

УДК 612.828

Б. Я. Песков, В. А. Кульчицкий, Г. Б. Рабинович

СПОСОБ ОЦЕНКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОФИЛЯ
ПРИ ЛОКАЛЬНОМ ОХЛАЖДЕНИИ ПРОДОЛГОВАТОГО МОЗГА

Оценка изменений температурных полей в глубине ствола головного мозга при локальном охлаждении его вентральной поверхности весьма затруднительна, так как требуется большое количество достоверных данных и специальная аппаратура — высокоточные датчики, системы обработки информации. Применение метода математического моделирования, основанного на экспериментальных данных, позволяет значительно упростить решение данной задачи и получить необходимую информацию.

Острые опыты проведены на 12 кошках, наркотизированных при внутривенном введении смеси хлоралозы (40 мг/кг) и уретана (200 мг/кг). Продолговатый мозг обнажали с вентральной поверхности от нижней границы моста до второго шейного сегмента. Локальное билатеральное охлаждение участков мозга, расположенных ростральнее корешков подъязычных нервов (промежуточное хемочувствительное поле [3]) осуществляли в течение 15 с термодом с двумя охлаждающими поверхностями, площадью 3 мм² каждая. Для точной регистрации температуры в месте контакта термодом с поверхностью мозга в медную пластинку (толщиной 100 мкм) на вершине термодом впаивали тонкую константановую проволоку (50 мкм) с помощью контактной вакуумной сварки. Медная стенка термодом служила вторым электродом термопары. Изменение температуры в месте контакта двух разнородных металлов (меди и константана) приводило к возникновению электродвижущей силы и позволяло практически мгновенно оценивать её величину, вследствие минимальной массы спая. Через термодом приводящим и отводящим полиэтиленовым трубкам пропускали охлажденную до необходимой температуры воду. Регистрацию температуры мозга на глубине 500, 1000, 2000, 3000 и 4000 мкм производили с помощью второй термопары, диаметр спая которой был равен 45 мкм.

Для определения градиента температур на глубине от 0 до 500 мкм под термодом, где, в основном, расположены «хемочувствительные» клетки [4], и расчета температурного поля в других участках продолговатого мозга исходили из предположения, что изменение температуры (T) ствола головного мозга по глубине (x) и во времени (t) при охлаждении поверхности продолговатого мозга описывается «одномерным уравнением теплопроводности» вида:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = a \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (1)$$

где a — постоянная, зависящая от теплопроводности среды ($a = 0,0012 \left[\frac{\text{кал}}{\text{см} \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$).

Начальные и граничные условия были получены на основании экспериментальных данных по измерению профиля температур на охлаждаемой поверхности мозга во времени, а также данных о максимально допустимо возможной глубине охлаждения (L) и скорости движения фронта температур. Они были объединены в следующем градиентном уравнении:

$$\begin{cases} a_1 \frac{\partial T}{\partial x} + a_2 T = a_3 & \begin{cases} t = 0, \text{ при } 0 \leq x \leq L \\ x = 0, T = T_0 \\ x = L, T = 37,5^\circ\text{C} \end{cases} \\ a_4 \frac{\partial T}{\partial t} + a_5 T = a_6 & \text{при } t \geq 0, \end{cases} \quad (2)$$

где $L = 4000$ мкм, a_i — постоянные коэффициенты, рассчитанные на основе экспериментальных данных. В нашем случае $a_1 = 1,000$; $a_2 = 0,002$; $a_3 = 0,075$; $a_4 = 1,000$; $a_5 = 0,052$; $a_6 = 0$. Уравнение (1) с учетом начальных и граничных условий (2) решали методом «сеток» [1] на ЭВМ «НАИРИ-К». При этом соотношение шагов, рассчитанных по глубине и во времени составили 10 мкм/с.

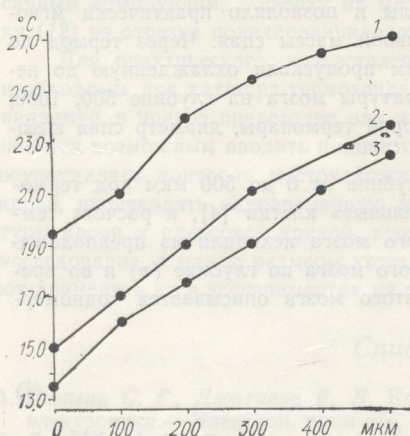
Остановка дыхания у животного при охлаждении промежуточного хемочувствительного поля обычно происходила через 5 с от начала холодного воздействия, когда температура мозга под термодом понижалась до 20°C . Экспериментальные и расчет-

Динамика изменения температуры продолговатого мозга при локальном охлаждении его поверхности

Глубина от поверхности мозга (мкм)	Время от начала охлаждения (с)		
	5	10	15
0	19,5	15,0 (15,0)	13,5 (13,5)
100	(21,0)	(17,0)	(16,0)
200	(24,0)	(19,0)	(17,5)
300	(25,5)	(21,0)	(19,0)
400	(26,5)	(22,5)	(21,0)
500	27,0	24,5 (23,7)	22,5 (22,4)
1000	29,0	28,5 (30,2)	26,5 (27,4)
2000	33,0	32,5 (32,1)	32,0 (32,8)
3000	35,5	35,0 (35,2)	35,0 (34,7)
4000	37,5	37,5 (37,5)	37,5 (37,5)

Примечание. В скобках указаны значения температуры, полученные расчетным путем.

ные данные температуры продолговатого мозга на поверхности и в глубине, при локальном охлаждении участков мозга, расположенных роstralнее корешков подъязычных нервов, приводятся в таблице, из которой видно, что наибольшее расхождение расчетных и экспериментальных данных не превышает 1,7 °C, т. е. максимальное относительное отклонение не превышает 5,6 %. На рисунке представлено «семейство» кривых температурных профилей в вентральном участке продолговатого мозга при различных значениях времени от начала охлаждения. Результаты расчетов температурного профиля хорошо согласуются с экспериментальными данными других авторов [2]. Следовательно, выбранная нами математическая модель адекватна поставленной задаче.



Таким образом, с помощью уравнений теплопроводности можно оценивать тем-

Изменение температуры мозга в диапазоне 0—500 мкм при различных значениях времени от начала охлаждения.

1 — на 5 с; 2 — на 10 с; 3 — на 15 с охлаждения.

пературные профили в области «хемочувствительных» структур, расположенных в узких участках вентральной поверхности продолговатого мозга, регистрация температуры в которых современными датчиками в процессе эксперимента невозможна. Это позволяет рекомендовать данную математическую модель для исследования распределения температурного профиля при локальном охлаждении поверхности мозга в условиях эксперимента и клиники.

Список литературы

1. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М.: Наука, 1973. — 831 с.
2. Cherniack N. S., von Euler C., Homma I., Kao F. F. Graded changes in central chemoreceptor input by local temperature changes on the ventral surface of medulla. — J. Physiol. 1979, 287, N 1, p. 191—211.
3. Schläpke M. E., Loeschcke H. H. Localization eines an der Regulation von Atmung und Kreislauf beteiligten Gebiets an der ventralen Oberläche der Medulla oblongata durch Kalteblockade — Pflügers Arch., 1967, 297, N 4, S. 201—220.
4. Trouth C. O., Loeschcke H. H., Berndt I. Topography of the circulatory responses to electrical stimulation in the medulla oblongata — Pflügers Arch., 1973, 339, N 3, S. 185—201.

Кафедра нормальной физиологии
Куйбышевского медицинского института

Поступила в редакцию
12.11.81

Известно не-
ных клеток и опис-
нических воздейст-
мальное функцион-
Методика выделени-
лагеназы и трипси-

кровных [1] и теп-
из мышц желудка
морской свинки [2—

Метод исслед-
с гладкомышечной
ва функциональна-
отдельных гладком-
результаты, получе-
ной организации г-
имущество метода
намику сокращени-
какой-то мере трех-

В настоящей
способов получения
анализ.

В наших эксп-
морской свинки. М-
личить выход изоли-

Для выделени-
рованный раствор
5,5 глюкоза, ионы С-
коза, 4,0 CaCl₂.

Растворы гото-
(А, Б, В) методики

А. Взятую у ж-
на кусочки размеро-
1, в который был
в бокс с остеклен-
трипсин («Дифко»,