

УДК 577.115.3 + 577.359

## СОДЕРЖАНИЕ ДОКОЗАГЕКСАЕНОВОЙ КИСЛОТЫ В ГРУДНЫХ МЫШЦАХ ПТИЦ СВЯЗАНО С ЧАСТОТОЙ ВЗМАХОВ КРЫЛЬЕВ

© 2023 г. Член-корреспондент РАН М. И. Гладышев<sup>1,2,\*</sup>

Поступило 12.10.2022 г.  
После доработки 20.10.2022 г.  
Принято к публикации 20.10.2022 г.

Докозагексаеновая кислота (22: 6n–3, ДГК), являясь структурным компонентом клеточных мембран, за счет особой формы своей молекулы создает высокое латеральное давление, повышая тем самым активность мембраносвязанных ферментов. Вероятно, высокое содержание ДГК способствует высокой частоте сокращения и длительному периоду работы скелетных мышц. Для оценки возможной физиолого-биохимической роли ДГК в мышечной ткани была проверена связь ее содержания в грудных мышцах различных видов птиц с частотой взмахов крыльев. Обнаружена высокая статистически достоверная корреляция между содержанием ДГК в грудных мышцах птиц и видоспецифичной частотой взмахов их крыльев.

*Ключевые слова:* полиненасыщенные жирные кислоты омега-3, эссенциальные компоненты питания, отряд Воробьинообразные

**DOI:** 10.31857/S2686738922600741, **EDN:** MPTMZM

Длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты семейства омега-3, в том числе докозагексаеновая кислота (22:6n–3, ДГК), как известно, относятся к числу важнейших компонентов питания многих всеядных позвоночных животных, включая человека [1]. ДГК является основной жирной кислотой в составе фосфолипидов мембран нервных клеток, включая клетки коры головного мозга и сетчатки глаза, а также биохимическим предшественником и регулятором синтеза сигнальных молекул (эндогормонов) [2]. Кроме того, ДГК считается “пейсмейкером” (pacemaker) – водителем ритма, задающим темп биохимических реакций, протекающих в мембранах клеток мышц, поскольку ее молекула с шестью двойными связями, фактически закрученная в спираль, имеет низкие потенциальные барьеры вращения и создает в липидном бислое высокое латеральное давление, повышая тем самым активность мембраносвязанных ферментов [3]. Вероятно, высокое содержание ДГК в скелетных мышцах способствует высокой частоте их сокращения и длительному периоду работы [4].

Действительно, например, у различных видов рыб содержание ДГК в мышцах тем выше, чем выше скорость их плавания [5]. У птиц содержание ДГК связывают с их размером, от которого зависит скорость основного обмена [3]. Однако частота сокращения мышц может оказаться более важной функцией, требующей высокого уровня ДГК, чем скорость общего метаболизма. Например, в грудных и ножных мышцах колибри, имеющих разную частоту сокращения, уровень ДГК различался более чем в 4 раза [4]. Логично предположить, что содержание ДГК в грудных мышцах у различных видов птиц может быть связано с видоспецифичной частотой взмахов крыльев. Таким образом, целью данной работы была проверка возможной связи содержания ДГК в грудных мышцах различных видов птиц с частотой взмахов крыльев.

Данные о содержании ДГК в грудных мышцах 14 видов птиц были взяты из работы [6]. Частота взмахов крыльев для этих видов приведена в работах [7–11]. На основе обобщенных данных (табл. 1), предварительно проверенных на нормальность распределения по критерию Колмогорова–Смирнова, был рассчитан коэффициент корреляции, оказавшийся статистически достоверным:  $r = 0.80$ ,  $p < 0.05$ . Графическое отображение вероятной связи содержания ДГК в грудных мышцах и видоспецифичной частоты взмахов крыльев представлено на рис. 1.

<sup>1</sup> Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук, Федеральный исследовательский центр “Красноярский научный центр СО РАН”, Красноярск, Россия

<sup>2</sup> Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

\*e-mail: glad@ibp.ru

**Таблица 1.** Частота взмахов крыльев (Гц) и содержание докозагексаеновой кислоты (ДГК, мг/г сырой массы) у различных видов птиц по литературным данным [6–11]

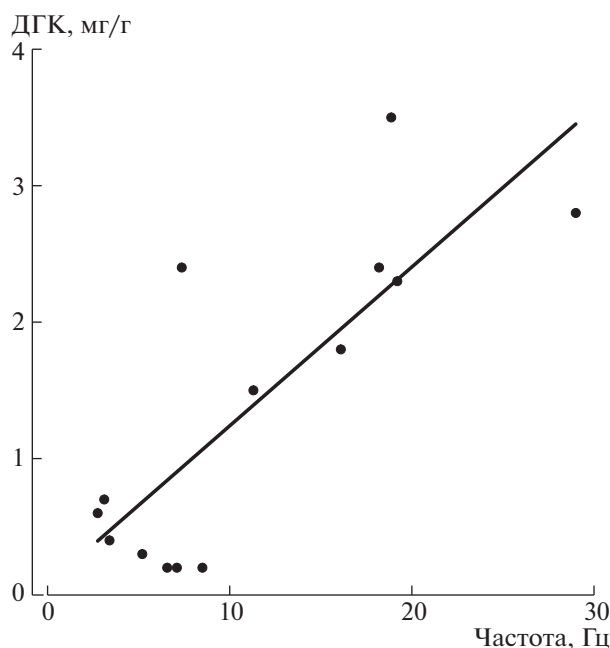
Вид	Частота взмахов	ДГК
Цапля серая ( <i>Ardea cinerea</i> )	2.8	0.6
Крячка речная ( <i>Sterna hirundo</i> )	3.1	0.7
Чайка озерная ( <i>Larus ridibundus</i> )	3.4	0.4
Улит большой ( <i>Tringa nebularia</i> )	5.2	0.3
Голубь сизый ( <i>Columba livia</i> )	6.6	0.2
Горлица большая ( <i>Streptopelia orientalis</i> )	7.1	0.2
Ласточка деревенская ( <i>Hirundo rustica</i> )	7.4	2.4
Чомга ( <i>Podiceps cristatus</i> )	8.5	0.2
Скворец обыкновенный ( <i>Sturnus vulgaris</i> )	11.3	1.5
Трясогузка белая ( <i>Motacilla alba</i> )	16.1	1.8
Овсянка тростниковая ( <i>Emberiza schoeniclus</i> )	18.2	2.4
Камышовка барсучок ( <i>Acrocephalus schoenobaenus</i> )	18.9	3.5
Трясогузка желтая ( <i>Motacilla flava</i> )	19.2	2.3
Воробей полевой ( <i>Passer montanus</i> )	29.0	2.8

Таким образом, впервые доказано, что содержание ДГК в грудных мышцах птиц тем выше, чем выше видоспецифичная частота взмахов их крыльев. Данный результат хорошо согласуется с современными представлениями о роли ДГК в мышцах как “пейсмейкеров” биохимических реакций, протекающих в клеточных мембранах. Наряду с физиолого-биохимической значимо-

стью, уровень ДГК в биомассе тех или иных организмов как звеньев трофических сетей является важнейшим параметром, определяющим качество потоков органического вещества в природных экосистемах, или, иными словами, качество биологической продукции [12].

Следует отметить, что уровень ДГК в грудных мышцах птиц отряда Воробьинообразных, для которых характерна высокая частота взмахов крыльев, оказался достоверно выше, чем у водоплавающих и околоводных представителей других отрядов [6]. Хотя известно, что уровень базального метаболизма Воробьинообразных почти в полтора раза выше, чем у птиц других таксонов [13], содержание метаболического “пейсмейкера” ДГК именно в грудных мышцах все же связывают в первую очередь не с общим уровнем метаболизма, а с частотой их сокращения при полете [4].

Водные и околоводные птицы, очевидно, питаются продукцией водных экосистем, богатой ДГК, тогда как большинство Воробьинообразных питаются на суше, где нет прямых источников ДГК, и даже наземные имаго амфибионтных насекомых содержат незначительное количество этой жирной кислоты [14]. Вероятно, Воробьинообразные синтезируют ДГК, необходимую им для роста, развития и нормального функционирования, из альфа-линоленовой (18:3n-3) и эйкозапентаеновой кислоты (20:5n-3), которой богаты такие их объекты питания, как имаго амфибионтных насекомых [14–16]. Именно грудные мышцы составляют основную часть съедобной биомассы птиц, доступной для последующих трофических уровней. То есть экологическая роль птиц как звеньев трофических сетей природных экоси-



**Рис. 1.** Зависимость между содержанием докозагексаеновой кислоты (ДГК) в грудных мышцах и частотой взмахов крыльев различных видов птиц. Прямая линия является линейной аппроксимацией.

стем, через которые происходит передача эссенциальных компонентов питания, а именно ДГК, зависит не только от их пищевых источников, но и от их физиологических особенностей, в том числе в значительной степени — от видоспецифичной частоты взмахов крыльев.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Simopoulos A.P.* // *Poult. Sci.* 2000. V. 79. P. 961–970.
2. *Calder P.C.* // *Proc. Nutr. Soc.* 2018. V. 77. P. 52–72.
3. *Hulbert A.J.* // *Lipids.* 2007. V. 42. P. 811–819.
4. *Infante J.P., Kirwan R.C., Brenna J.T.* // *Compar. Biochem. Physiol. B.* 2001. V. 130. P. 291–298.
5. *Gladyshev M.I., Sushchik N.N., Tolomeev A.P., Dgebuadze Y.Y.* // *Rev. Fish Biol. Fisheries* 2018. V. 28. P. 277–299.
6. *Gladyshev M.I., Popova O.N., Makhutova O.N., et al.* // *Contemp. Probl. Ecol.* 2016. V. 9. P. 503–513.
7. *Puranik P.G., Gopala Krishna G., Ahmed A.* // *Proc. Indian Acad. Sci.* 1977. V. 85B. P. 327–339.
8. *Pennycuik C.J.* // *J. Exp. Biol.* 1990. V. 150. P. 171–185.
9. *Nudds R.L., Taylor G.K., Thomas A.L.R.* // *Proc. R. Soc. Lond. B.* 2004. V. 271. P. 2071–2076.
10. *Schmidt-Wellenburg C.A., Biebach H., Daan S., Visser G.H.* // *J. Comp. Physiol. B.* 2007. V. 177. P. 327–337.
11. *Bruderer B., Peter D., Boldt A., Liechti F.* // *Ibis.* 2010. V. 152. P. 272–291.
12. *Dgebuadze Y.Y., Gladyshev M.I.* // *Contemp. Probl. Ecol.* 2016. V. 9. P. 391–395.
13. *Гаврилов В.М.* // Доклады Академии наук. 2000. Т. 371. № 2. С. 269–273.
14. *Gladyshev M.I., Sushchik N.N.* // *Biomolecules.* 2019. V. 9. Paper No. 485. <https://doi.org/10.3390/biom9090485>
15. *Twining C.W., Brenna J.T., Lawrence P., et al.* // *PNAS USA.* 2016. V. 113. P. 10920–10925.
16. *Pilecky M., Zavorka L., Arts M.T., Kainz M.J.* // *Biol. Rev.* 2021. V. 96. P. 2127–2145.

## CONTENT OF DOCOSAHEXAENOIC ACID IN PECTORAL MUSCLES OF BIRDS CORRELATES WITH WING BEAT FREQUENCY

Corresponding Member of RAS **M. I. Gladyshev<sup>a,b,#</sup>**

<sup>a</sup> *Institute of Biophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Krasnoyarsk, Russian Federation*

<sup>b</sup> *Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation*

<sup>#</sup>*e-mail: glad@ibp.ru*

Docosahexaenoic acid (22:6n–3, DHA) is a structural component of cell membranes and due to a peculiar form of its molecule exerts a high lateral pressure in the membranes enhancing activity of membrane-associated enzymes. A high content of DHA probably provides a high frequency of contraction and a continuous working of skeletal muscles. To estimate the probable physiological and biochemical role of DHA in muscle tissue, a relation of its contents in pectoral muscles of birds with wing beat frequency was evaluated. A high statistically significant correlation between the content of DHA in pectoral muscles of birds and species-specific wing beat frequency was found.

*Keywords:* polyunsaturated fatty acids omega-3, essential components of diet, order Passeriformes