

УДК59.002

ФЕНОМЕНОЛОГИЯ РЕГИСТРАЦИИ ЗАПАХОВ МЛЕКОПИТАЮЩИМИ

Никифорова Л.Е., д.т.н.,

Гаевская И.В., инж.,

Орел И.А., асп. *

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-13-54

Аннотация – в статье освещаются новейшие данные молекулярной биофизики в изучении механизма проявления и идентификации объектов по запахам. Предложена гипотеза рекомбинантных радикалов пахучих веществ, проявляющихся в рецепторных механизмах нервных клеток слизистой ткани носа. Приведены величины энергии, выделяющейся при соединении свободных радикалов в молекулу. Рассмотрен вероятностный механизм формирования импульса биотока нервной клетки.

Ключевые слова – радикал, клетка, запах, рекомбинация.

Постановка проблемы. В организме млекопитающих, как известно, имеется целая популяция нервных клеток, в функцию которых входит восприятие запаховых раздражителей. Сейчас начинают выясняться специфические механизмы этих восприятий, физическая или химическая адсорбция свободных запаховых радикалов [1,2].

Анализ последних исследований. Известно также, что физическая адсорбция не чувствительна к структуре поверхности клетки, а химическая – весьма избирательна. Так, хемосорбция – это комплементарное взаимодействие молекул адсорбата и адсорбента: радикал RO_2 реагирует с другим радикалом R' как $RO_2 + R' \rightarrow ROOR$ (диолексилперекись). При ионизации молекулы воды $H_2O - e \rightarrow H_2O^+$ или $H_2O + e^- \rightarrow (OH)^- + H$, а также $H^+ + e^- \rightarrow H$ [3,4].

В классических работах по изучению передачи нервных импульсов установлено, что биопотенциалы в нервных клетках, как правило, связаны с изменением концентрации элементов и поэтому являются равными фазовыми потенциалами. Вместе с тем эксперименты зарубежных естествоиспытателей и наши данные показывают наличие в клетках повышенных (локальных) концентраций зарядов. Это, как и поддержание динамического равновесия зарядов внутри (в эндоцитоплазматической сетке) клетки при синтезе и ре-синтезе, заслуживает

* Научный руководитель – д.т.н., проф. Никифорова Л.Е.

© д.т.н., проф. Никифорова Л.Е., инж. Гаевская И.В., асп. Орел И.А.

новых гипотез и анализов.

Формулирование цели статьи. Определенно возможным остается исследование наследования нормы потенциалов и их прогностической значимости.

Основная часть. Процесс рекомбинации радикалов сопровождается выделением кванта энергии, величина которого прямо пропорционально зависит от типа пахучего вещества [5]. Чем больше доза, тем сильнее пахучее вещество воздействует на популяцию клеток слизистой носа, чем больше концентрация атомов пахучего вещества, тем больший импульс биотока достигает мозг (табл.1).

Таблица 1 – Энергия связи между радикалами в молекуле, эВ

$(C_6H_5)_3C - C$ $(C_6H_5)_3$	0,47	H – CH ₂	3,70	H – H	4,48
$(CH_3)_3CO - OC$ $(CH_3)_3$	1,55	H – OH ₂	3,83	O – H	4,77
C – O	2,25	H – CH	3,88	H – O ₂	5,03
HO – OH	2,20	H – C ₂ H ₅	4,12	C = O	5,10
C – C	2,72	C = C	4,40	O – O	5,12
H – C	3,47	H – CH ₃	4,40	N ≡ O	9,76

В специальных исследованиях установлено, что рост энергии связи между радикалами в молекуле коррелирует отрицательно с их концентрацией. Поэтому запах азота, например, воспринимается слабо, но и в зависимости от концентрации пахучего вещества плотность потока квантов на рецепторы достигает 10^6 Дж/м² [6]. Измерения свидетельствуют о том, что качественное восприятие запаха имеет место при $(1-4) \cdot 10^4$ актов рекомбинации свободных радикалов в 1 см³ воздуха. Вместе с тем реакция нервной клетки на синаптический передатчик зависит также и от её ионного состава, который связан с распространением импульсов в самой клетке и по её аксону. Находясь в состоянии покоя, нервная клетка не отличается по своей физиологии от остальных: её внутренняя среда, как известно, резко отличается от омывающей её тканевой жидкости. В клетке такая разница используется для выработки электрического импульса, разность потенциалов достигает $U=70$ мВ. Преобразование хемосорбционного процесса радикалов в импульс биотока имеет место в клетках слизистой ткани. Диэлектрическая проницаемость ϵ жидкости в них меняется от 3 до 80, а удельное электрическое сопротивление достигает $\rho=10^3$ Ом·м [7]. Вооружившись таким объяснением биоэнергетической природы импульса, можно проследить электрические процессы нюха. Взаимодействие продуктов рекомбинации радикалов с поверхностью рецепторов представляет собой и физико-химический процесс. Однако, обоснование цельной картины передачи запахового импульса требует фундаментальных исследований.

Сегодня специфического передатчика запаха неизвестно, кроме

ацетилхолина. Вместе с тем остается проблематичным вопрос о том, каким образом окончания аксона, подходящие к нервной клетке, генерируют нервный импульс через синапсис. В синаптических окончаниях находится много пузырьков, в которых содержится вещество-передатчик, обеспечивающее передачу импульса через синапсис. Передатчик выделяется порциями по несколько тысяч молекул. В состоянии покоя нервная клетка не отличается по своей биофизике от большинства других: её внутренняя среда резко отличается по составу от омывающего раствора. Именно за счёт последних вырабатывается и передается электрический импульс. Исходя из приблизительных данных, предполагается, что концентрация ионов натрия и хлора вне клетки выше, чем в клетке, как минимум, на порядок. А концентрация ионов калия внутри клетки почти в 30 раз выше, чем снаружи. Внутренний заряд клетки – отрицательный, наружный – положительный. Разность потенциалов около 70 мВ по обе стороны и определяет «потенциал равновесия для ионов хлора». Потенциал клетки равен 86 мВ.

Поскольку падение его происходит на стенке мембраны, то напряженность поля в ней достигает $E = (2-4) \cdot 10^5 \text{ В/см}$. После повышения потенциалов на мембране концентрация ионов в клетке растет, что способствует росту потенциалов (до 0,14 В). При этом увеличивается пропускная способность мембраны: натриевые каналы «работают» в зависимости от напряжения и экспозиции открытого состояния канала (0,1-1,0 мс). Последние приводят к тому, что разность потенциалов на мембране после резкого скачка (в 0,1 В) снова набирает потенциал покоя или импульс биотока.

Концентрация ионов внутри и за пределами клетки сопряжена с избирательной пенетрантностью молекул (табл.2). В состоянии покоя клеточная мембрана проницаема только для ионов калия; при кратковременном возбуждении ($\sim 10^{-3}$ с) клетка становится проницаемой и для многих других ионов.

Таблица 2 – Концентрация ионов в клетке, моль/л

	Внутри	Снаружи
Na ⁺	50	460
K ⁺	340	10,4
Cl ⁻	114	590
Ca ²⁺	0,4	5410
Mg ²⁺	10300	
Органич. анионы	300	–

При действии энергии кванта, образовавшегося при хемосорбции радикалов на поверхности нервной клетки, происходит изменение вязкости цитоплазмы. Мы рассматриваем клетку как коллоидную систему, в которой изменение вязкости цитоплазмы происходит по типу желатинизации. При повышении вязкости проникновение калия из клетки в окружающую среду (межклеточное пространство) повыша-

ется. Мы полагаем, что вследствие этого концентрация ионов натрия в 14 раз выше, а калия – в 35 раз ниже, чем в самой клетке.

Расчёты показывают, что для такого превращения калия необходима разница потенциалов между отрицательно заряженным содержимым клетки и «окружающей клетку средой» около 90 мВ (реально разность меньше 70 мВ). Дефицит составляет 20 мВ. Вероятно, что для статуса такой разности концентраций калия (со скоростью, равной скорости их свободной диффузии наружу) должны поступать дополнительные ионы калия в клетку. Аналогичная ситуация складывается и по натрию.

В силу законов электростатической диффузии разность в концентрации упомянутых ионов (в пределах и за пределами клетки), как показывает эксперимент, растёт. Однако гомеостазис достигается благодаря ферментативным процессам (биосинтезам) и реакциям мембран, непрерывно преодолевающим диффузионные силы. В момент возникновения импульса запахового радикала в мембране раскрываются «соты», через которые ионы натрия проникают внутрь клетки. Здесь заряд становится положительным и далее усиливается: первые ионы натрия облегчают путь другим. В резком изменении полярности внутри мембраны и состоит «запаховый импульс», который распространяется по всему аксону. После его возникновения натриевые ворота закрываются и открываются калиевые. Так восстанавливается, как свидетельствуют данные эксперимента, исходная полярность. Генетическая природа генерирования импульса, по-видимому, первична, поскольку в биосинтезе белка состоит потеря и приобретение потенциала. Окислитель обладает свойством электрофильности. Восстановитель – электронофобен, т.е. он легко теряет электрон. Покидая клетку, ионы калия частично уносят на поверхность положительные заряды. Так рассматривается один из путей положительного заряда поверхности клетки. В результате избыточного выхода ионов калия цитоплазма становится отрицательно заряженной. Для ее нейтральности необходимо, чтобы клетку покинуло определенное количество анионов. Переход ионов калия на поверхность клетки должен компенсироваться электронами во внешней среде, что приводит к смещению электронов и возникновению импульса биотока пахучего субстрата. Вместе с тем в нервной клетке как бы существует «запаховая память» или скрытый период действия пахучих веществ, который бывает тем длительнее, чем меньше доза запахового ингредиента.

Выводы. Собственно с этого биологического факта бионики был обустроен искусственный нос: датчик улавливает летающие молекулы пахучих веществ, передает данные в компьютер, который отбирает их по рецептам памяти и устанавливает действительный тип и концентрацию. Применение носов – более широкое: по оценке выдыхаемого воздуха у животных устанавливают возможные их заболевания, качество сыров и вин.

Литература

1. Кинетика электродных процессов / [Фрумкин А.Н. и др.]. – М.:

Изд-во. МГУ, 1952. – 319 с.

2. *Michaelis M.* Composite Pd-Ag Particles in Aqueous Solution I / *M. Michaelis, A. Henglein, P. Mulvaney* // *J. Phys.Chem.* – 1994, v.98. – P. 6212-6215.

3. *Соломонов А.С.* Насосы клетки. Структура и функции клетки / *А.С.Соломонов.* – М.: 1964. – С.143-152.

4. *Катц Б.О.* Как клетки общаются друг с другом. Живая клетка / *Б.О. Катц.* – М.: 1966. – С.33-40.

5. *Анохин П.К.* Очерки по физиологии функциональных систем / *П.К. Анохин.* – М.: Медицина, 1975. – 448с.

6. *Конюхов Б.В.* Генетический контроль онтогенеза. Вопросы медицинской генетики / *Б.В. Конюхов.* – М.: 1974. – №7. – С.40-49.

7. *Розен В.Б.* Центрорецепторы и чувствительность клетки к гормонам / *В.Б. Розен.* – М.: Изд-во МГУ, 1977. – №1. – С.25-32.

ФЕНОМЕНОЛОГІЯ РЕЄСТРАЦІЇ ЗАПАХІВ ССАВЦЯМИ

Никифорова Л.Є., Гаєвська І.В., Орел І.О.

Анотація

В статті висвітлюються найновіші дані молекулярної біофізики в вивченні механізму виявлення та ідентифікації об'єктів по запаху. Запропонована гіпотеза рекомбінантних радикалів пахучих речовин, які проявляються у рецепторних механізмах нервових клітин слизової тканини носа. Наведені величини енергії, яка виділяється при з'єднанні вільних радикалів в молекулу. Розглянутий імовірнісний механізм формування імпульсу біошвидкого нервової клітини.

Phenomenology of odors registration by mammals

L.Nikiforova, I.Gaievskaya, I. Orel

Summary

The molecular biophysics latest data in study of the mechanism of demonstration and identification of objects by their odorants was treated in the article. It was suggested the hypothesis of the odorous materials recombinant radicals, which become apparent in receptor mechanisms of the nerve cells of nose mucous tissue. The energy values, which liberates during the free radicals combination in the molecule, were presented. The probabilistic mechanism of nerve cell bio current impulse formation was considered.