
МЕТОДИКИ

МЕТОД МИКРОВОЛНОВОЙ РАДИОТЕРМОМЕТРИИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ЦИРКАДИАНЫХ РИТМОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА

О.А.Шевелев^{1,2}, М.В.Петрова^{1,2}, М.Ю.Юрьев¹, Э.М.Менгисту², И.З.Костенкова¹,
Н.А.Ходорович², М.А.Жданова¹, С.Г.Веснин¹, И.Горянин³

¹ФНКЦ реаниматологии и реабилитологии, Москва, РФ; ²ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов, Москва, РФ; ³School of Informatics, University of Edinburgh, Edinburgh, UK

Исследовали возможность применения микроволновой радиотермометрии головного мозга в биоритмологии. Показано, что вариации температуры лобных долей коры правого и левого полушария строго соответствуют 24-часовым циклам с амплитудой колебаний 1.2-1.4°C, значительно превышая амплитуду базальной температуры. Сделан вывод об информативной ценности метода неинвазивной регистрации суточной динамики изменений температуры головного мозга.

Ключевые слова: циркадианные ритмы; температура головного мозга; микроволновая радиотермометрия

Температура тела человека, определяемая уровнем общей метаболической активности и состоятельностью механизмов элиминации избытка теплоты во внешнюю среду, является важнейшим интегративным показателем общего состояния организма. Температурный гомеостаз организма характеризуется весьма высокой гетерогенностью, свойственной головному мозгу, в котором различия температуры между областями, вовлечёнными в возбуждение и находящимися в относительном покое, могут достигать нескольких градусов [10]. Несмотря на температурную гетерогенность, суточная динамика изменений температуры синхронизирована и имеет отчётливую циркадианную ритмичность. Регистрация температуры тела — методически самый простой способ анализа состояния биологических ритмов [2].

Температурный гомеостаз головного мозга имеет особенности, отличающие его от других отделов теплового центра организма. В частности, высочайшая метаболическая активность

обеспечивает выделение около 20% всей продуцируемой теплоты в норме в покое при массе мозга менее 2% от массы тела [6]. Основным способом удаления избытка теплоты является конвекционный путь, обеспеченный мощным притоком артериальной крови (около 20% минутного объёма кровообращения). За счёт механизмов ауторегуляции церебральный кровоток относительно независим от общей гемодинамики в определённых пределах изменения системного АД, что способно повлиять на процессы элиминации теплоты и создаёт основы относительной независимости вариаций церебральной и базальной температуры [1]. Повышение или понижение температуры в разных отделах мозга может не отражаться в изменениях температуры тела, а судить об актуальных значениях церебральной температуры по данным измерений в аксиальной области или полостях организма с достаточной точностью не представляется возможным [9].

Технологии измерения церебральной температуры становятся ценным инструментом диагностики тяжести течения и прогноза исходов заболеваний, обусловленных поражениями головного мозга [3]. При этом внимание исследо-

Адрес для корреспонденции: shevelev_o@mail.ru. Шевелев О.А.

вателей уделяется не только абсолютным значениям температуры, но и динамике её изменений в течение суток. В частности, инвазивная регистрация церебральной температуры при геморрагическом инсульте [5] и черепно-мозговой травме показала, что лучший результат терапии был у пациентов с сохранным циркадианным ритмом [4].

Для неинвазивной регистрации используют ЯМР-спектроскопию, которая позволяет расчётным способом определить температуру в разных областях мозга [7,8]. Однако эта дорогостоящая и времязатратная технология не пригодна для динамического мониторинга. Для биоритмологических исследований требуется неинвазивная методика, позволяющая осуществлять многократные измерения в течение суток, и этим требованиям отвечает микроволновая радиотермометрия (МВТ). МВТ основана на регистрации мощности собственного электромагнитного излучения тканей в СВЧ-диапазоне (1-7 ГГц) [7] и применима для оценки температуры мозга. Точность измерения составляет $\pm 0.23^{\circ}\text{C}$, что показано при измерении температуры датчиками, имплантированными на глубину 3-4 см в паренхиму мозга [8], т.е. МВТ позволяет оценить температуру коры мозга на глубине 5-7 см от поверхности кожи.

Циркадианные ритмы изменений базальной температуры у человека и животных весьма подробно изучены с применением различных способов регистрации, однако МВТ для исследования суточной динамики температуры мозга у человека ранее не применялась.

Цель данной работы — определить информативность МВТ при изучении циркадианных ритмов температуры головного мозга у человека.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании участвовали 20 здоровых добровольцев (9 мужчин, 11 женщин, средний возраст — 29.3 года). Каждый испытуемый дал письменное информированное согласие на участие в исследовании.

Температуру лобных областей коры левого и правого полушария измеряли в течение 2 сут каждые 4 ч, начиная с 08:00 ч первого дня. Исследование завершали измерением в 08:00 ч на 3-и сутки. В те же периоды измеряли базальную температуру в подмышечной впадине ртутным термометром. Измерения проводили в стандартных условиях при температуре окружающей среды $23-24^{\circ}\text{C}$ и влажности воздуха



Рис. 1. Пример регистрации температуры мозга с использованием радиотермографа РТМ-01-РЭС. Антенна установлена в проекции коры лобных отделов левого полушария.

50-65%. Для измерения температуры мозга использовали радиотермограф РТМ-01-РЭС (ООО "Фирма РЭС"), который позволяет зарегистрировать мощность электромагнитного излучения глубоких тканей в диапазоне частот 3.2-3.7 ГГц. Для проведения измерений антенну РТМ-01-РЭС диаметром 32 мм устанавливали в областях проекции лобных долей коры мозга (рис. 1), плотно прижимая её к поверхности кожи. Результаты исследования получены в августе-сентябре 2021 г.

Полученные результаты статистически обрабатывали с помощью программы IBM SPSS statistics software package 21.0. При анализе вида распределения проводился тест Шапиро—Уилка. Результаты, учитывая отличающееся от нормального распределение, представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха (25-75%). Взаимосвязи между показателями рассчитывались на основе коэффициента корреляции рангов Спирмена. Для сравнения количественных показателей использовали непараметрический критерий Манна—Уитни. Статистически значимыми считали различия при $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Применение МВТ позволило выявить отчётливую суточную динамику изменений температуры в лобных отделах коры левого и правого полушария, отличающуюся от вариаций базальной

температуры (рис. 2; таблица). Максимальные значения температуры в левом и правом полушарии были зарегистрированы в 1-е и 2-е сутки в 16:00 ч, минимальные значения температуры коры мозга — в 04:00 ч. Суточная динамика аксиальной температуры имела такую же тенденцию, что и температура мозга, отличаясь по амплитуде и периодичности: максимум в 1-е и 2-е сутки в 16:00 ч, минимум — в 04:00 ч. Мезор температуры левого полушария составлял 36.3°C, правого — 36.2°C, температуры тела — 36.3°C.

Периоды одного полного колебания температуры для обоих полушарий точно совпадали и строго соответствовали 24-часовому суточному ритму. Период колебания температуры тела оказался несколько сдвинут. В 1-е сутки

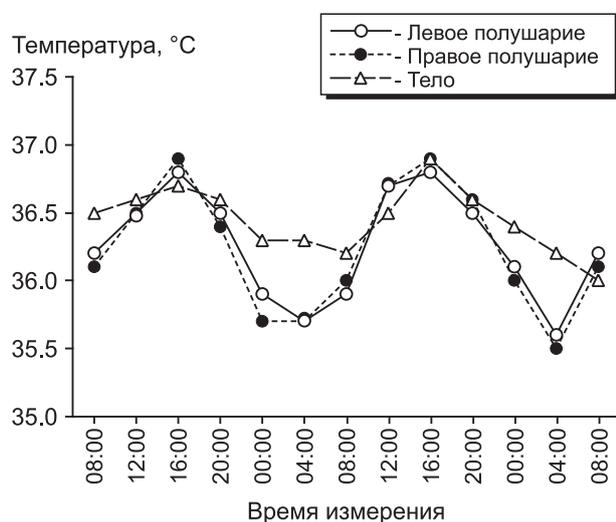


Рис. 2. Изменения температуры лобных отделов коры больших полушарий слева и справа, а также аксиальной температуры в течение 2 сут.

в 08:00 ч аксиальная температура составляла 36.5°C и достигала наиболее близких к этому показателю значений к 12:00 ч следующих суток (36.5°C), а в 08:00 ч на 3-и сутки оказалась значимо ($p < 0.05$) ниже зарегистрированной в 08:00 ч в начале исследования (36.0°C).

В период акрофазы (16:00 ч) температура обоих полушарий и аксиальная температура статистически не различалась, тогда как в период батифазы (04:00 ч) температура полушарий оказалась значимо ниже температуры тела ($p < 0.05$). Максимальная амплитуда колебаний температуры левого полушария составляла 1.1-1.2°C, правого — 1.2-1.4°C, температуры тела — 0.4-0.7°C.

При проведении корреляционного анализа были выявлены сильные достоверные положительные связи между вариациями температуры левого и правого полушария в течение суток ($r = 0.899$), тогда как связи между изменениями температуры левого и правого полушария и базальной температуры оказались средней силы ($r = 0.446$ и $r = 0.425$ соответственно).

Полученные результаты позволяют выделить определённые различия циркадианных ритмов температуры головного мозга и базальной температуры. В частности, температура в левом и правом полушарии строго соответствовала 24-часовому циклу, тогда как базальная температура была не так чётко синхронизирована с суточным ритмом. В период батифазы температура коры мозга значимо снижалась и оказывалась ниже температуры тела.

Безусловно, проведённое пилотное исследование требует более масштабного продолжения для подтверждения информационной значимости использования МВТ в биоритмологии,

Температура коры больших полушарий и температура тела (Me (25-75%))

Время измерения, ч	Температура коры больших полушарий, °C		Температура тела, °C
	левое полушарие	правое полушарие	
08:00	36.20 (36.63-36.88)	36.05 (35.60-36.80)	36.30 (36.05-36.50)
12:00	36.45 (36.03-36.88)	36.50 (36.03-36.88)	36.55 (36.30-36.70)
16:00	36.7 (36.23-37.28)	36.85 (36.33-37.50)	36.50 (36.23-36.80)
20:00	36.5 (36.05-36.88)	36.30 (36.03-36.68)	36.50 (36.20-36.68)
24:00	35.75 (35.53-36.2)	35.60 (35.40-36.20)	36.40 (35.93-36.50)
04:00	35.5 (35.33-36.10)	35.60 (35.30-35.80)	36.25 (36.10-36.40)
08:00	35.95 (35.40-36.20)	36.05 (35.70-36.45)	36.10 (36.00-36.30)
12:00	36.6 (36.33-36.90)	36.70 (36.23-37.08)	36.40 (36.20-36.58)
16:00	36.75 (36.20-37.20)	36.90 (36.33-37.40)	36.65 (36.33-37.00)
20:00	36.35 (36.13-37.20)	36.40 (36.10-37.15)	36.50 (36.30-36.68)
24:00	36.00 (35.60-36.68)	36.00 (35.50-36.50)	36.25 (36.00-36.48)
04:00	35.50 (35.23-35.88)	35.35 (35.20-35.68)	36.10 (35.93-36.28)
08:00	36.25 (35.93-36.48)	36.15 (35.70-36.60)	36.00 (35.93-36.48)

но позволяет сделать предварительные выводы о целесообразности её применения. МВТ является неинвазивной методикой регистрации температуры коры больших полушарий и может быть использована при исследовании циркадианных ритмов температуры отделов коры больших полушарий головного мозга. Информация об особенностях суточной динамики температуры коры мозга и базальной температуры может оказаться полезной для хронобиологических исследований и быть диагностически значимой при церебральной патологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александрова Е.В., Ошоров А.В., Сычев А.А., Полупан А.А., Захарова Н.Е., Крюкова К.К., Баталов А.И., Савин И.А., Кравчук А.Д., Потанов А.А. Ауторегуляция мозгового кровотока при тяжелом диффузном аксональном повреждении головного мозга: роль нейроанатомических факторов // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. 2018. Т. 82, № 3. С. 5-14. doi: 10.17116/neiro20188235
2. Бороноев В.В. Иерархия биоритмов в организме человека // Междунар. журн. приклад. и фундамент. исслед. 2015. № 11. С. 37-40.
3. Ishida T., Inoue T., Inoue T., Endo T., Fujimura M., Niizuma K., Endo H., Tominaga T. Brain temperature measured by magnetic resonance spectroscopy to predict clinical outcome in patients with infarction // Sensors (Basel). 2021. Vol. 21, N 2. ID 490. doi: 10.3390/s21020490
4. Kropyvnytskyi I., Saunders F., Pols M., Zarowski C. Circadian rhythm of temperature in head injury // Brain Inj. 2001. Vol. 15, N 6. P. 511-518. doi: 10.1080/02699050010007515
5. Lu H.Y., Huang A.P., Kuo L.T. Prognostic value of circadian brain temperature rhythm in basal ganglia hemorrhage after surgery // Neurol. Ther. 2021. Vol. 10, N 2. P. 1045-1059. doi: 10.1007/s40120-021-00283-y
6. Mrozek S., Vardon F., Geeraerts T. Brain temperature: physiology and pathophysiology after brain Injury // Anaesth. Res. Pract. 2012. N 1. ID 989487. doi: 10.1155/2012/989487
7. Pesonen E., Silvasti-Lundell M., Niemi T.T., Kivisaari R., Hernesniemi J., Mäkinen M.T. The focus of temperature monitoring with zero-heat-flux technology (3M Bair-Hugger): a clinical study with patients undergoing craniotomy // J. Clin. Monit. Comput. 2019. Vol. 33, N 5. P. 917-923. doi: 10.1007/s10877-018-0227-z
8. Shevelev O., Petrova M., Smolensky A., Osmonov B., Tomimatov S., Kharybina T., Karbainov S., Ovchinnikov L., Vesnin S., Tarakanov A., Goryanin I. Using medical microwave radiometry for brain temperature measurements // Drug Discov. Today. 2021. Nov. 9. S1359-6446(21)00482-7. doi: 10.1016/j.drudis.2021.11.004
9. Sung D., Kottke P.A., Risk B.B., Allen J.W., Nahab F., Fedorov A.G., Fleischer C.C. Personalized predictions and non-invasive imaging of human brain temperature // Communications Physics. 2021. Vol. 4, N 1. doi: 10.1038/s42005-021-00571-x
10. Wang H., Wang B., Normoyle K.P., Jackson K., Spitler K., Sharrock M.F., Miller C.M., Best C., Llano D., Du R. Brain temperature and its fundamental properties: a review for clinical neuroscientists // Front. Neurosci. 2014. Vol. 8. ID 307. doi: 10.3389/fnins.2014.00307

Получено 10.01.22