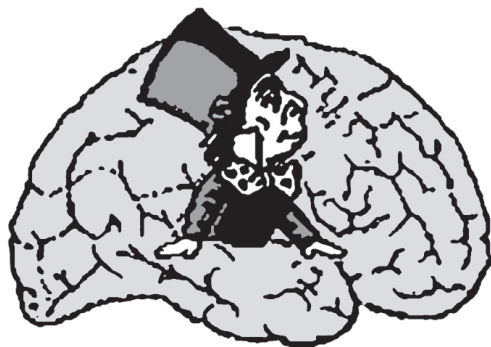


КОГНИТИВНАЯ НАУКА В МОСКВЕ
НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



**МАТЕРИАЛЫ
КОНФЕРЕНЦИИ
2017**

ПОД РЕД. Е.В. ПЕЧЕНКОВОЙ, М.В. ФАЛИКМАН

УДК 159.9

ББК 81.002

К57

К57 Коллективный

Когнитивная наука в Москве: новые исследования. Материалы конференции 15 июня 2017 г.

Под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман. – М.: ООО «Буки Веди», ИППИП. 2017 г. – 596 стр.

Электронная версия

ISBN 978-5-4465-1509-7

УДК 159.9

ББК 81.002

ISBN 978-5-4465-1509-7

© Авторы статей, 2017

ФМРТ-ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА В ЗАДАЧЕ КАТЕГОРИЗАЦИИ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ И НЕЙТРАЛЬНЫХ ЛИЦ

О. А. Королькова* (1), Е. В. Печенкова (2), В. Е. Сеницын (2)

olga.kurakova@gmail.com

1 – МГППУ, Москва; 2 – ЛРЦ, Москва

Аннотация. Проведено фМРТ-исследование функциональных связей головного мозга при выполнении задачи категоризации эмоциональных и нейтральных лиц. Показано, что в условиях восприятия эмоциональных лиц усиливаются связи области в задней части правой верхней височной борозды (STS) с другими зонами, входящими в ядро распределенной системы анализа лиц. При восприятии нейтральных лиц усиливаются связи STS и других зон ядра системы с областями, лежащими за его пределами. Наблюдается латерализация функциональных связей STS, связанная с наличием либо отсутствием эмоциональной экспрессии. Полученные данные подтверждают ключевую роль STS в распознавании выражений лица.

Ключевые слова: восприятие лица, эмоциональные экспрессии, фМРТ, распределенная система лиц, функциональные связи мозга

Лицо человека – социально и биологически значимый объект, задачу распознавания и оценки которого мы решаем ежедневно. Изучение мозговых механизмов восприятия лица и его экспрессий методами функционального картирования позволило описать распределенную систему обработки лицевой информации, в ядро которой входят область в нижней затылочной извилине (OFA), обеспечивающая начальный анализ отдельных частей лица (Pitcher et al., 2011); область в веретеновидной извилине (FFA), связанная с анализом инвариантных характеристик лица и узнавания человека по лицу (Kanwisher et al., 1997); область в задней части верхней височной борозды (pSTS), которая активируется при анализе изменчивых аспектов – выражения лица, движений губ при речи и направления взгляда (Haxby et al., 2000). В расширенной системе происходит дальнейший анализ направления взгляда (межтеменная борозда – IPS), семантической (нижняя лобная извилина – IFG, передняя височная кора – ATC), эмоциональной (миндалины – Amy, островковая кора – Ins), биографической (предклинье – PreCun, задняя поясная извилина – pCiG) и другой информации. Латеральная затылочная кора (LOC), связанная с восприятием объектов, может включаться в раннюю структурную обработку изображений лица. Важная особенность состоит в том, что анализ различных типов информации рассматривается не как функция отдельных областей мозга, но как результат их скоординированной работы (Ishai, 2008).

Современные методы изучения функциональных связей (ФС) позволили уточнить характер взаимодействий внутри распределенной системы. ФС в ядре системы сильнее, чем связи отдельных ее частей с другими зонами (Fairhall, Ishai, 2007), а межполушарные связи между симметричными структурами в целом сильнее, чем связи в пределах одного полушария (Davies-Thompson, Andrews, 2012). Среди последних наиболее сильными являются связи OFA и FFA, FFA и STS, STS и Аmy, а наиболее слабыми – OFA и STS. ФС ядра системы с ее расширенной частью избирательны: активация в OFA и FFA больше всего коррелирует с активацией в IPS, PreCun и верхних буграх четверохолмия, а активация в STS – с активацией в Аmy и IFG. Способность распознавать эмоциональные экспрессии коррелирует с усилением связей задней части правой STS с другими зонами системы лиц, оцененных по результатам фМРТ покоя (Wang et al., 2016). Однако вопрос о том, зависит ли сила связей внутри системы лиц от воспринимаемого выражения лица, остается открытым.

Нас интересовало, как будет изменяться характер ФС в распределенной системе при решении задачи категоризации эмоциональных и нейтральных лиц. В соответствии с данными литературы ожидалось изменения связей STS с другими зонами мозга.

Методика

Было проведено фМРТ-исследование, в котором приняли участие 18 добровольцев в возрасте 18–31 год ($Md=22$ года; 3 м. и 15 ж.; все правши, без неврологических нарушений, с нормальным или скорректированным зрением).

Участникам демонстрировались цветные изображения лиц из базы JACFEE/JACNeuF (Matsumoto, Ekman, 1988). Каждое лицо предьявлялось в течение 3 секунд. От участников требовалось как можно быстрее путем нажатия на одну из двух кнопок дать ответ, было ли это лицо нейтральным или выражало какую-либо эмоцию. Всего предьявлялось 40 нейтральных лиц и 40 эмоциональных, среди последних были выражения радости, печали, гнева, страха и отвращения (по 8 лиц), порядок предьявления был случайным. Интервалы между лицами случайно варьировались и составляли в среднем 5.4 с, в это время на экране экспонировался фиксационный крест. Общее время исследования – 10 минут.

Применялся быстрый связанный с событиями дизайн исследования; последовательность экспозиции рассчитывалась в программе optseq2 (<http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/optseq/>). Процедура контролировалась с помощью Psychtoolbox. Изображения лиц проецировались на экран обратной проекции, который был виден участникам через систему зеркал. Ответы давались при помощи МР-совместимых кнопок. Сканирование проводилось на томографе Siemens Avanto 1.5T. Функциональные данные получали путем регистрации T2*-взвешенных изображений: размер воксела $4.2 \times 4.2 \times 4.2$ мм, TR=2000 мс, TE=50 мс, FA=83°. Параметры структурных T1-взвешенных изображений: воксел $1.0 \times 1.0 \times 1.0$ мм, TR=1900 мс, TE=2.91 мс, FA=15°.

Данные предобработывались в SPM8 (Wellcome Trust Centre for Neuroimaging; <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm8/>). Анализ ФС по фМРТ,

связанной с задачей, проводился в пакете CONN17.b (Whitfield-Gabrieli, Nieto-Castanon, 2012; <http://www.nitrc.org/projects/conn>). Применялись низко-частотная фильтрация (< 0.008 Гц), удаление линейных трендов и линейная регрессия с целью снизить артефакты BOLD-сигнала, связанные с движением и наличием/отсутствием задания.

Индивидуальные данные анализировались методом voxel-to-voxel: рассчитывались средние корреляции между BOLD-сигналом в каждом из вокселей ядра распределенной системы лиц с остальными входящими в ядро системы вокселями. Расположение OFA, FFA и STS извлекалось из атласа Brain activity atlas (Zhen et al., 2015). Он содержит области, демонстрирующие избирательную активацию при восприятии динамических лиц по сравнению с другими движущимися объектами, на выборке в 202 человека. Дополнительно рассчитывались корреляции между активацией вокселей по всему объему серого вещества. Также методом seed-to-voxel рассчитывались корреляции активации в отдельных зонах ядра распределенной системы с активацией во всех остальных зонах мозга и латерализация связей OFA, FFA и STS (на всем протяжении и отдельных ее частей).

Для анализа групповых данных использовались обобщенные линейные модели. Рассчитывались линейные контрасты между ФС в условиях оценки эмоциональных (Э) и нейтральных (Н) лиц: $\text{Э} > \text{Н}$ и $\text{Н} > \text{Э}$. Пороговый уровень значимости – $p < .005$ на уровне отдельных вокселей (без поправки на множественные сравнения); на уровне кластеров вводилась поправка FDR.

Результаты и обсуждение

Анализ средних корреляций внутри ядра системы показал, что при сравнении $\text{Э} > \text{Н}$ связи задней части правой STS с остальными зонами ядра усиливаются (пик активации внутри кластера имеет координаты в системе MNI [+66 -44 +14], размер кластера $k=18$, $p=.037$). Усиления ФС при сравнении $\text{Н} > \text{Э}$ не обнаружено. При анализе корреляций по всему объему серого вещества выявлено усиление связей области в левой верхней лобной извилине для контраста $\text{Н} > \text{Э}$ ($[-18 +16 +62]$, $k=38$, $p=.022$). Результаты, полученные методом seed-to-voxel, представлены в табл. 1. Они свидетельствуют об усилении ФС между областями в правом полушарии, связанными с анализом структуры лица (rOFA, rFFA и rLOC), и ФС областей в левой STS с зонами структурной обработки лица билатерально (FFA, LOC) для контраста $\text{Н} > \text{Э}$. В условии $\text{Э} > \text{Н}$ усиливаются только связи передней части левой STS и задней части поясной извилины. Кроме того, изменяется паттерн латерализации связей: в условиях $\text{Н} > \text{Э}$ возрастают связи левой STS и левой FFA преимущественно с зонами в лобной и височной коре слева, а в случае $\text{Э} > \text{Н}$ усиливаются связи правой STS с затылочными областями.

Результаты исследования подтверждают представления о ключевой роли правой STS в распознавании эмоциональных экспрессий лица, социальных действий и намерений других людей (напр., Yang et al., 2015). В этой области интегрируется информация о движении и форме лица, поступающая по двум различным путям (Furl et al., 2015). Наши данные согласуются

Таблица 1. Результаты, полученные методом seed-to-voxel

Усиление связей при восприятии эмоциональных лиц по сравнению с нейтральными				
ЗИ	СЗИ	Пик	<i>k</i>	<i>p</i>
laSTS	pCiG	-10 -28 +18	44	.046
Усиление связей при восприятии нейтральных лиц по сравнению с эмоциональными				
rOFA	rFG, rLOC	+42 -72 -14	77	.004
rpFG	CiG	-2 -48 +26	44	.032
	rLOC	+42 -80 -14	44	.033
	lpSTG	-62 -20 -2	36	.049
laSTS	rFG, rLOC	+38 -80 -2	69	.007
	lLOC	-30 -92 +6	58	.009
	rSPL, rPostCG	+34 -44 +66	52	.011
lpSTS	lFG, lLOC	-30 -88 +14	166	< .001
	rFG, rLOC	+38 -64 -10	56	.012
lpcSTS	lFG, lLOC	-34 -53 -10	88	.001
	lFO, lIns	-42 +20 -2	46	.021
Латерализация связей при восприятии эмоциональных лиц по сравнению с нейтральными				
rSTS > lSTS	lLOC, lOP	-18 -88 +6	90	.002
	rLOC	+26 -76 +14	58	.010
	rLG	+2 -76 -2	45	.022
raSTS > laSTS	rLG, rICC	+6 -52 -10	268	< .001
	rPreCG, rPostCG	+26 0 +62	171	< .001
	lMTG, lLOC	-46 -52 +2	49	.018
rOFA > lOFA	rAG, rpSMG	+46 -44 +38	85	.001
Латерализация связей при восприятии нейтральных лиц по сравнению с эмоциональными				
lSTS > rSTS	lFP, lMFG, lIFG	-46 +40 -2	218	< .001
	lLOC, lAG	-34 -64 +42	105	< .001
	r/lSFG, r/lPaCiG	+10 +36 +50	49	.015
	lMTG	-58 -32 -18	34	.047
lpcSTS > rpcSTS	rMTG	+66 -24 -10	58	.015
lpFG > rpFG	r/lFP, r/lPaCiG	+2 +68 +14	108	< .001

Примечание. ЗИ – зоны интереса (seed); СЗИ – зоны, связанные с зонами интереса (target); Пик – воксел с наиболее выраженной активацией в данном кластере (в координатах MNI); *k* – размер кластера в вокселях; *p*-уровни приведены с поправками FDR на уровне кластеров.

с более ранними результатами, согласно которым функциональная интеграция связей rSTS коррелирует с индивидуальной точностью распознавания эмоций (Wang et al., 2016). В отличие от ранней работы, анализирующей фМРТ покоя, в нашем исследовании использовались данные фМРТ, связанной с задачей категоризации лиц на эмоциональные и нейтральные. Известно, что по сравнению с выполнением нерелевантной задачи эксплицитная задача категоризации эмоций сильнее активирует rSTS (Dricu, Frühholz, 2016). Наши результаты позволяют предположить, что оценка эмоциональных лиц по сравнению с нейтральными связана с интеграцией связей pSTS с основными зонами системы лиц, тогда как оценка нейтральных лиц требует вовлечения областей за пределами ядра системы. Полученные данные относительно латерализации связей ядра распределенной системы в целом согласуются с обширной литературой о доминировании правого полушария в обработке эмоциональных стимулов (напр., Killgore, Yurgelun-Todd, 2007), однако требуют дальнейшего анализа.

Заключение

По результатам проведенного исследования описаны изменения функциональных связей при восприятии эмоциональных экспрессий и нейтрального выражения лица. Показано, что в условии восприятия эмоциональных лиц происходит интеграция связей STS (преимущественно справа) с другими зонами ядра распределенной системы, тогда как в условии нейтральных лиц усиливаются связи LSTS, rOFA и rPFA с областями, не входящими в ядро системы. Наблюдается латерализация функциональных связей STS, связанная с наличием либо отсутствием экспрессии.

Литература

- Davies-Thompson J., Andrews T.J. Intra- and interhemispheric connectivity between face-selective regions in the human brain // *Journal of Neurophysiology*. 2012. Vol. 108. No. 11. P. 3087 – 3095. doi:10.1152/jn.01171.2011
- Dricu M., Frühholz S. Perceiving emotional expressions in others: Activation likelihood estimation meta-analyses of explicit evaluation, passive perception and incidental perception of emotions // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2016. Vol. 71. P. 810 – 828. doi:10.1016/j.neubiorev.2016.10.020
- Fairhall S.L., Ishai A. Effective Connectivity within the distributed cortical network for face perception // *Cerebral Cortex*. 2006. Vol. 17. No. 10. P. 2400 – 2406. doi:10.1093/cercor/bhl148
- Furl N., Henson R.N., Friston K.J., Calder A.J. Network Interactions explain sensitivity to dynamic faces in the superior temporal sulcus // *Cerebral Cortex*. 2014. Vol. 25. No. 9. P. 2876 – 2882. doi:10.1093/cercor/bhu083
- Haxby J.V., Hoffman E.A., Gobbini M.I. The distributed human neural system for face perception // *Trends in Cognitive Sciences*. 2000. Vol. 4. No. 6. P. 223 – 233. doi:10.1016/s1364-6613(00)01482-0
- Ishai A. Let's face it: It's a cortical network // *NeuroImage*. 2008. Vol. 40. No. 2. P. 415 – 419. doi:10.1016/j.neuroimage.2007.10.040
- Kanwisher N., McDermott J., Chun M.M. The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception // *Journal of Neuroscience*. 1997. Vol. 17. No. 11. P. 4302 – 4311.

Killgore W.D.S., Yurgelun-Todd D.A. The right-hemisphere and valence hypotheses: could they both be right (and sometimes left)? // *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2007. Vol. 2. No. 3. P. 240–250. [doi:10.1093/scan/nsm020](https://doi.org/10.1093/scan/nsm020)

Matsumoto D., Ekman P. Japanese and Caucasian Facial Expressions of Emotion (JACFEE) and Neutral Faces (JACNeuF). San Francisco: San Francisco State University, 1988.

Pitcher D., Walsh V., Duchaine B. The role of the occipital face area in the cortical face perception network // *Experimental Brain Research*. 2011. Vol. 209. No. 4. P. 481–493. [doi:10.1007/s00221-011-2579-1](https://doi.org/10.1007/s00221-011-2579-1)

Wang X., Song Y., Zhen Z., Liu J. Functional integration of the posterior superior temporal sulcus correlates with facial expression recognition // *Human Brain Mapping*. 2016. Vol. 37. No. 5. P. 1930–1940. [doi:10.1002/hbm.23145](https://doi.org/10.1002/hbm.23145)

Whitfield-Gabrieli S., Nieto-Castanon A. Conn: A Functional Connectivity Toolbox for Correlated and Anticorrelated Brain Networks // *Brain Connectivity*. 2012. Vol. 2. No. 3. P. 125–141. [doi:10.1089/brain.2012.0073](https://doi.org/10.1089/brain.2012.0073)

Yang D.Y.-J., Rosenblau G., Keifer C., Pelfrey K.A. An integrative neural model of social perception, action observation, and theory of mind // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2015. Vol. 51. P. 263–275. [doi:10.1016/j.neubiorev.2015.01.020](https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.01.020)

Zhen Z., Yang Z., Huang L., Kong X.-Z., Wang X., Dang X., Huang Y., Song Y., Liu J. Quantifying interindividual variability and asymmetry of face-selective regions: A probabilistic functional atlas // *NeuroImage*. 2015. Vol. 113. P. 13–25. [doi:10.1016/j.neuroimage.2015.03.010](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.03.010)

An fMRI Study of Brain Functional Connectivity in Categorization of Neutral and Emotional Faces

Korolkova O.A. * (1), Pechenkova E.V. (2), Sinityn V.E. (2)

olga.kurakova@gmail.com

1 – Moscow State University of Psychology and Education, Moscow;

2 – Federal Center of Medicine and Rehabilitation, Moscow

Abstract. We analyzed brain functional connectivity using data from a task-based fMRI study of explicit categorization of neutral and emotional faces. During the perception of emotional faces, the correlation of BOLD signal in the right posterior superior temporal sulcus (STS) with other regions of the core face system increased, as compared to neutral faces. Conversely, during the perception of neutral faces, we found an increased correlation of STS and other core face system regions with brain areas outside the core system. The functional connectivity of STS shows lateralization due to the presence or absence of emotional expression. The obtained results support the key role of STS in facial expression recognition.

Keywords: face perception, emotional expression, fMRI, distributed face system, brain functional connectivity