

- Гинецинская Т. А., 1960. Гликоген в теле церкариев и зависимость его распределения от их биологии // Докл. АН СССР. Т. 135, Вып. 4. С. 1012–1015.
- Гинецинская Т. А., 1968. Трематоды, их жизненные циклы, биология и эволюция / Л.: Наука. 410 с.
- Гинецинская Т. А., Добровольский А. А., 1962. Гликоген и жир на разных фазах жизненного цикла сосальщиков. Ч. I. Морфология распределения гликогена и жира // Вестн. ЛГУ. № 9. С. 67–81.
- Гинецинская Т. А., Добровольский А. А., 1963. Гликоген и жир на разных фазах жизненного цикла сосальщиков. Ч. II. Биологическое значение гликогена и жира // Вестн. ЛГУ. № 3. С. 23–33.
- Гинецинская Т. А., Добровольский А. А., Оксов И. В., 1981. Работы по гельминтологии / М.: Наука. С. 82–87.
- Прокофьев В. В., 1995. Биология церкарий литоральных трематод Баренцева и Белого морей: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. С-Пб.: С-ПбГУ. 161 с.
- Прокофьев В. В., 1999. Влияние температуры и солености воды на продолжительность жизни церкарий морских литоральных трематод *Cryptocotyle* sp. (Heterophyidae), *Levinseniella brachysoma* и *Maritrema subdolum* (Microphallidae) // Паразитология. Т. 33, Вып. 6. С. 520–526.
- Прокофьев В. В., 2001. ВЛИЯНИЕ температуры и солености воды на продолжительность жизни церкарий морских литоральных трематод *Podocotyle atomon* (Opencoealidae) и *Renicola thaidus* (Renicolidae) // Паразитология. Т. 35, Вып. 1. С. 69–76.
- Прокофьев В. В., 2005. Особенности плавания церкарий некоторых видов трематод // Паразитология. Т. 39, Вып. 3. С. 250–261.
- Прокофьев В. В., Бергер В. Я., Галактионов К. В., 2001. Интенсивность дыхания церкарий трех видов трематод из литоральных моллюсков *Littorina littorea* L. (Gastropoda) Белого моря // Паразитология. Т. 35, Вып. 3. С. 72–79.
- Хэм А., Кормак Д., 1983. Гистология. Т. 3 / Пер. с англ. М.: Мир. 296 с.
- Hemmingsen A. M., 1960. The relation of standard (basal) energy metabolism to total fresh weight of living organisms // Rep. Stenool. Memor. Hospital., Copenh. Vol. 4. P. 7–58.
- Smith J. D., Halton D. W., 1983. The physiology of trematodes / Cambridge Univer. Press., Cambridge et al. 446 p.

DYNAMICS OF MOVING ACTIVITY AND BREATH IN TRANSMISSIVE LARVAE (CERCARIAE) OF SOME TREMATODE SPECIES PARASITIC IN MARINE ANIMALS

V.V. Prokofiev

Pskov State Pedagogical University, Pskov, Russia
e-mail: prok@ellink.ru

The relationships between locomotion and respiration in free-swimming cercariae *Himasthla elongata* (Echinostomatidae), *Cryptocotyle lingua* (Heterophyidae), *Cercaria parvicaudata* (Renicolidae) and *Maritrema subdolum* (Microphallidae) was evaluated in experimental studies on moving and breath activity during the cercariae life span. It was shown a clean coincidence in dynamics of oxygen consumption and swimming rate in all cercariae studied: the swimming rate decreased the breath activity decreased as well. It was concluded that the main part (75–90%) of energetic metabolism (the rate of which was evaluated by dynamics of breath activity) is connected with providing of cercarial locomotion. It was shown that in cercariae with intermittent type of locomotion (*C. lingua*) the relative level of respiratory activity was higher then in continuously swimming larvae.

ДЛИННОЦЕПОЧЕЧНЫЕ ПОЛИЕНОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ ПРИРОДНЫХ ЛИПИДОВ: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ И ПРОГНОЗА ФУНКЦИЙ

А.Л. Рабинович, П.О. Рипатти

Учреждение Российской академии наук Институт биологии
Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия
e-mail: rabinov@krc.karelia.ru

Введение

В биомембранах сосуществуют многие десятки и даже сотни типов липидных молекул, они образуют ее основу; имеются также белки, углеводы, холестерин и другие молекулы, – разнообразие биомембран огромно. Липиды различаются по химическому строению головных групп и/или углеводородных це-

пей (остатков жирных кислот, ЖК). Несмотря на интенсивные исследования последних лет, следует признать, что имеющиеся на сегодня экспериментальные данные о свойствах биомембран остаются фрагментарными. Вместе с тем общепризнано, что ключевое значение для функционирования биомембран имеют ненасыщенные и особенно полиненасыщенные (ПН), т.е. полиеновые цепи липидов (см., напр., обзоры последних лет: Stillwell, Wassall, 2003; Valentine R., Valentine D., 2004; Stillwell, 2008). Все двойные связи C=C наиболее типичных ненасыщенных углеводородных цепей липидов биомембран являются метилен-прерывающимися, большинство цепей ЖК имеет длину $N=12, \dots, 22$ углеродных атома и количество двойных связей $k=1, 2, \dots, 6$. Вместе с тем обнаружено, что в некоторых биомембранах, наряду с перечисленными выше, содержатся цепи «необычные», выделяющиеся по этим параметрам из общего ряда цепей (которые поэтому стали называть «обычными»). Например, давно идентифицированы цепи 30:4(n-6)cis и 30:5(n-3)cis в составе ЖК морских губок *Cliona celata* (Litchfield et.al., 1979); в других видах идентифицированы цепи с $N=26, 28, 30$ и $k=2, 3$ (Litchfield et.al., 1979). О наличии в различных видах губок необычных ЖК с разным количеством и расположением двойных связей, а также с четным и нечетным N , сообщалось неоднократно (Joseph, 1979; Rezanka, 1989; Djerassi, Lam, 1991; Rezanka, Sigler, 2009). Далее, оказалось, что в клетках морских микроводорослей динофлагеллят *Prorocentrum mexicanum*, *P. micans*, *Scrippsiella sp.*, *Symbiodinium microadriaticum*, *Gymnodinium sp.*, *G. sanguineum*, *Fragilidium sp.* есть октакозагептаеновые 28:7(n-6)cis и октакозаоктаеновые 28:8(n-3)cis цепи ЖК (Mansour et. al., 1999), они составляют ~2% от общего количества ЖК в этих клетках. Наличие цепи 28:8(n-3)cis зафиксировано также у *Cryptocodinium cohnii* (Van Pelt et. al., 1999). Набор длинноцепочечных ацилов вплоть до 36:8(n-3)cis идентифицирован в клетках динофлагеллят *Amphidinium carterae* (Rezanka et.al., 2008; Rezanka et.al., 2008a); найдено также нескольких десятков типов цепей с нечетными N , хотя и в концентрациях, еще на порядок меньших (Rezanka et.al., 2008a); в ряде работ встречаются аналогичные данные и для других клеток (Rezanka, Sigler, 2009). Из тканей трех видов пресноводных ракообразных, *Bathynella natans*, *B. baicalensis*, *Baicalobathynella magna*, было выделено даже более 50 типов подобных необычных цепей, в том числе, например, 26:5(n-6) cis, 28:7(n-6) cis, 30:7(n-3) cis и 40:7(n-6) cis (Rezanka, 2000). В других водных организмах тоже обнаружены необычные цепи ацилов (Rezanka, Sigler, 2009). Следует отметить, что подобные необычные цепи идентифицированы в составе липидных молекул мембран многих организмов, а не только водных: это явление – общебиологическое.

Обнаружено, что необычно длинные цепи находятся в составе молекул фосфатидилхолинов (ФХ) тоже исключительно необычных типов. Их необычность в том, что длинные цепи локализованы в положении *sn-1* глицеринового основания (Avelaño, 1987; Avelaño, Sprecher, 1987; Robinson et.al., 1990), тогда как в молекулах ФХ «обычных» типов положение *sn-1*, как правило, занято насыщенной углеводородной цепью (например, 16:0, 18:0). При этом в положении *sn-2* молекул ФХ как обычных, так и необычных типов, расположены обычные насыщенные, мононенасыщенные или ПН цепи длиной $N < 24$ (Robinson et.al., 1990). Необычные ПН цепи молекул ФХ сетчатки глаз позвоночных (в частности, изучались бык, кролик, крыса, цыпленок (Avelaño, 1987; Avelaño, Sprecher, 1987; Rotstein, Avelaño, 1988; Avelaño, 1988) входят в состав исключительно диполиненасыщенных молекул ФХ, т.е. их локализация *sn-1*, а в *sn-2* находится преимущественно цепь 22:6(n-3)cis. Экстракция гексаном мембран фоторецепторов показала, что во фракции липидов, связанных с родопсином, резко повышено содержание липидов с обычными и необычными ПН цепями (Avelaño, 1988).

Высказаны предположения (Avelaño, 1987; Avelaño, 1988) о том, что (i) длинноцепочечные ПНЖК молекул ФХ в сетчатке, возможно, необходимы, чтобы способствовать фоторецепторным белкам мембраны, – главным образом, родопсину, если, например, его альфа-спиральные сегменты частично окружены такими ФХ (Avelaño, 1988), принимать определенные функциональные конформации, и следовательно играют важную роль в осуществлении процесса зрения; (ii) возможно, соответствующий тип фосфолипидов в мозге требуется также для правильной ориентации характерных мембранных белков; (iii) альтернативная возможность состоит в том, что молекулы ФХ мозга, содержащие длинные ПН цепи и/или ПН продукты их распада (неэтерифицированные ЖК, лизофосфатидилхолин и диацилглицерин) могут быть метаболически активными соединениями, важными в регулировании клеточных процессов.

Подчеркнем, что предположения (Avelaño, 1987; Avelaño, 1988) о роли необычных ПН цепей сделаны без анализа свойств молекул. Обосновать или отвергнуть эти предположения, прояснить ситуацию можно было бы именно при сравнении между собой физических свойств достаточно широкого набора таких цепей. Однако такие данные для необычных ЖК цепей (встречающихся в малых количествах) в литературе чрезвычайно скудны вследствие трудностей по их выделению и

идентификации. В таких условиях становится целесообразным использовать для извлечения искомой информации «компьютерный эксперимент». В арсенале его методов наиболее распространены метод статистических испытаний (Монте-Карло, МК) и метод молекулярной динамики. В настоящей работе методом МК проведена имитация конформационного поведения одной из типичных совокупностей необычных ПНЖК цепей.

Материалы и методы

Генерировали ансамбли конформаций различных неразветвленных цепных углеводородных олигомеров методом МК. Для этого использована «континуум-модель», детали которой были описаны ранее (Rabinovich, 1991). В рамках этой модели все углы внутреннего вращения вокруг простых связей основной цепи молекулы изменяли непрерывно в диапазоне от 0 до 360°. Величины валентных связей и валентных углов цепи при имитации были фиксированными. Цепи «конструировали» последовательно, по молекулярным фрагментам, содержащим по 5–7 углеродных атомов. Эти фрагменты избраны такими, чтобы они точно передавали детали химического строения цепей. Таким способом изучены свойства набора необычных ПН цепей, избранного в итоге анализа биохимических данных для многих объектов: N:4(n-6)cis, N:4(n-3)cis, N:5(n-6)cis, N:5(n-3)cis, N:6(n-6)cis, N:6(n-3)cis. Количеством атомов углерода было четным, N = 24, 26, 28, ..., 38. При расчете искомых средних характеристик выборки конформаций составляли 300000-1000000 для цепи каждого типа в невозмущенном (Флори, 1971) состоянии при температуре 25°C. В итоге вычислены средние расстояния $\langle h_0 \rangle$ и квадраты расстояний $\langle h_0^2 \rangle$ между концевыми атомами углерода каждой из молекул, характеристики равновесной гибкости $\langle h_0^2 \rangle / L^2$, $\langle h_0 \rangle / L$, где L – контурная длина, вычисленная как сумма длин максимально вытянутых конформаций насыщенного и ненасыщенного участков данной цепи. Очевидно, что чем большей способностью к изгибу обладает цепь, тем меньше $\langle h_0^2 \rangle / L^2$ или $\langle h_0 \rangle / L$.

Результаты и обсуждение

Различия в строении цепей определяются тремя параметрами: N, k и j (где j – положение двойной связи от конечной группы CH₃). Как оказалось, при сравнении данных для разных цепей на графиках использование величины j в качестве третьей характеристики не всегда удобно: иногда это приводит к наложению части кривых разных групп молекул друг на друга. Во избежание этого для указания расположения всех двойных связей в каждой цепи на графиках вместо j нами был введен специальный параметр X, – среднее арифметическое номеров тех атомов углерода, которые участвуют в образовании всех (k) двойных связей цепи, – это своего рода «центр» двойных связей. На рис.1 приведены расчетные значения отношений $\langle h_0^2 \rangle / L^2$ для всех перечисленных выше цепей в зависимости от N, k и X. Для наглядности они представлены тремя группами с одинаковым (4, 5 или 6) количеством двойных связей: (а) N:4(n-6)cis, N:4(n-3)cis; (б) N:5(n-6)cis, N:5(n-3)cis; (в) N:6(n-6)cis, N:6(n-3)cis.

Из рис.1 видно, что при удлинении цепи (N) с сохранением количества двойных связей k и их местоположения X гибкость цепи увеличивается (т.е. уменьшается величина $\langle h_0^2 \rangle / L^2$). Гибкость также растет, если количество двойных связей в цепи увеличивается от 4 до 6 при N = Const и при сохранении (или лишь небольшом изменении) X. Гибкость цепи увеличивается, если вся группа двойных связей смещается вдоль по цепи от концов к центру, при постоянных N и k. При детальном анализе данных по гибкости была выявлена специфическая, но общая закономерность: в пределах погрешностей расчета совпадают гибкости некоторых пар цепей с одинаковыми N во всем изученном диапазоне N, но при этом их комбинации значений k и X (или j) различаются. Все эти пары собраны в табл.1. В верхней половине таблицы – данные расчета $\langle h_0 \rangle / L$ для всех (n-6)-пентаеновых цепей N:5(n-6)cis (слева) и всех (n-3)-гексаеновых цепей N:6(n-3)cis (справа), попарно с одинаковыми N, где N = 24 – 38. В нижней половине таблицы – аналогичным образом расположенные данные для пар цепей (n-6)-тетраенов N:4(n-6)cis и (n-3)-пентаенов N:5(n-3)cis. Легко видеть, что в каждой строке характеристики гибкости пар цепей одинаковы.

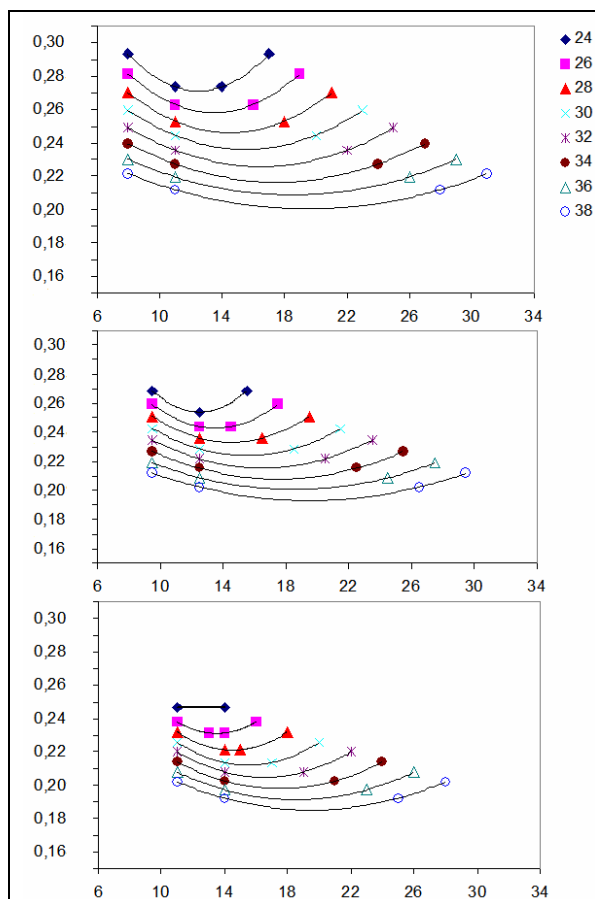


Рис.1.

Ось ординат: Величины гибкости $\langle h_0^2 \rangle / L^2$ групп цепей (обозначения – в тексте)
N:4(n-3)cis и N:4(n-6)cis (вверху);

N:5(n-3)cis и N:5(n-6)cis (в центре);

N:6(n-3)cis и N:6(n-6)cis (внизу).

Ось абсцисс:

Среднее арифметическое номеров атомов углерода, участвующих в образовании всех двойных связей цепи, X.

Метод МК, T = 25 °C. Доверительные интервалы, отвечающие 95% надежности согласно t-распределению Стьюдента, меньше размера символов.

Числа в колонке символов справа – количество атомов углерода в цепи.

Таблица 1

Значения отношений $\langle h_0 \rangle / L$ для групп цепей*

цепь	$\langle h_0 \rangle / L$	цепь	$\langle h_0 \rangle / L$
38:5(n-6)cis	0,423	38:6(n-3)cis	0,423
36:5(n-6)cis	0,430	36:6(n-3)cis	0,429
34:5(n-6)cis	0,436	34:6(n-3)cis	0,435
32:5(n-6)cis	0,442	32:6(n-3)cis	0,441
30:5(n-6)cis	0,449	30:6(n-3)cis	0,447
28:5(n-6)cis	0,456	28:6(n-3)cis	0,452
26:5(n-6)cis	0,463	26:6(n-3)cis	0,457
24:5(n-6)cis	0,472	24:6(n-3)cis	0,465
цепь	$\langle h_0 \rangle / L$	цепь	$\langle h_0 \rangle / L$
38:4(n-6)cis	0,434	38:5(n-3)cis	0,434
36:4(n-6)cis	0,441	36:5(n-3)cis	0,441
34:4(n-6)cis	0,449	34:5(n-3)cis	0,449
32:4(n-6)cis	0,458	32:5(n-3)cis	0,458
30:4(n-6)cis	0,466	30:5(n-3)cis	0,465
28:4(n-6)cis	0,474	28:5(n-3)cis	0,473
26:4(n-6)cis	0,482	26:5(n-3)cis	0,480
24:4(n-6)cis	0,491	24:5(n-3)cis	0,487

*Погрешности вычисления величин не превышают $\pm 0,004$.

Итак, конкуренция влияния на свойства цепи количества k двойных связей и их местоположения (j или X) приводит к совпадению величины гибкости в результате «компенсационного эффекта». Вообще говоря, факт случайного совпадения отдельных величин у каких-то молекул не являет-

ся экстраординарным событием. Однако, данный компенсационный эффект представляется чрезвычайно важным: компенсацию обеспечивает, как видно из таблицы, одно и то же правило изменения строения цепи. Действительно, в верхней части таблицы имеем $k=5, j=6 \Leftrightarrow k=6, j=3$, а в нижней $k=4, j=6 \Leftrightarrow k=5, j=3$, т.е. компенсация достигается в том случае, когда количество двойных связей сокращается на единицу (что уменьшает гибкость цепи) при одновременном смещении всей группы двойных связей на 3 углеродных атома к середине цепи (что увеличивает гибкость). Выполняется ли это правило для всех номеров j вдоль по цепи рассмотренных необычных ацилов, а также ацилов в ином диапазоне N , подлежит исследованию, но, во всяком случае, оно выполняется при $j=3$ и 6 .

Равенство гибкостей у подобных цепей с равным N означает, что их вклад в жидкость мембраны примерно одинаков. Вопрос, однако, состоит в том, в жидкости ли дело, когда речь идет об интерпретации экспериментальных данных для необычных ПН цепей, и даже если ответ положительный, – только ли поддержанием жидкости биомембраны ограничиваются их функции? Для того, чтобы пополнить искомые сведения о свойствах необычных ПН цепей, можно провести здесь «экстраполяцию» известных (Рабинович, Рипатти, 1994; Рабинович и др., 2004) сведений о свойствах ПН участков цепей обычного типа (поскольку в тех и других эти участки одинаковы).

(I) При температурах выше температуры фазового перехода гель – жидкий кристалл:

– (а) в полиеновых олигомерных участках цепей наиболее велики, по сравнению с цепями насыщенными, (1) степень ориентационного разупорядочения простых связей C-C, соседних с двойными C=C, (2) угловые флуктуации связей C-H во всех CH_2 -группах вдоль по цепи, (3) пространственные флуктуации атомов углерода двойных связей C=C, (4) гибкость, – как цепи в целом, так и каждого ее участка. Такие свойства могут априори способствовать поддержанию надлежащей конформационной подвижности молекул ферментов (что является важнейшим фактором для нормального их функционирования), если они окружены ПН цепями; такие свойства могут обеспечить выигрыш в энергии липид-белковых взаимодействий по всей поверхности контакта молекул, а также создать надлежащие условия для согласованного взаимодействия ферментов сложных ферментатических систем;

– (б) характеристики полиеновой цепи в целом и каждого ее сегмента (связи) в отдельности являются наиболее стабильными при изменении температуры по сравнению с характеристиками насыщенных олигомеров. Если аннулярный слой вокруг ферментов обогащен ПН цепями, то такие свойства последних могут более надежно обеспечить стабильность условий и оптимизировать липид-белковые взаимодействия при флуктуациях температуры, причем, на каждом малом участке вдоль всей поверхности контакта белков и ПН цепей. Иначе говоря, эти свойства полиеновых цепей должны ослабить негативное воздействие изменений температуры на активность ферментов. С другой стороны, повышение концентрации ПН цепей в слоях вокруг ферментов может способствовать увеличению активности ферментов при общем повышении уровня метаболизма.

(II) При температурах ниже температуры фазового перехода гель – жидкий кристалл наиболее вероятная конформация, которую принимает ПН цепь, является вытянутой и имеет «уголкообразную» форму; она комплементарна аналогичным конформациям других ПН цепей, а также *trans*-конформациям, в которые с наибольшей вероятностью переходят при низких температурах насыщенные цепи. Такое свойство ПН цепи может ослабить разрушительное влияние низких температур на мембранные структуры, поскольку при глубоком охлаждении возникают такие упаковки ПН цепей липидов с насыщенными, в которых не возникают высокие механические напряжения.

Таким образом, свойства ПН участков цепей фактически экстремальны, их можно назвать уникальными. Поэтому разумно считать, что и функции в биомембранах ПН цепей, в том числе и необычных, должны быть более специфичными, не должны ограничиваться лишь задачей поддержания жидкости системы на должном уровне. Эти гомеовязкостные функции может успешно осуществлять совокупность насыщенных, моноеновых и диеновых цепей; они являются основным строительным материалом биомембраны. Безусловно, этот вывод можно перенести и на более длинные (необычные) цепи. Специфичность же роли в биомембране полиеновых цепей, как обычных, так и необычных, усматривается именно в том, что они не образуют матрицу мембраны в целом, а распределены в ней локально, преимущественно в областях (слоях), непосредственно примыкающих к интегральным белкам. Сосредоточение ПН цепей именно в подобных слоях представляется вполне естественным, целесообразным, поскольку в них могут быть использованы те уникальные свойства ПН цепей, которые

перечислены выше. Соответствующие белки (ферменты), возможно, обладают иногда размерами, достаточно протяженными вдоль нормали к поверхности мембраны. В условиях, когда требуется создать стабильный аннулярный слой на большую, чем обычно, глубину, может включиться механизм «удлинения» цепей. В обычных условиях роль стабилизатора могут играть такие цепи, как 20:4(n-6)*cis*, 22:5(n-6)*cis*, 22:6(n-3)*cis*, входящие в молекулы ФХ в *sn*-2-положениях, а *sn*-1-положения могут быть заняты насыщенными цепями 18:0 и 16:0. В случае ферментов с более протяженными размерами такие цепи, как 22:6(n-3)*cis* уже не могут обеспечить стабилизацию условий на должную глубину. Поэтому помимо таких ПН цепей, расположенных в *sn*-2-положениях, возникают «длинноцепочечные» (n-6) и (n-3) ПН ацилы в *sn*-1-положениях, и их конечный ПН участок обеспечивает надлежащее удлинение области стабильных условий в аннулярных липидных слоях мембрановстроенных ферментов. Косвенно это можно подтвердить количественными данными (Рабинович, Рипатти, 1990; Rabinovich, Ripatti, 1991): максимально вытянутая насыщенная цепь 18:0 (в *trans*-конформации) и ПН цепь 22:6(n-3)*cis* в вытянутой «уголкообразной» конформации имеют примерно одинаковую длину: 2.163 нм для 18:0, и 2.184 нм для 22:6(n-3)*cis*. Поэтому цепь 22:6(n-3)*cis* из *sn*-2-положения и ПН участок длинноцепочечного ацила из *sn*-1-положения (начальная насыщенная часть которого содержит ~15–18 атомов С) следуют вдоль нормали к поверхности мембраны непосредственно друг за другом; тем самым на границе с мембрановстроенным ферментом создается непрерывная протяженная область, состоящая из ПН цепей.

Далее, если необычные ПН цепи не связаны с интегральными белками, то возникает вопрос о соответствии их длины и толщины монослоя. Концевой ПН фрагмент необычной цепи должен тогда либо глубоко проникать в противоположный монослой бислоя, либо за счет изгиба «возвращаться» в исходный монослой. В настоящей работе были проведены количественные оценки подобных свойств разных фрагментов, в результате чего оказалось, что концевые ПН фрагменты способны «сложиться сами на себя», в зависимости от длины фрагмента, не более 2–3 раз. Так или иначе, участки цепи длиной ~7 атомов углерода должны оставаться вне исходного монослоя и тем самым вносить возмущение в структуру мембраны. Таким образом, обсуждавшаяся выше концепция о локализации молекул липидов с такими необычными цепями в специальных областях (пограничных слоях с мембраносвязанными включениями, белками), более реалистична; в ее пользу свидетельствует также необычное (т.е. *sn*-1) расположение этих ПН цепей в липидной молекуле, – при том, что вторая (обычная) ПН цепь есть в положении *sn*-2.

Представляется, что настоящее исследование свойств необычных ПН цепей липидов позволяет сделать шаг к более глубокому пониманию взаимосвязей «структура – свойства – функции» для молекул обширного класса, включающего и такие ЖК цепи различных биомембранных структур.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для ведущих научных школ НШ-306.2008.4 и Visby programme 00961/2008.

Литература

- Рабинович А.Л., Рипатти П.О., 1990. // Доклады АН СССР. Т. 314. С. 752–755.
 Рабинович А.Л., Рипатти П.О., 1994. // Успехи совр. биологии. Т. 114. С. 581–594.
 Рабинович А.Л., Рипатти П.О., Балабаев Н.К., 2004. // Труды КарНЦ РАН. Петрозаводск, Изд. КарНЦ РАН. Вып. 6. С. 99–137.
 Флори П., 1971. Статистическая механика цепных молекул. / Пер. с англ. М.: Мир. 440 с.
 Avelaño M.I., 1987. // J. Biol. Chem. V. 262. P. 1172–1179.
 Avelaño M.I., 1988. // Biochemistry. V. 27. P. 1229–1239.
 Avelaño M.I., Sprecher H., 1987. // J. Biol. Chem. V. 262. P. 1180–1186.
 Djerassi C., Lam W.K., 1991. // Acc. Chem. Res. V. 24. P. 69–75.
 Joseph J.D., 1979. // Prog. Lipid Res. V. 18. P. 1–48.
 Litchfield C., Tyszkiewicz J., Marcantonio E.E., Noto G., 1979. // Lipids. V. 14. P. 619–622.
 Mansour M.P., Volkman J.K., Holdsworth D.G., Jackson A.E., Blackburn S.I., 1999. // Phytochemistry. V. 50. P. 541–548.
 Rabinovich A.L., 1991. // Makromol. Chem. V. 192. P. 359–375.
 Rabinovich A.L., Ripatti P.O., 1991. // Biochim. Biophys. Acta. V. 1085. P. 53–62.
 Rezanka T., 1989. // Prog. Lipid Res. V. 28. P. 147–187.
 Rezanka T., 2000. // Biochem. Systematics and Ecol. V. 28. P. 847–856.

- Rezanka T., Nedbalova L., Sigler K., 2008. // *Phytochemistry*. V. 69. P. 2391–2399.
 Rezanka T., Nedbalova L., Sigler K., 2008a. // *Phytochemistry*. V. 69. P. 2849–2855.
 Rezanka T., Sigler K., 2009. // *Progr. Lipid Res.* V. 48. P. 206–238.
 Robinson B.S., Johnson D.W., Poulos A., 1990. // *Biochem. J.* V. 265. P. 763–767.
 Rotstein N.P., Avelaño M.I., 1988. // *Biochem. J.* V. 249. P. 191–200.
 Stillwell W., 2008. // *Chem. Phys. Lipids*. V. 153. P. 1–2.
 Stillwell W., Wassall S.R., 2003. // *Chem. Phys. Lipids*. V. 126. P. 1–27.
 Valentine R.C., Valentine D.L., 2004. // *Progr. Lipid Res.* V. 43. P. 383–402.
 Van Pelt C.K., Huang M.C., Tschanz C.L., Brenna J.T., 1999. // *J. Lipid Res.* V. 40. P. 1501–1505.

VERY LONG POLYENOIC FATTY ACID CHAINS OF MEMBRANE LIPIDS: COMPUTER SIMULATIONS FOR STUDY OF PROPERTIES AND FUNCTION FORECAST

A.L. Rabinovich, P.O. Ripatti

Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences,
 Petrozavodsk, Russia, e-mail: rabinov@krc.karelia.ru

Monte Carlo computer simulations of very long polyunsaturated fatty acid chains with methylene-interrupted *cis* double bonds N:4(n-6)*cis*, N:4(n-3)*cis*, N:5(n-6)*cis*, N:5(n-3)*cis*, N:6(n-6)*cis*, N:6(n-3)*cis* have been carried out; N is carbon atom number (N=24,26,28,...,38). Variations of all torsion angles of the chains were considered to be continuous from 0 to 360 deg. The conformational energy of a chain was represented as a sum of the structural unit energies. A scheme of pairwise interdependence of torsions was used. The units reproduce precisely the chain structure. The energy of nonbonded interactions, torsional and electrostatic terms were taken into account. The method is applied to an investigation of the flexibility and other characteristics of the chains.

ФИТОПЛАНКТОН ДВИНСКОГО ЗАЛИВА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ РЕЧНЫХ ВОД

И.Г. Радченко, Л.В. Ильяш

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
 e-mail: IraRadchenko@yandex.ru

В Двинский залив впадает самая крупная река беломорского бассейна – Северная Двина. Годовой сток Северной Двины составляет в среднем 110 км³ (Gordeev et al., 1996). Стоковое течение Северной Двины прижимается к Зимнему берегу и значительно опресняет поверхностную водную массу (Гидрометеорология, 1991; Солянкин и др., 1994). По ходу стокового течения происходит смешение речных и морских вод, и соленость поверхностного слоя возрастает. В области влияния стокового течения отмечаются высокие градиенты в пространственном распределении основных биогенных элементов (Ефимова, Цыцарин, 2002). Пространственный градиент абиотических условий обуславливает изменение обилия и структуры сообщества планктонных водорослей. Сведения о фитопланктоне в районе, подверженном воздействию вод р. Северная Двина, немногочисленны и охватывают только позднелетний период (Шевченко и др., 2007) и летний (Македонская, 2005) периоды. В настоящей работе представлены данные по видовому составу и структуре фитопланктона Двинского залива в зоне влияния вод Северной Двины в начале сентября.

Материалом для работы послужили пробы фитопланктона, отобранные в юго-восточной части Двинского залива на 6 станциях (рис. 1) с поверхностного горизонта 3 сентября 2007 г. в ходе 53 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш». На четырех станциях (МФ-1 – МФ-4) пробы отбирали без остановки судна в течение 5 мин, поэтому на рис. 1 они представлены двумя точками с координатами, соответствующими началу и концу отбора проб. Соленость определяли мультипараметрическим зондом FSI. Пробы воды (объем 0,5 – 4,6 л) концентрировали методом обратной фильтрации (диаметр пор 2 мкм) и фиксировали раствором Люголя. Фитопланктон просчитывали под микроскопом в камере типа Нажотта. Объемы клеток определяли методом геометрического подобия (Hillebrand et al., 1999) с последующим переводом в единицы углерода по аллометрическим зависимостям (Menden-Deuer, Lessard, 2000).