

Abstract

Evolutionary trade-offs describe how resources (e.g., energy) are allocated between physiological traits improving one feature and deteriorating another one; such trade-offs are crucial to optimize animal fitness in an unpredictable, fast-changing environment. Trade-offs play a central role in the research in both organismal and evolutionary biology. Energy expenditure and energy acquisition are both very susceptible to environmental influences, any disruption may necessitate fundamental shifts in animals' energy metabolism. The ability of an animal to adapt to a constantly changing environment may be constrained by physiologically limited energy budgets. Birds are a common model to study responses to resource constraints as they seem well prepared to deal with a wide range of expected and unexpected environmental challenges. On one side they can easily adapt to slow changing environment with high predictability related to their annual cycle (e.g., temperature) but within that their physiology is still flexible to deal with unpredictable challenges (e.g., contact with new antigen).

The main aim of my thesis was to investigate the effect of environmental challenge on the avian energy metabolism in the context of optimal resource allocation models. The dissertation is based on data collected from three experiments, tailored to investigate the energetic and non-energetic costs of the immune response and physical activity, as well as the potential trade-off between physical activity and immunological response, and the effect of nutrition on the trade-off between the energy use during migration and the protection against oxidative damage. Experiments involved two commonly used bird species for similar studies: Zebra finches (*Taeniopygia guttata*) – for research concerning the costs of the immune response, and European starlings (*Sturnus vulgaris*) – for research that entails a wind tunnel to induce sustained physical activity. Zebra finches were challenged with a novel antigen to activate the immune system and/or increase physical activity by take-off flights. While starlings were challenged with a specific diet and increased physical activity- two weeks with daily flights in the wind tunnel.

The initial results of my experiments on zebra finches allowed me to describe a novel energy trade-off between self-maintenance costs and immune response. Birds with high self-maintenance costs were not able to mount as strong immune response as individuals with lower self-maintenance costs. Those results were not affected by manipulation of different levels of flight activity, so I cannot confirm competition for energy resources between different levels of activity and the immune response. Findings were discussed in the frame of the growing literature concerning the modulation of thermoregulatory demands in birds. The following dataset confirms that immune challenged zebra finches did not drop as low body temperature as the control group during the initial nights after contact with the pathogen. This result promotes that activation of the immune system may be a considerable energetic cost for the organism, but also provides evidence that those costs appear considerably earlier than predicted in the literature. Moreover, the activated immune system was leading to long-term non-energetic costs – increased oxidative damage in plasma. Starlings fed with a diet rich in polyunsaturated fatty acids (PUFAs) had 11% lower flight costs in the wind tunnel in comparison to birds fed with the diet rich in monounsaturated fatty acids (MUFAs) with no significant difference in basal self-maintenance costs. Correspondingly, to costs of the immune response, obvious advantages of PUFAs diet were associated with a significant increase of oxidative damage measured in plasma, which is a long-term cost for the organism.

Collected results help to explain inconclusive results for the costs of the immune response in the field of eco-immunology. My findings raise a new issue about a circadian pattern of energy allocation for costly traits, specifically the role of body temperature in mediating energetic and non-energetic cost. Considering the long-term health and aging implications of oxidative stress presented here: energy savings-oxidative cost trade-off described here could be crucial for a wide range of organisms on the planet.

Streszczenie

Kompromisy ewolucyjne opisują, w jaki sposób zasoby (np. energia) są rozdzielane pomiędzy cechy fizjologiczne poprawiając jedną cechę i pogarszając inną; takie kompromisy mają kluczowe znaczenie dla optymalizacji kondycji zwierząt w nieprzewidywalnym, szybko zmieniającym się środowisku. Kompromisy odgrywają kluczową rolę w badaniach zarówno biologii organizmalnej, jak i biologii ewolucyjnej. Wydatki jak i pozyskiwanie energii są bardzo podatne na wpływy środowiska, a wszelkie zakłócenia mogą wymagać fundamentalnych zmian w metabolizmie energetycznym zwierząt. Zdolność zwierzęcia do przystosowania się do ciągle zmieniającego się środowiska może być ograniczona przez fizjologicznie ograniczone budżety energetyczne. Ptaki są powszechnie stosowanym modelem do badania reakcji na ograniczenia zasobów, gdyż wydają się być dobrze przygotowane do radzenia sobie z szeroką gamą oczekiwanych jak i niespodziewanych wyzwań środowiskowych. Z jednej strony mogą łatwo przystosować się do wolno zmieniającego się środowiska z wysoką przewidywalnością związaną z ich cyklem rocznym (np. temperatura), ale w ramach tego ich fizjologia jest nadal wystarczająco elastyczna, aby radzić sobie z nieprzewidywalnymi wyzwaniami (np. kontakt z nowym antygenem).

Głównym celem mojej pracy doktorskiej było zbadanie wpływu wyzwań środowiskowych na metabolizm energetyczny ptaków w kontekście optymalnych modeli alokacji zasobów. Rozprawa jest oparta na danych zebranych z trzech eksperymentów, zaplanowanych do badania energetycznych i nieenergetycznych kosztów odpowiedzi immunologicznej i aktywności fizycznej, a także potencjalnego kompromisu między aktywnością fizyczną a odpowiedzią immunologiczną oraz wpływu żywienia na kompromis między zużyciem energii podczas migracji, a ochroną przed uszkodzeniami oksydacyjnymi. Eksperymenty obejmowały dwa powszechnie wykorzystywane gatunki ptaków do podobnych badań: zeberki (*Taeniopygia guttata*) – do badań dotyczących kosztów odpowiedzi immunologicznej oraz szpaki (*Sturnus vulgaris*) – do badań, w których wykorzystuje się tunel aerodynamiczny do symulacji lotów. Zeberki zostały poddane kontaktowi z nowym antygenem, aby aktywować układ odpornościowy i/lub zwiększyć aktywność fizyczną podczas lotów startowych. Podczas gdy szpaki zostały poddane działaniu specyficznej diety i zwiększonej aktywności fizycznej – dwa tygodnie z codziennymi lotami w tunelu aerodynamicznym.

Wstępne wyniki moich eksperymentów na zeberkach pozwoliły mi opisać nowy kompromis energetyczny między podstawowymi kosztami utrzymania organizmu a odpowiedzią immunologiczną. Ptaki o wysokich kosztach utrzymania własnego organizmu nie były w stanie wytworzyć tak silnej odpowiedzi immunologicznej, jak osobniki o niższym poziomie metabolizmu podstawowego. Na te wyniki nie miała wpływu manipulacja poziomem aktywności fizycznej, więc nie mogę potwierdzić współzawodnictwa o zasoby energetyczne między różnymi poziomami aktywności fizycznej i odpowiedzią immunologiczną. Zebrane wyniki omówiono w ramach literatury dotyczącej modulacji wymagań termoregulacyjnych u ptaków. Powyższy zestaw danych potwierdza, że zeberki podczas pierwszych nocy po kontakcie z antygenem nie obniżyły temperatury ciała tak nisko jak grupa kontrolna. Wynik ten sugeruje, że aktywacja układu odpornościowego może stanowić znaczny koszt energetyczny dla organizmu, ale także dostarcza dowodów na to, że koszty te pojawiają się znacznie wcześniej niż przewidywano w literaturze. Co więcej, aktywowany układ odpornościowy prowadził do długotrwałych kosztów nieenergetycznych – zwiększonego uszkodzenia oksydacyjnego w osoczu.

Szpaki karmione dietą bogatą w wielonienasycone kwasy tłuszczowe miały o 11% niższe koszty lotu w tunelu aerodynamicznym w porównaniu z ptakami karmionymi dietą bogatą w jednonienasycone kwasy tłuszczowe bez znaczącej różnicy w kosztach utrzymania organizmu. Podobnie jak przy kosztach odpowiedzi immunologicznej oczywiste zalety diety zawierające wielonienasycone kwasy tłuszczowe wiązały się ze negatywnymi konsekwencjami: znacznym wzrostem uszkodzeń oksydacyjnych mierzonych w osoczu, co jest długofalowym kosztem dla organizmu.

Zebrane rezultaty pomagają wyjaśnić niejednoznaczne wyniki dotyczące kosztów odpowiedzi immunologicznej w dziedzinie ekoimmunologii. Moje odkrycia poruszają nowy problem dotyczący dobowego wzorca alokacji energii w przypadku kosztownych cech, a w szczególności roli temperatury ciała w pośredniczeniu w kosztach energetycznych i nieenergetycznych. Biorąc pod uwagę przedstawione tutaj długoterminowe konsekwencje stresu oksydacyjnego dla zdrowia i starzenia: opisany tutaj kompromis między oszczędnościami energii a kosztami oksydacji może mieć kluczowe znaczenie dla wielu organizmów na naszej planecie.

Ulf Florian
Bauchinger

Elektronicznie
podpisany przez Ulf
Florian Bauchinger
Data: 2022.04.19
08:29:30 +02'00'

Amadeusz Bielecki