариум и заставили плевать через рамку с узкой щелью. Это было сделано для того, чтобы рыба всегда располагалась в профиль к видеокамере (как на рис. 1). Только в этом случае можно было получить снимки струи с постоянного ракурса. Оказалось, что струя вылетает изо рта брызгуна с ускорением

(рис. 1, A–C; рис. 2, A–B), а потом летит почти по баллистической траектории (рис. 1, D–E), то есть в основном под действием силы тяготения и силы аэродинамического сопротивления воздуха. В струе можно было выделить большую головную часть и тонкий «хвост», причем головная часть постепенно увеличивалась в процессе полета (рис. 1, G, I). В диапазоне расстояний, на которые плевали рыбы (97–153 мм), траектория полета струи была сравнима с линейной независимо от угла плевка (рис. 1, H). Но у рыб все-таки наблюдался предпочтительный угловой сектор от 70 до 80 градусов (рис. 1, J), под которым они чаще всего плевали.

Авторы попытались подробно разобраться в том, что же происходит в первые 10–15 мс плевка. Струя воды вылетает изо рта рыбы со сравнительно малой скоростью 2 м/с и с сильным ускорением 200–400 м/с² (рис. 2, A–B). В течение 15 мс ускорение падает до нуля. Начальное ускорение головной части струи приводит к скорости около 4 м/с. Примечательно, что постепенно увеличивается размер головной части (рис. 2, C), что свидетельствует о более высокой скорости хвостовой, чем головной частей струи. Головная часть увеличивается за счет того, что жидкость переходит туда из хвоста. Почему это происходит? Авторы утверждают, что это получается просто потому, что сама рыба меняет скорость выплевываемой жидкости, постепенно ее увеличивая.

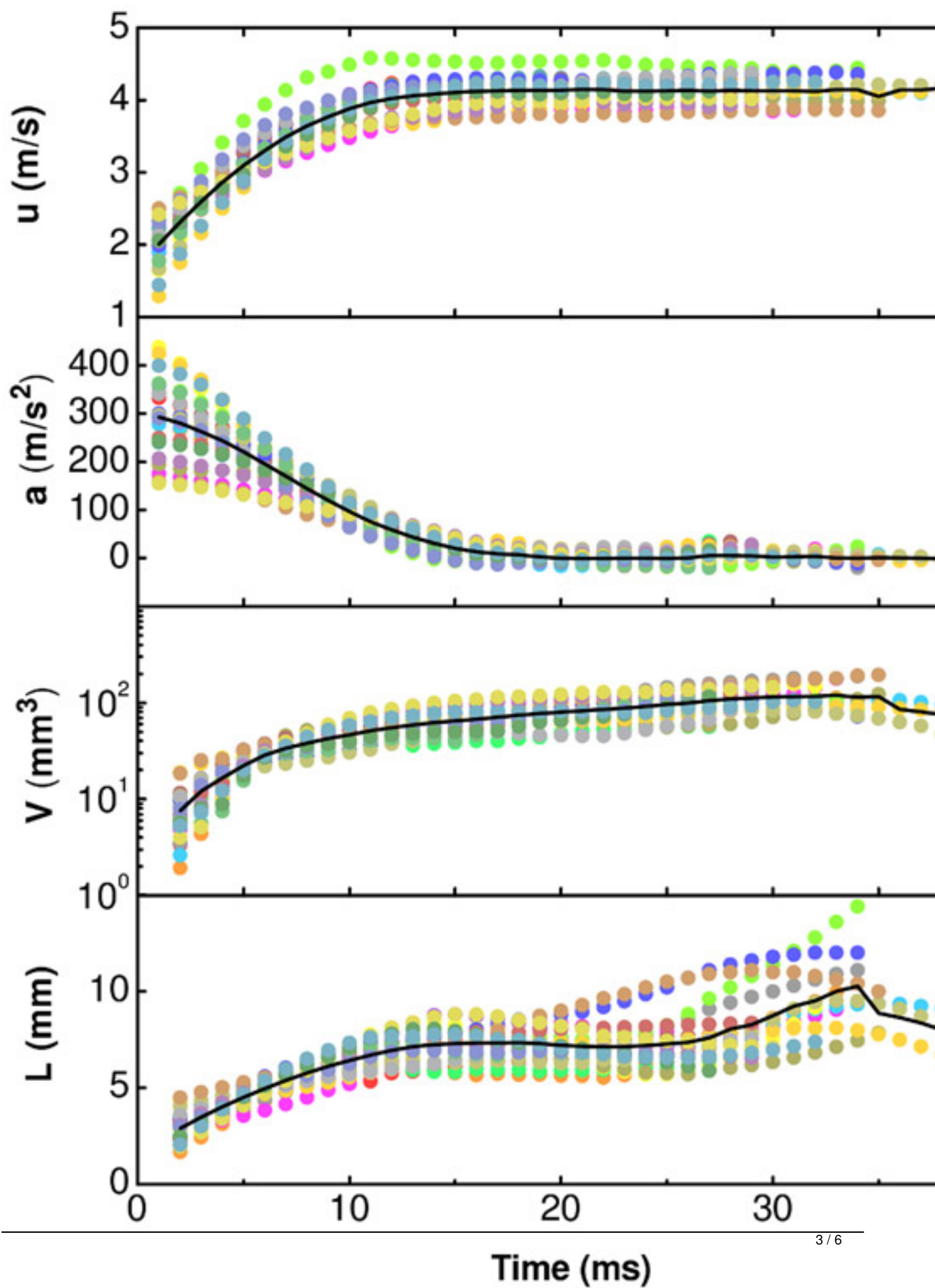


Рис. 2. Кинематика головной части струи. Изменения скорости ((

B

Авторы рассчитали, как меняется сила головной части струи во время полета и какова она в момент удара о насекомое, используя всем известный второй закон Ньютона. Они, конечно, сделали некоторые допущения: по расчетам жертва должна быть неподвижна, поверхность ее полностью смачиваема, а отражение от насекомого должно полностью отсутствовать. В результате они получили постепенно нарастающую силу (рис. 3, A), которая в момент удара достигает в среднем 200 миллиньютонов. Среднее насекомое (например, муха или клоп) массой около 100 мг обычно цепляется за лист с силой примерно 20 мН. Таким образом, сила струи при ударе почти на порядок превышает силу, с которой жертва хватается за субстрат, что объясняет легкость, с которой сбивается насекомое.

Кроме того, физики рассчитали мощность, которую несет головная часть струи. В момент плевка мощность на единицу массы очень мала, потому как сами мышцы, которые задействованы при плевании, очень маленькие (всего 178 мг у одной рыбы и 135 мг у другой). Однако мощность сильно увеличивается за время полета, достигая при ударе величин 2950 и 2820 Вт/кг у первой и второй рыбы соответственно (рис. 3, D). Оказалось, что это существенно более высокие показатели, чем известны для мышц других позвоночных (около 500 Вт/кг).

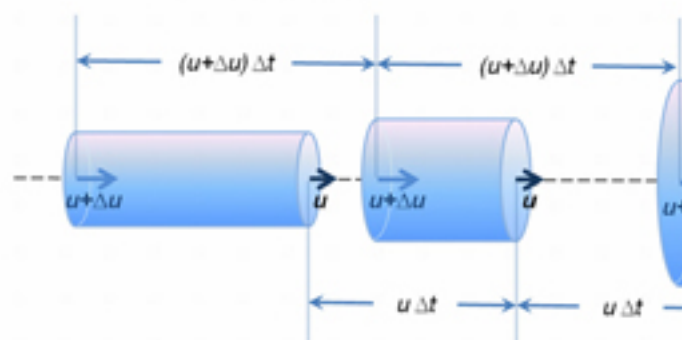
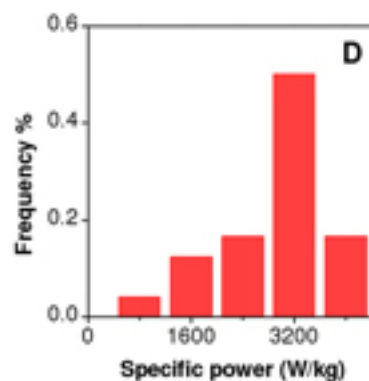
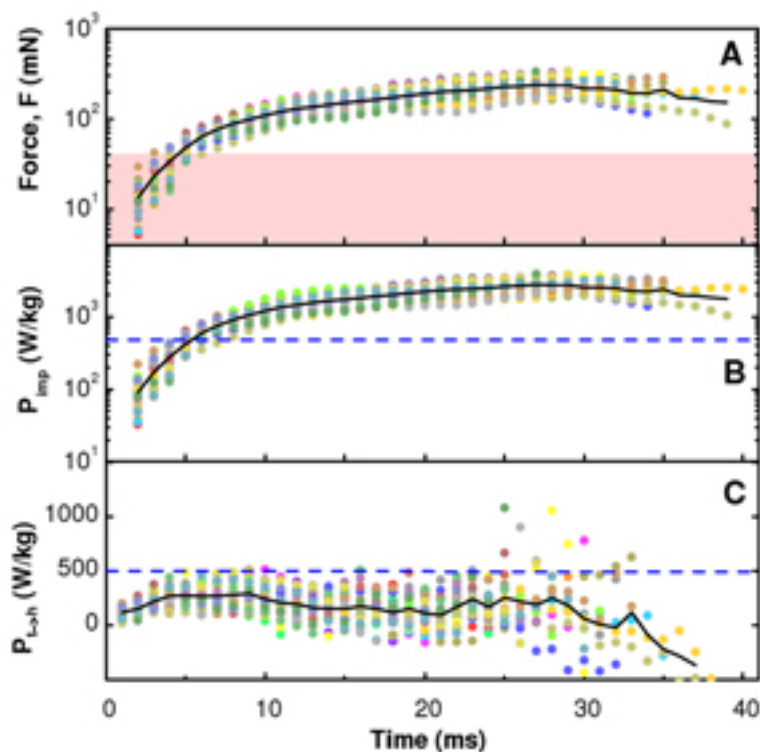


Рис. 3 . Сила и мощность головной части струи. — Временн а

<http://www.kredit911.ru/> - любые виды кредитов под залог имеющейся недвижимости без подтверждения своих доходов . Авторы также посчитали мощность струи, которую должны были бы развивать мышцы при плевке, чтобы задать струе необходимое ускорение, показанное на рис. 2, В. Если предположить, что у нас нет усиливающего гидродинамического механизма, а есть внутренний механизм наподобие механизма катапульты у хамелеона, то изменение мощности, развиваемой мышцами, соответствовало бы графику на рис. 3, В. Однако в реальности у брызгуна мощность мышц колеблется существенно ниже уровня 500 Вт/кг (Рис. 3, С). Эти результаты прекрасно согласуются с отсутствием внутреннего усиливающего механизма у брызгуна. Они подтверждают, что мощность постепенно передается от мышц к хвостовой части струи, а затем — к ее головной части, что приводит к медленному накоплению энергии во внешней среде.

Авторы проводят любопытную аналогию струи брызгуна с пульсирующей струей

чернильного, или струйного, принтера. Принцип работы струйного принтера показан на рис. 3, Е. В момент начальной фазы ускорения скорость u в передней части струи меньше, чем в хвостовой части. Поэтому в процессе полета струи передний и задний «концы» сближаются и длина цилиндрической секции уменьшается. Поскольку масса и движущая сила цилиндрической секции остаются постоянными, ее радиус увеличивается. Таким образом, в результате мы имеем тонкий и широкий цилиндрический срез, перпендикулярный оси струи. Очень похожую картину мы наблюдаем в водной струе, выплевываемой брызгунами. Не сговариваясь, и человек, и природа используют одни и те же физические законы.

Название рода *Toxotes* означает по-гречески «лучник». Авторы подчеркивают, что это на редкость правильное название. Лучник использует внешнюю силу, натягивая тетиву и запасая тем самым энергию в согнутой дуге лука. Брызгуны также используют внешний механизм для усиления мышечной силы, хотя и основанный на другом принципе. Замечательно то, что эти рыбы обошлись без создания специальных внутренних приспособлений, а всего лишь использовали существующие законы физики.