

Созревание префронтальной коры головного
мозга и развитие познавательной деятельности у
детей дошкольного и младшего школьного
возраста

Prefrontal cortex maturation and cognitive
development in preschool and primary
schoolchildren

Мачинская Р.И., Фарбер Д.А., Курганский А.В. Петренко Н.Е.,
Семенова О.А., Абсатова К.А.

Институт возрастной физиологии (Россия, Москва)

e-mail: regina_machinskaya@yahoo.com

www.neurodev.ru

Методологические основы нейрофизиологии когнитивного развития

- ✓ Активное приспособительное поведение обеспечивается различными взаимодействующими нейронными ансамблями (распределенными системами), которые могут находиться в различных структурах мозга
- ✓ Объединение структур мозга в **систему** подчинено реализации задачи приспособительного поведения – достижению полезного результата. Такие динамические системы мозга характеризуются как **функциональные**
- ✓ В онтогенезе человека мозговые механизмы поведения формируются как **динамические функциональные физиологические системы** в процессе предметной деятельности
- ✓ **Одна и та же психическая функция** может быть реализована **различными функциональными системами** в зависимости от морфо - функциональной зрелости мозга в целом и его отдельных структур

Проблема созревания мозга и развития познавательных процессов

(Segalowitz Sid, The Role of Neuroscience in Historical and Contemporary Theories of Human Development // Human Behavior, Learning and Developing Brain The Guilford press: New-York, London, 2007. p. 3-29):

Созревание мозга – морфологические изменения нейронов и нейронных сетей мозга в целом и отдельных его структур, рост оболочки (миелинизация) нервных волокон в проводящих путях мозга

Познавательное (когнитивное) развитие – рост эффективности и изменение структуры различных компонентов психической деятельности: речи, восприятия, внимания и произвольной регуляции, социального поведения и т.д.

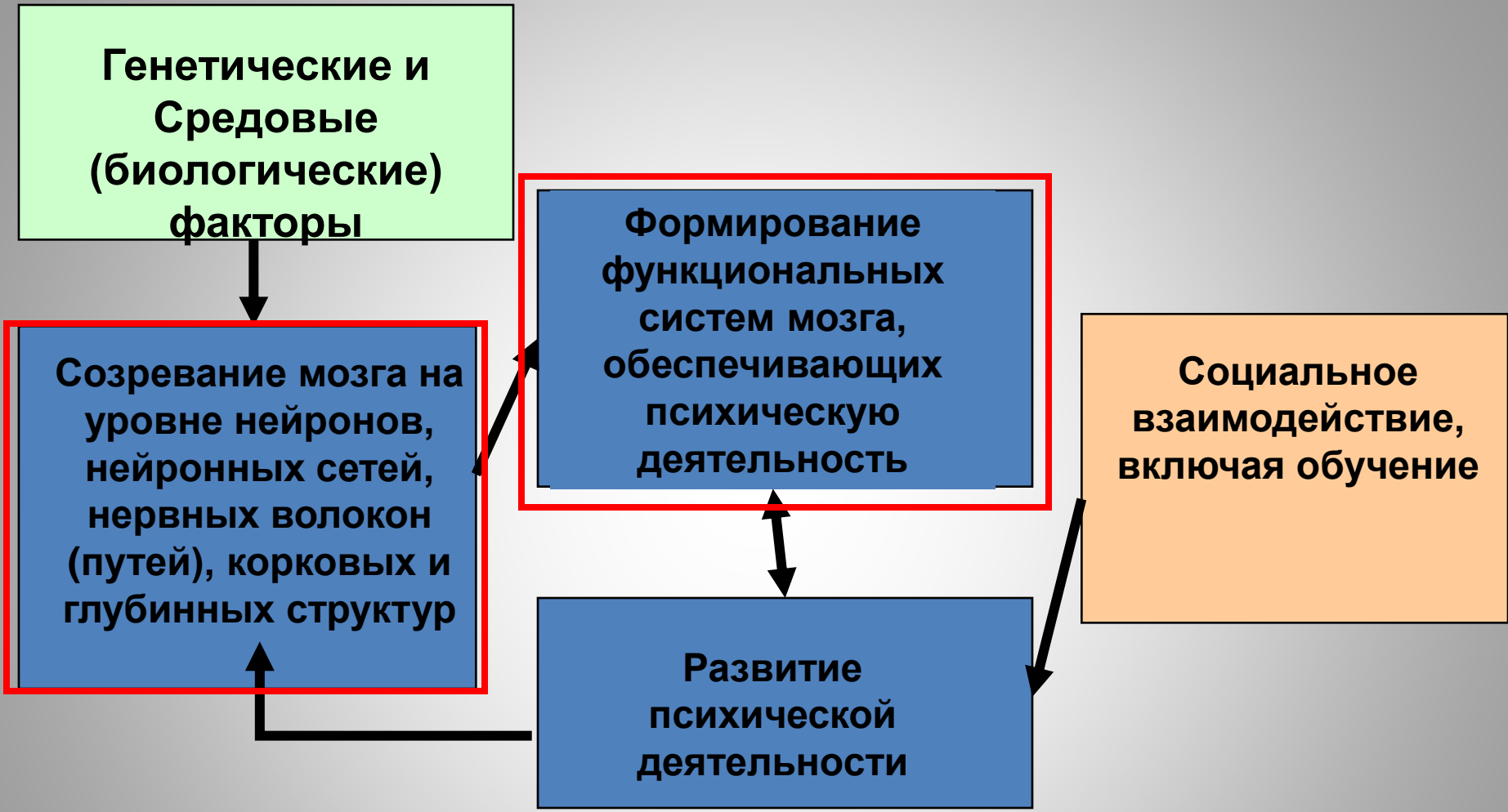
Связаны ли эти процессы?

Согласно результатам современных исследований мозговых механизмов познавательного развития :

- Индивидуальный опыт может влиять на то, какие гены будут активироваться в процессе развития
- Индивидуальный опыт влияет на структурные преобразования в мозге
- У человека период созревания мозга длится долго, и в течение этого периода индивидуальный опыт может оказывать влияние на структурные преобразования нервной системы
- Наиболее выраженное влияние на созревание мозга оказывает развитие активного целенаправленного поведения, в том числе произвольного направленного внимания и произвольной организации деятельности



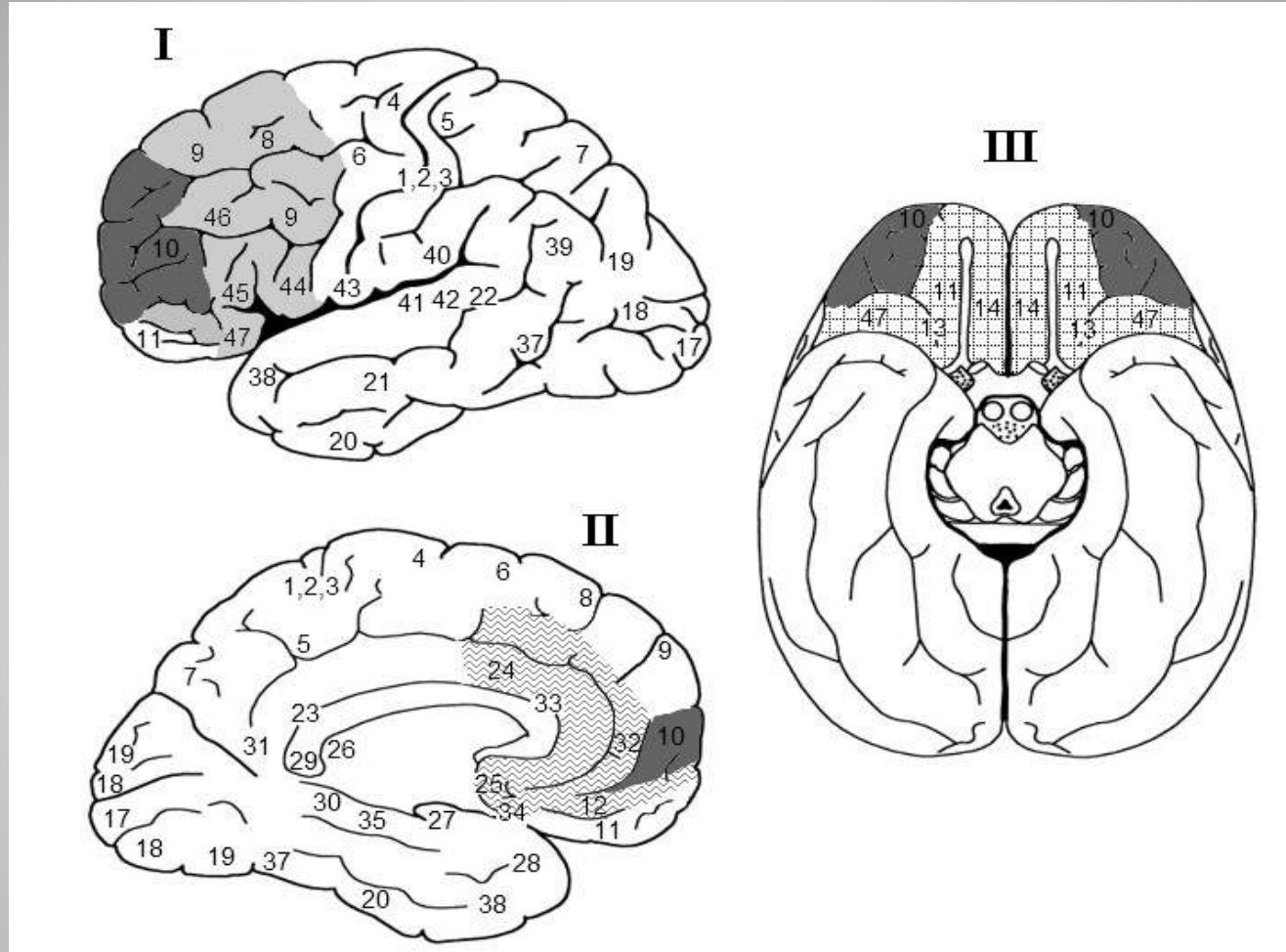
Существует взаимная положительная обратная связь между познавательным развитием и созреванием мозга



Основные морфо-функциональные преобразования мозга в процессе онтогенеза, оказывающие влияние на познавательное развитие ребенка

- Созревание префронтальной коры и ее афферентных и эфферентных связей, в особенности связей, обеспечивающих нисходящие модулирующие влияния на другие корковые зоны и глубинные структуры мозга.
- Морфо-функциональная специализация сенсорно-специфических и ассоциативных корковых зон
- Формирование внутри- и межполушарных связей, обеспечивающих функциональную специализацию левого и правого полушарий при реализации когнитивной деятельности

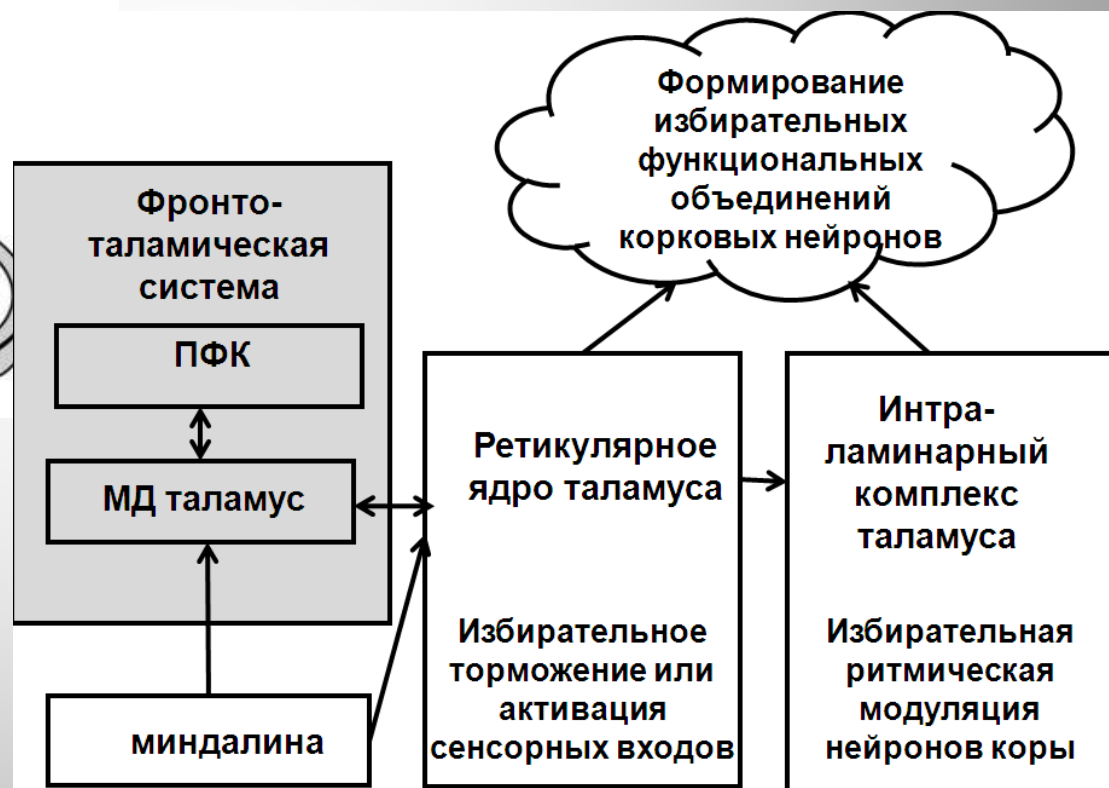
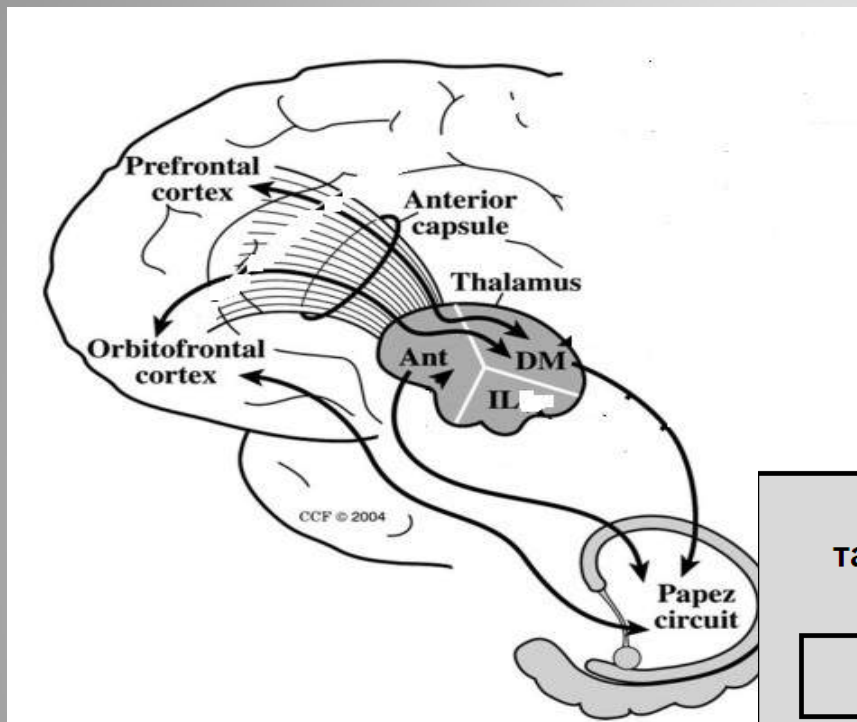
Префронтальная кора Prefrontal cortex



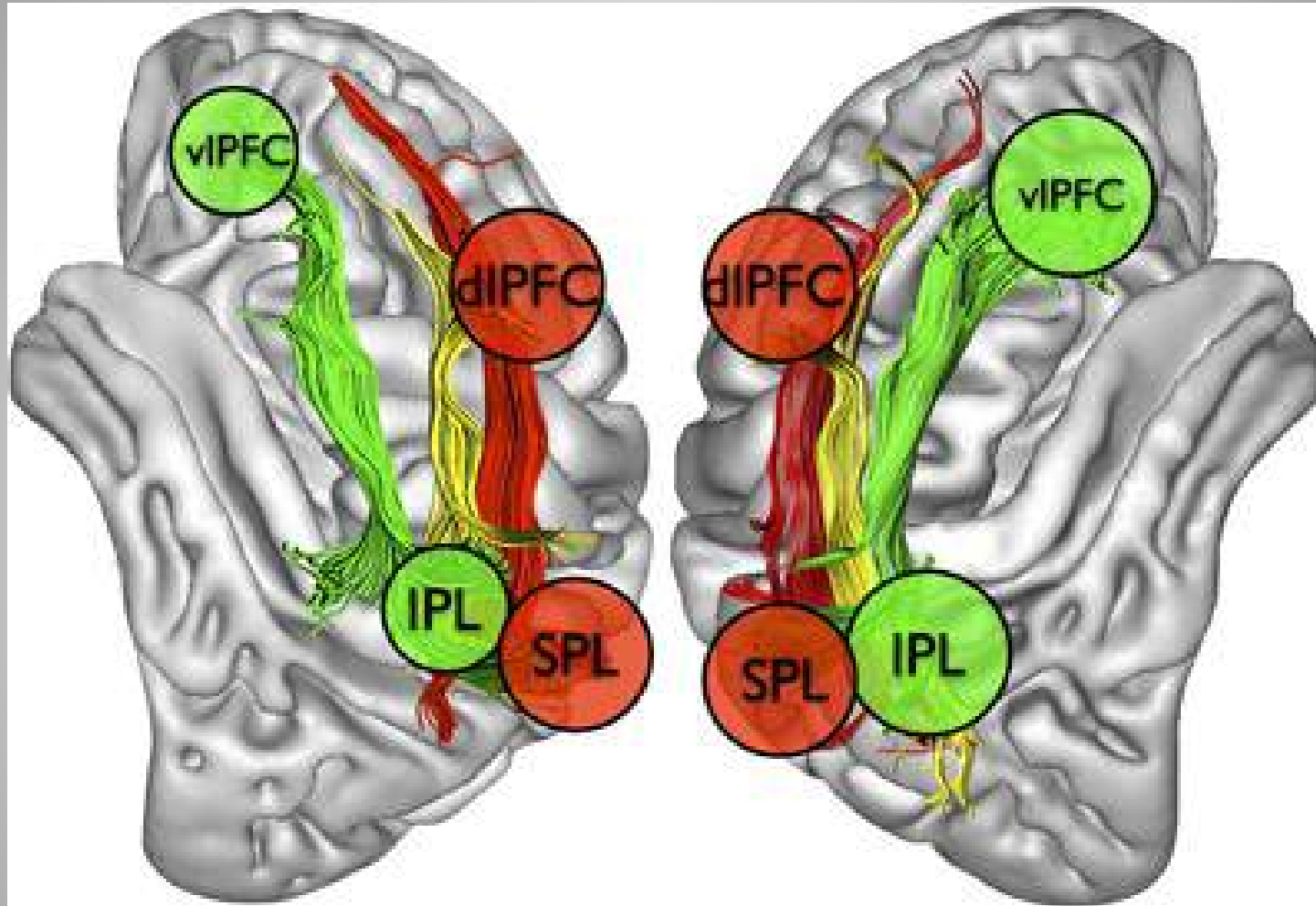
Выделены топографически и функционально-различные зоны ПФК (По данным работы Petrides, M., & Pandya, D. N. (2004). The frontal cortex. In G. Paxinos & U. Mai (Eds.), *The Human Nervous System* (pp. 950-972): Acad. Press.). I - латеральная, (поля 8, 9, 44-46, латеральная часть поля 47), II - медиальная (поля 24, 25, 32, часть поля 12), III - орбитальная (поля 11, 13, 14, орбитальная часть поля 47). Кора лобного полюса (поле 10) занимает роstralную часть лобной доли и представлена на всех трех схемах. (Мачинская, 2014, в печати)

Фронтоталамическая система

Fronto-thalamic system



Фронтально-париетальные системы Fronto-parietal systems



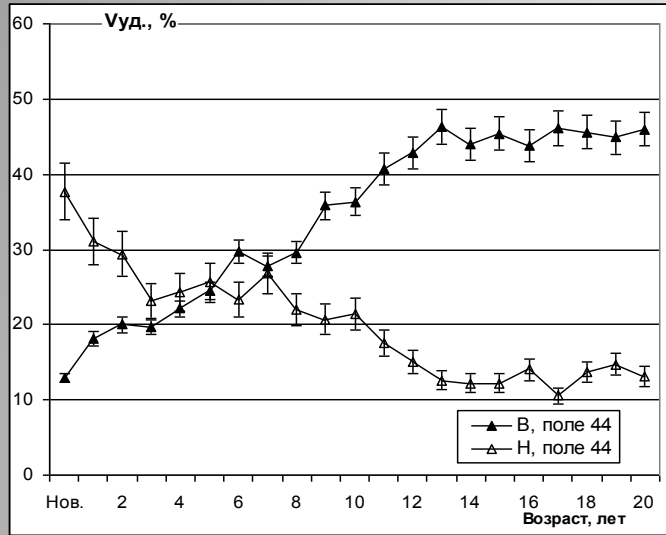
Schematic depiction of fronto-parietal attentional networks in the two hemispheres (Bartolomeo, P., et al. Brain networks of visuospatial attention and their disruption in visual neglect. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6. doi: 10.3389/fnhum.2012.00110)

Основные морфологические преобразования в ассоциативных зонах коры и проводящих путях головного мозга при переходе от предшкольного к младшему школьному возрасту.

Созревание локальных нейронных сетей в лобной и зрительной ассоциативной коре головного мозга (Цехмистренко, 2009)

Maturation of local neuronal sets in frontal and inferior temporal areas

Prefrontal area (B44)



2 yrs

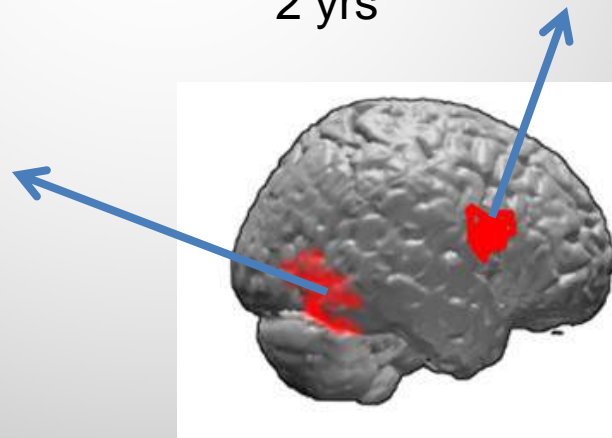
6 yrs

Inferior temporal area (B37)

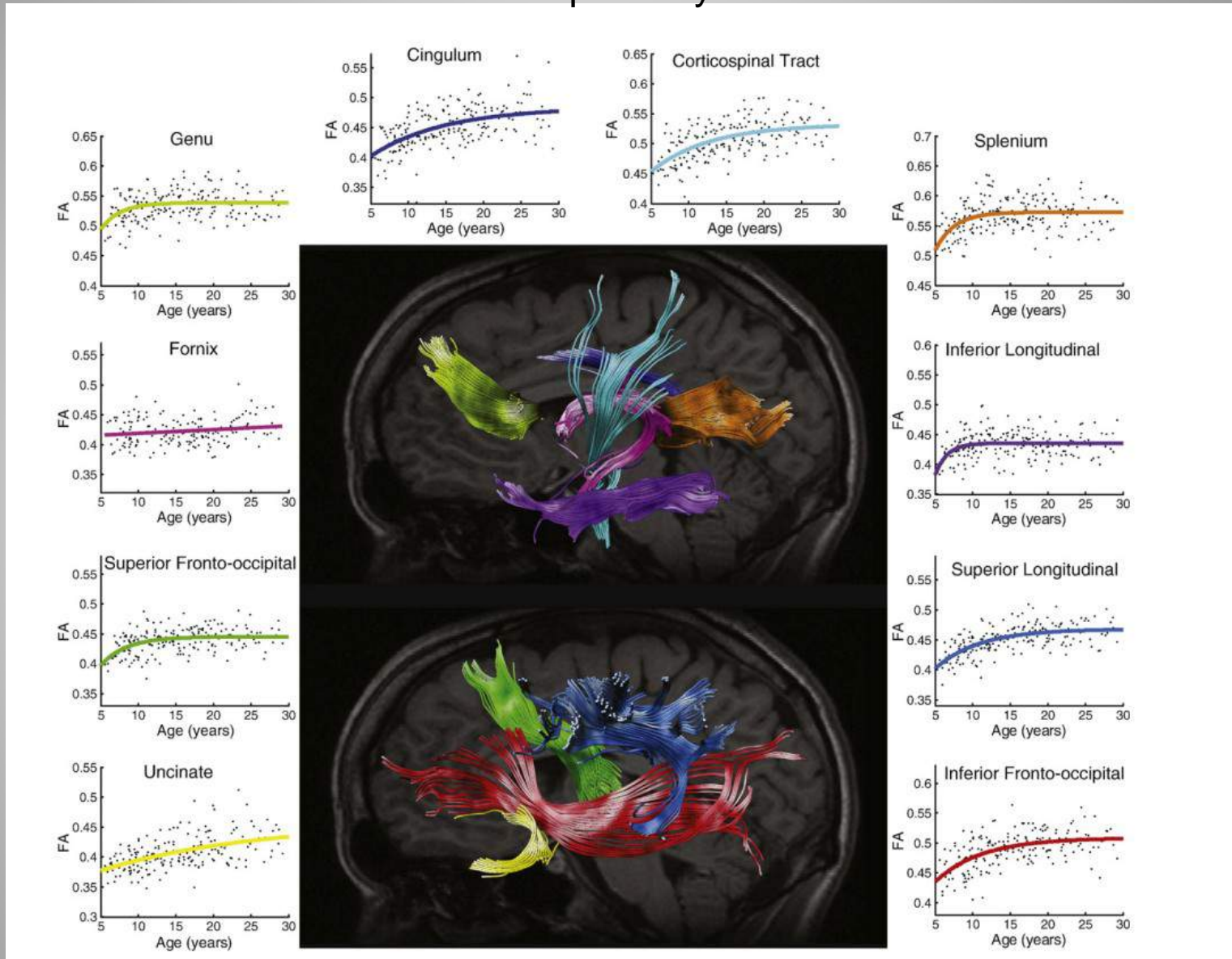


3 yrs

6 yrs

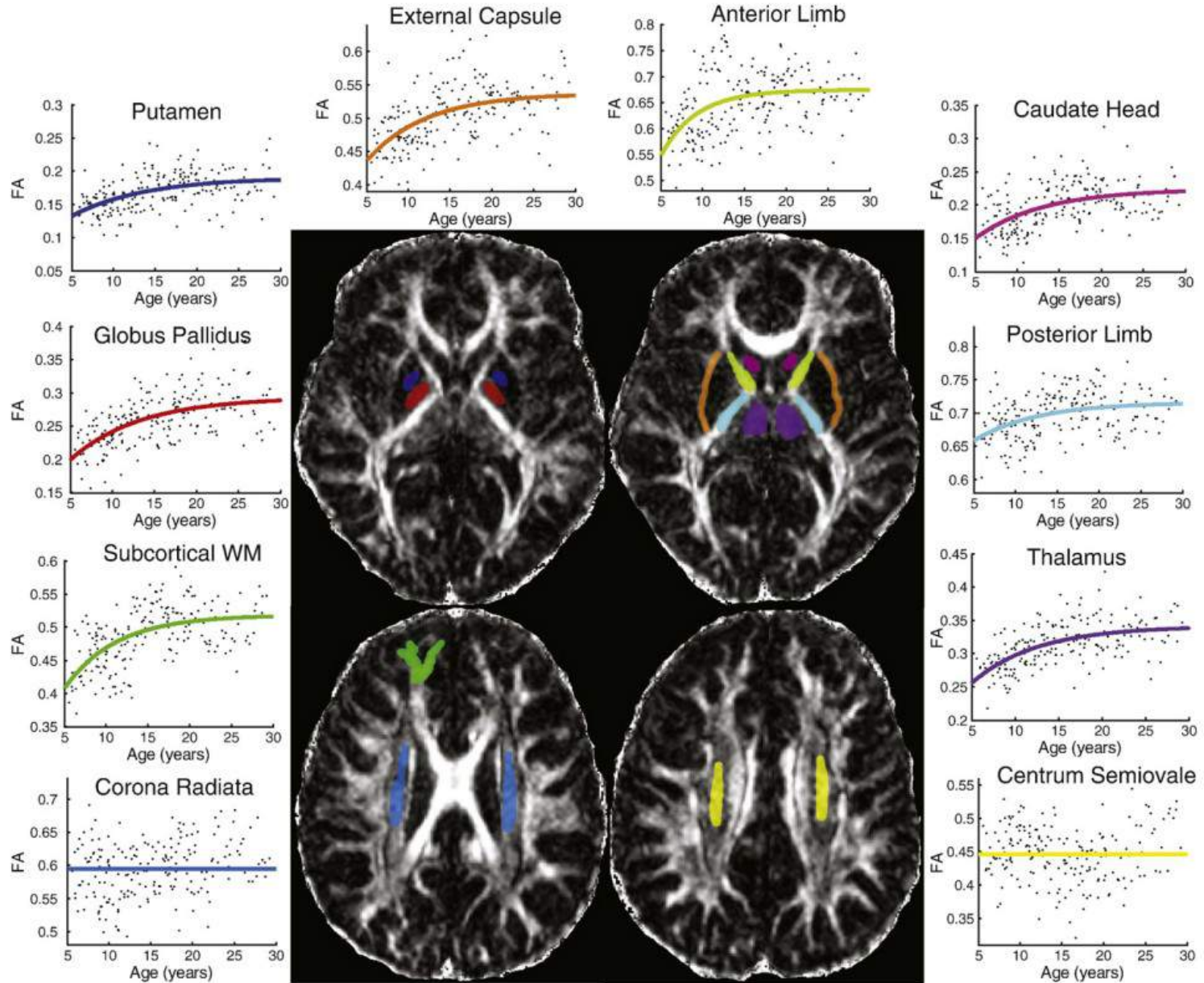


Созревание (миелинизация) корковых проводящих путей. Maturation of cortical pathways



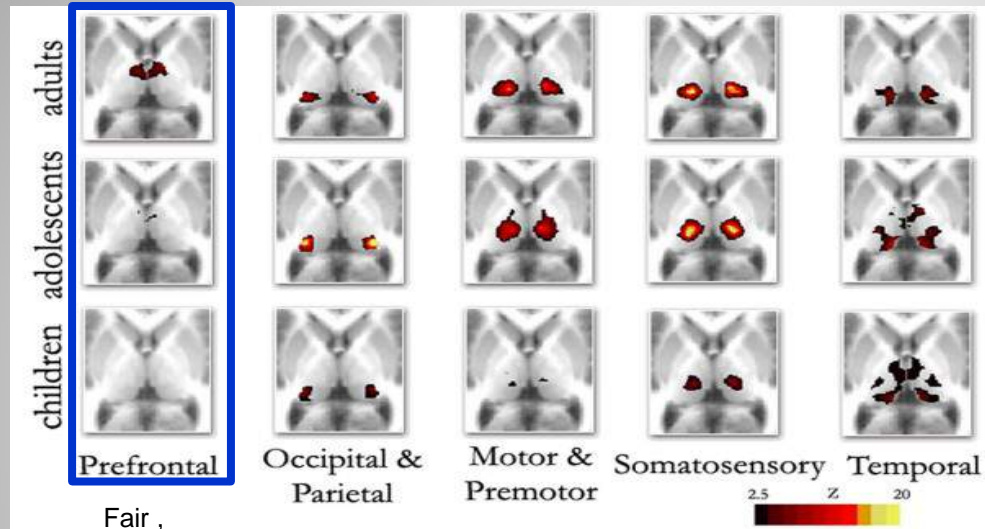
Age-related fractional anisotropy increases measured by diffusion tensor magnetic resonance imaging. (Lebel C. Microstructural maturation of the human brain ...//NeuroImage 40 (2008) 1044– 1055)

Миелинизация корково-подкорковых проводящих путей головного мозга в возрастном диапазоне от 5 до 30 лет

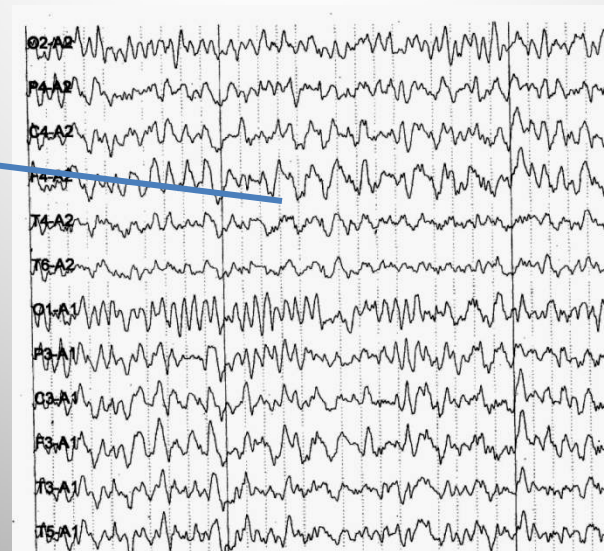
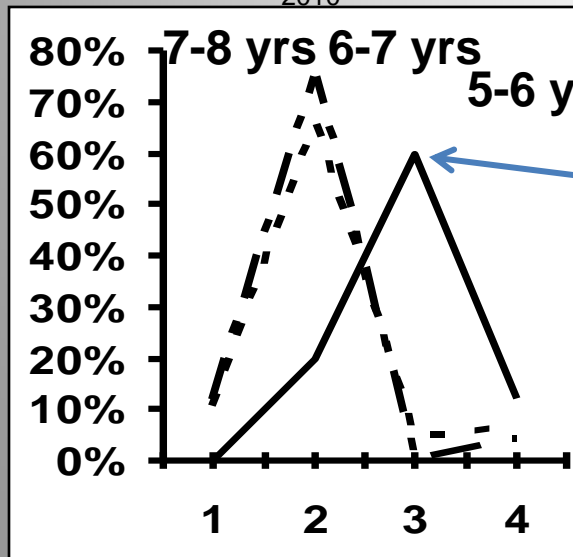


Длительное созревание связей между таламусом и префронтальной корой

Long-lasting maturation of thalamo-frontal connections



Strengthening functional connectivity (rs-fcMRI) of the PFC cortex with dorsal/anterior subdivisions of the thalamus, with greater connectivity observed in adults versus Children (Fair et al. Maturing thalamocortical functional connectivity ... *Front Syst Neurosci*, 2010, 4, 10)

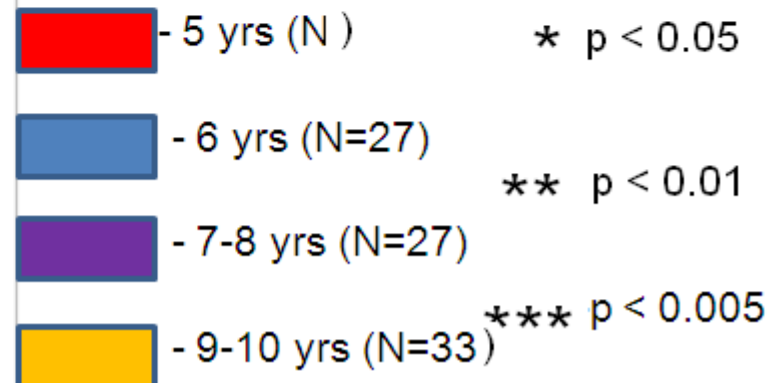
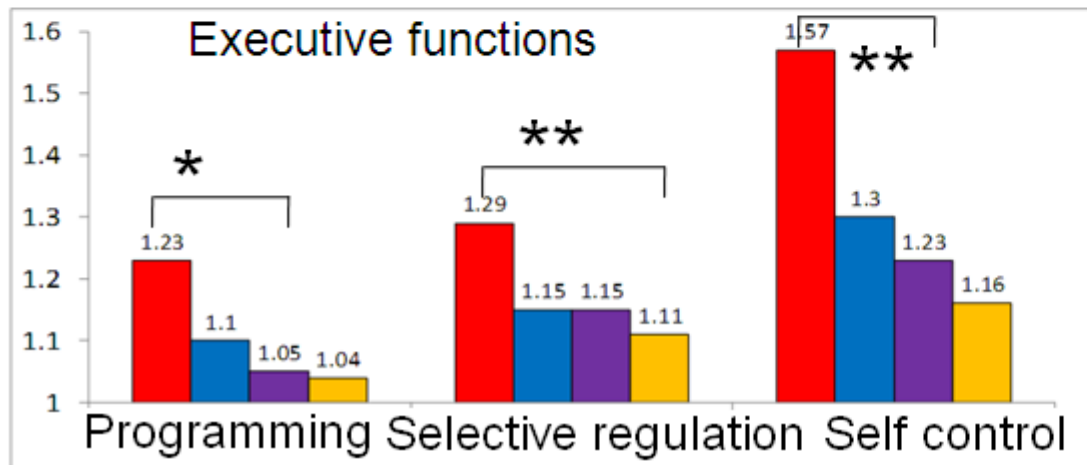
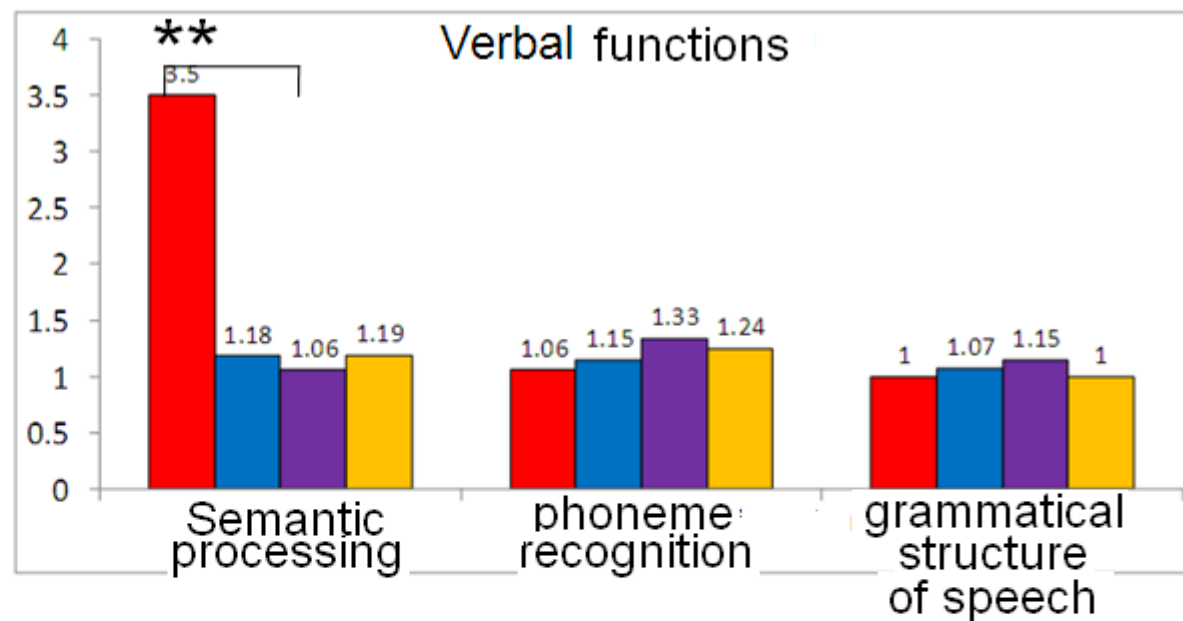
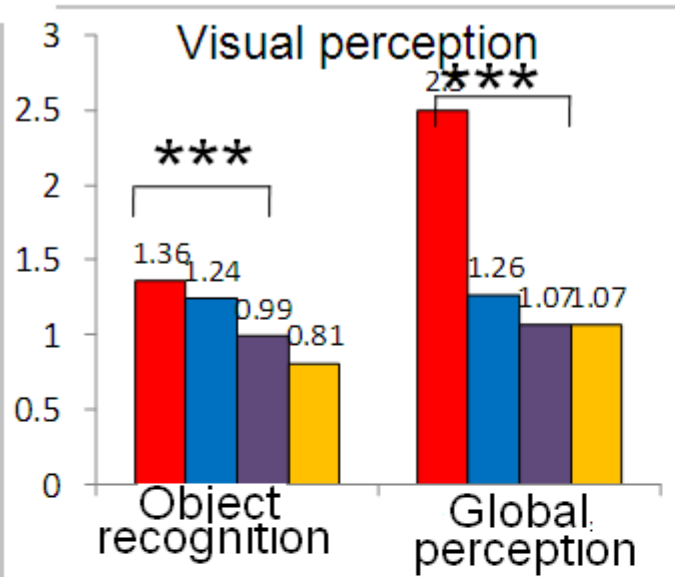


EEG signs of fronto-thalamic system immaturity (Мачинская, и соавт., 1997, 2006, 2012)

Основные преобразования когнитивной
деятельности при переходе от
предшкольного к младшему школьному
возрасту. Роль фронто-таламической
системы

Рост эффективности когнитивной деятельности у детей от 5 к 10 годам.
 Нейропсихологический анализ (Семенова, 2014, в печати)

Age-dependent improvement of children's cognitive performance at 5 to 10 years.
 Neuropsychological study

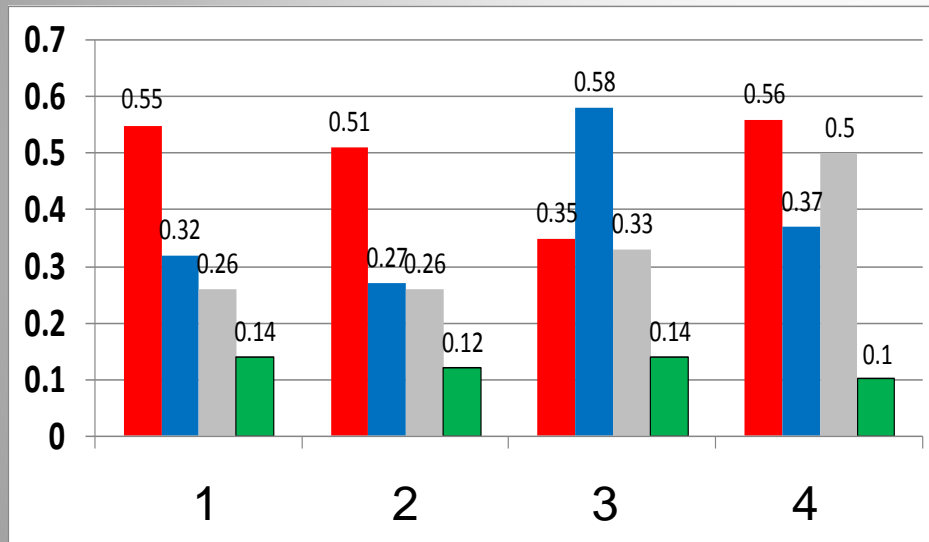


Влияние морфо-функционального созревания фронтоталамической системы на развитие различных компонентов когнитивной деятельности у детей младшего школьного возраста.

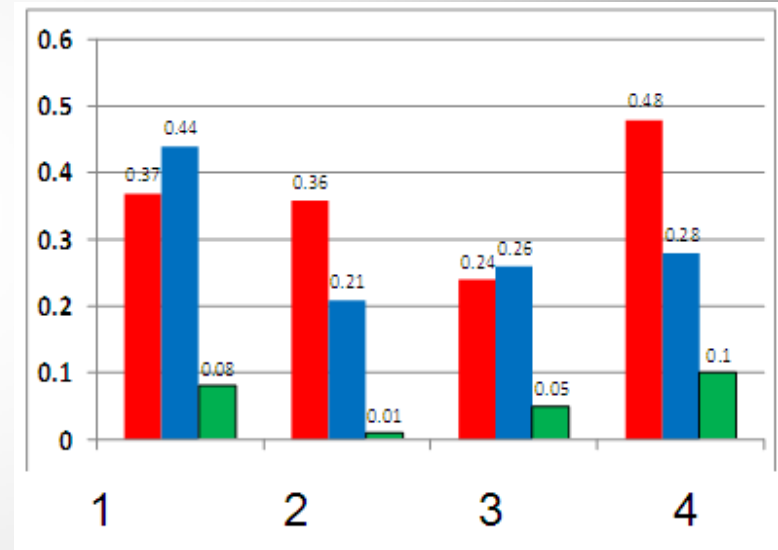
(Мачинская, Семенова, Сугрובה, 2013)

Role of FTS functional maturation in cognitive development of primary school children

7-8 yrs



9-10 yrs



Mean group indices of difficulties in

(1) – executive functions

(2) - verbal functions

(3) - nonverbal functions

(4) - alertness



Children with EEG sings of FTS immaturity



Other EEG changes



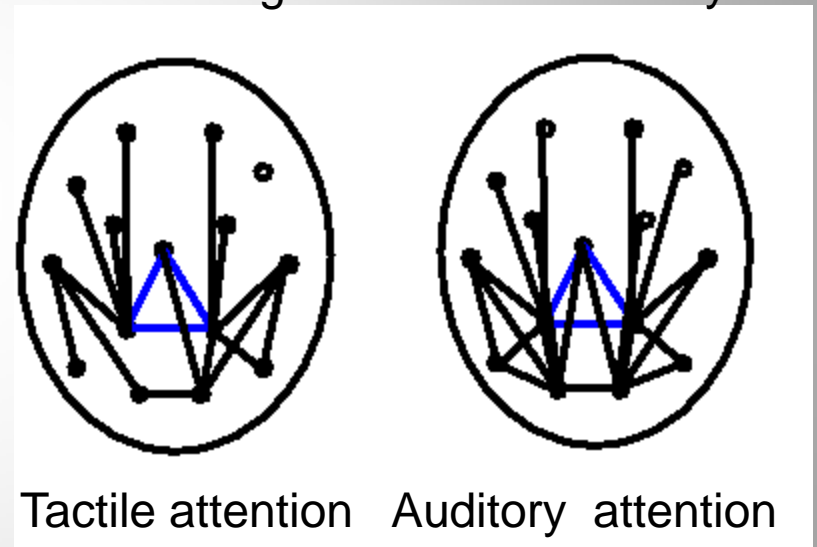
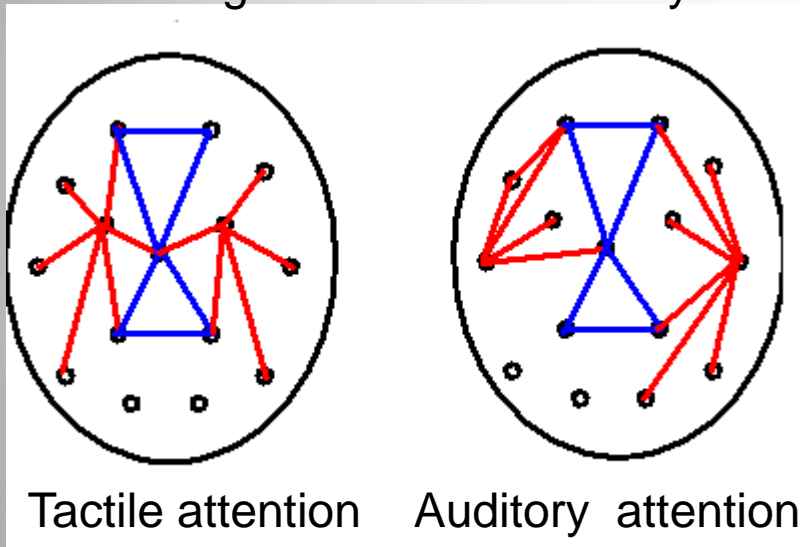
Control group of the same age

Влияние уровня зрелости ФТС на функциональную организацию коры головного мозга в предстимульный период направленного произвольного внимания у детей 7-8 лет (Мачинская 2002, 2006)

Cortical functional organization during prestimulus period of voluntary directed attention in 7-8-year-old children

Typically developing children without EEG signs of FTS immaturity

Children with attention deficit and EEG signs of FTS immaturity

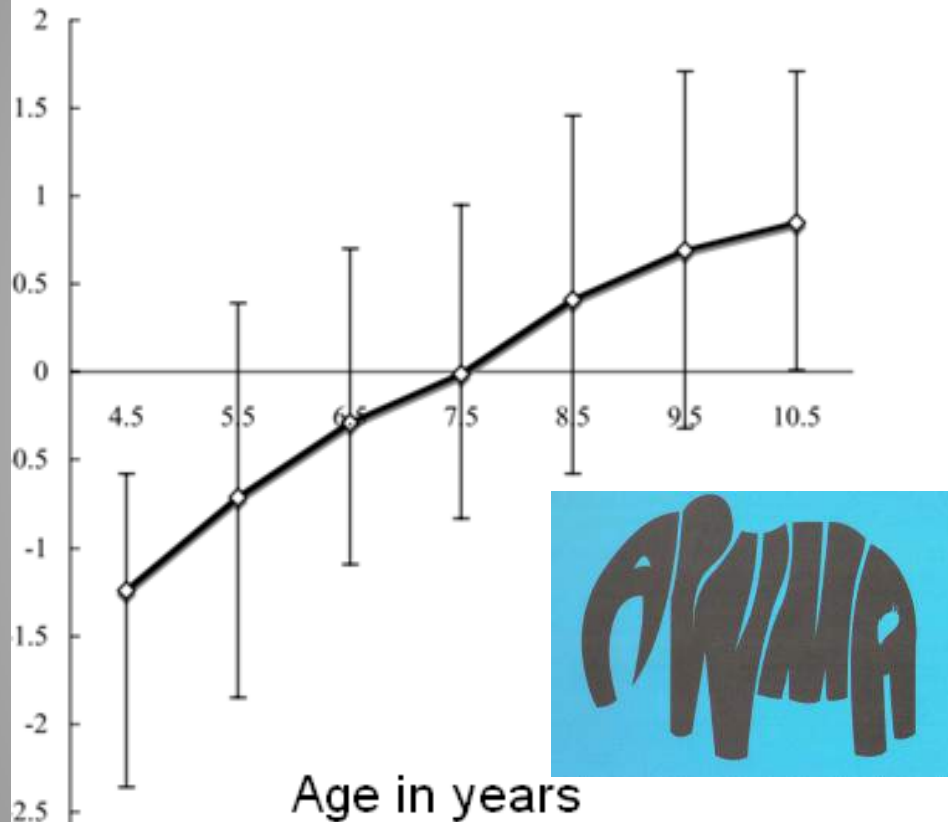


Modality specific strengthening of cortico-cortical functional connections estimated by alpha coherence (attention vs. bkg)

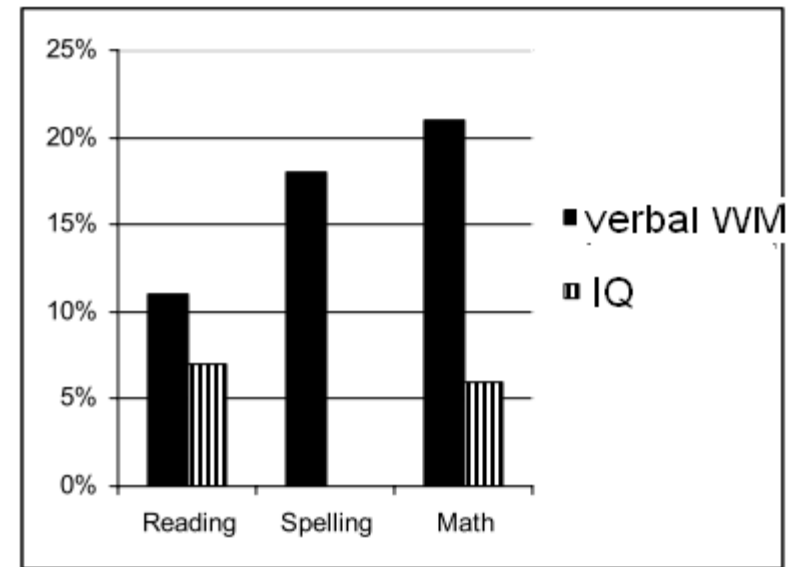
Absence of modality specific changes in cortico-cortical connections

Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (2010). Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *J Exp Child Psychol*, 106(1), 20-29.

Mean z-scores on a verbal working memory test from the Automated Working Memory Assessment as a function of age group



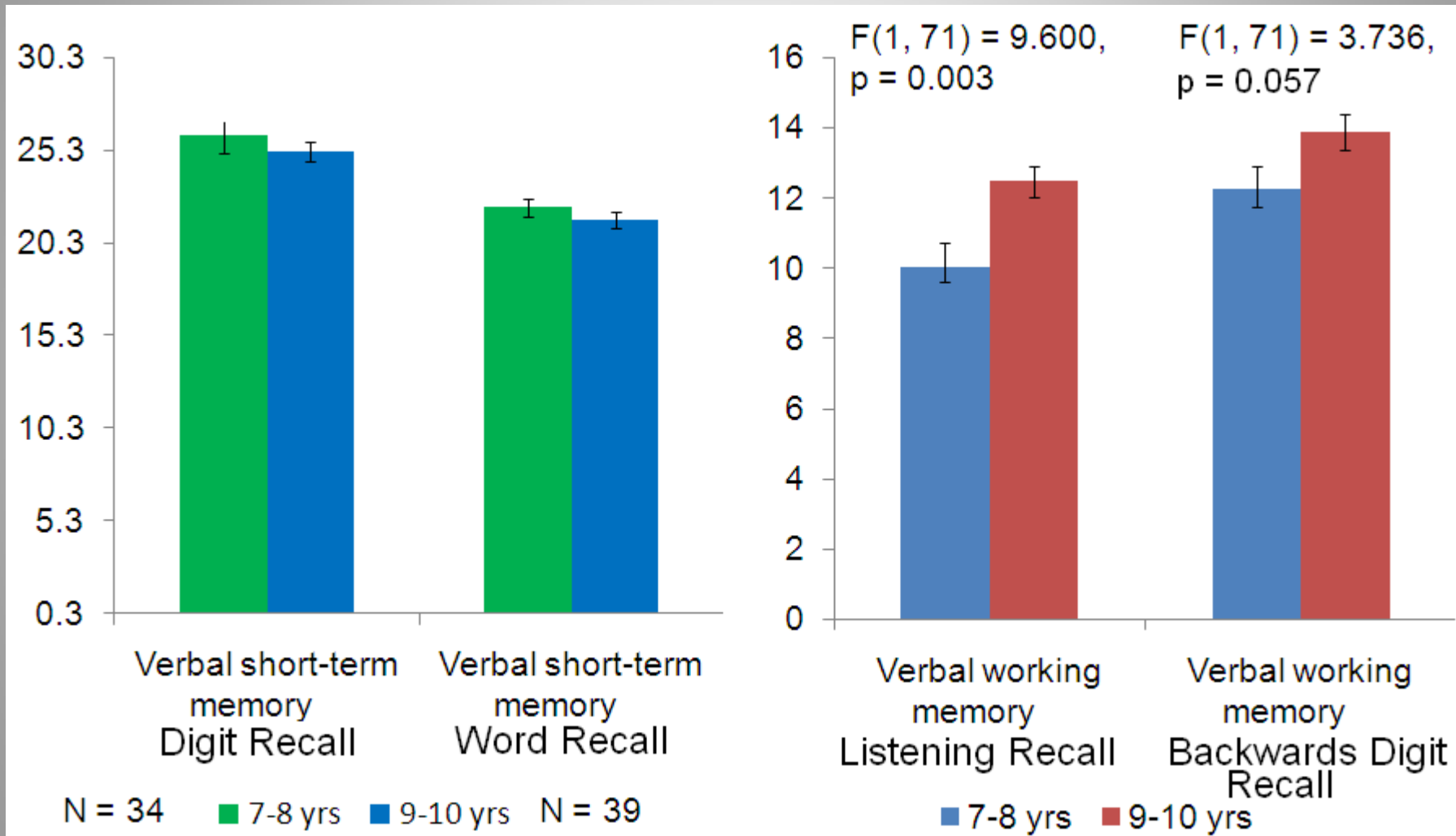
The percentage of unique variance of working memory and IQ in predicting learning outcomes



Children's working memory skills at 5 years of age was the best predictor of reading, spelling, and math outcomes six years later. IQ, in contrast, accounted for a smaller portion of unique variance to reading and math skills, and was not a significant predictor of spelling performance

Возрастные изменения эффективности выполнения вербальных тестов РП у детей младшего школьного возраста (По данным исследования К.А. Абсатовой)

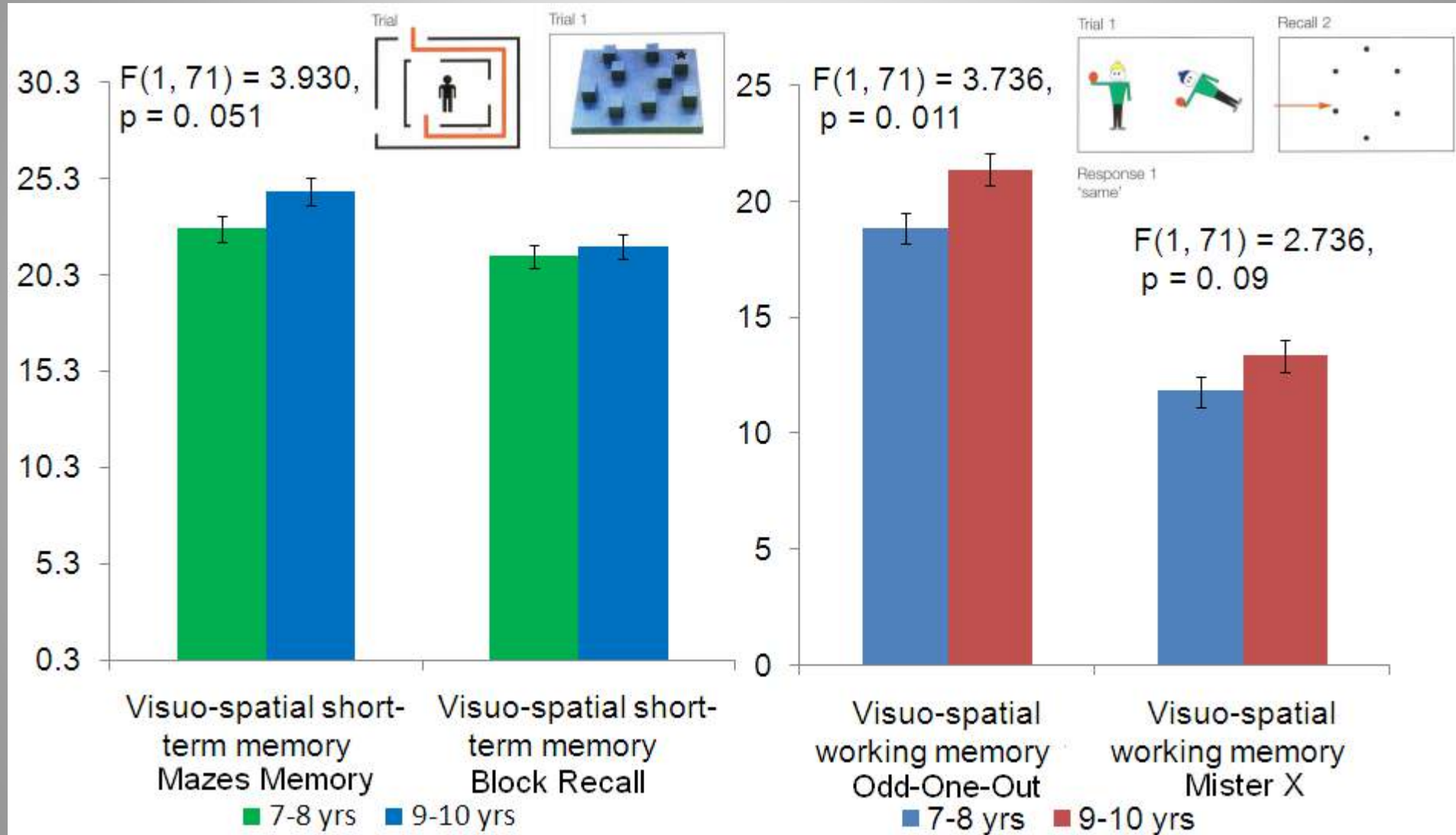
Age-dependent changes of verbal WM test performance in primary schoolchildren



При тестировании РП использована методика Automated Working Memory Assessment (AWMA) (Alloway, 2007a)

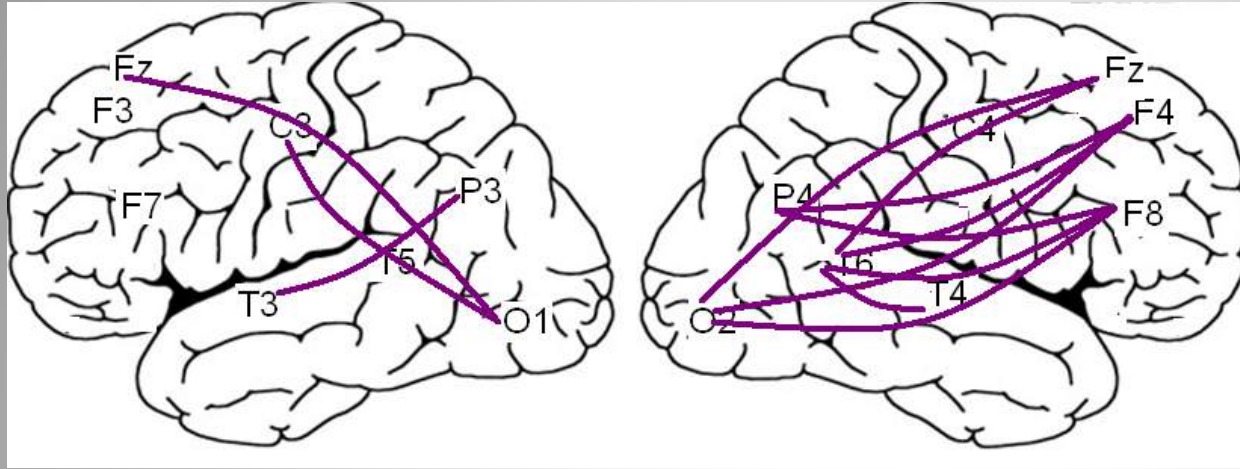
Возрастные изменения эффективности выполнения зрительно-пространственных тестов РП у детей младшего школьного возраста

Age-dependent changes of visuo-spatial WM test performance in young schoolchildren

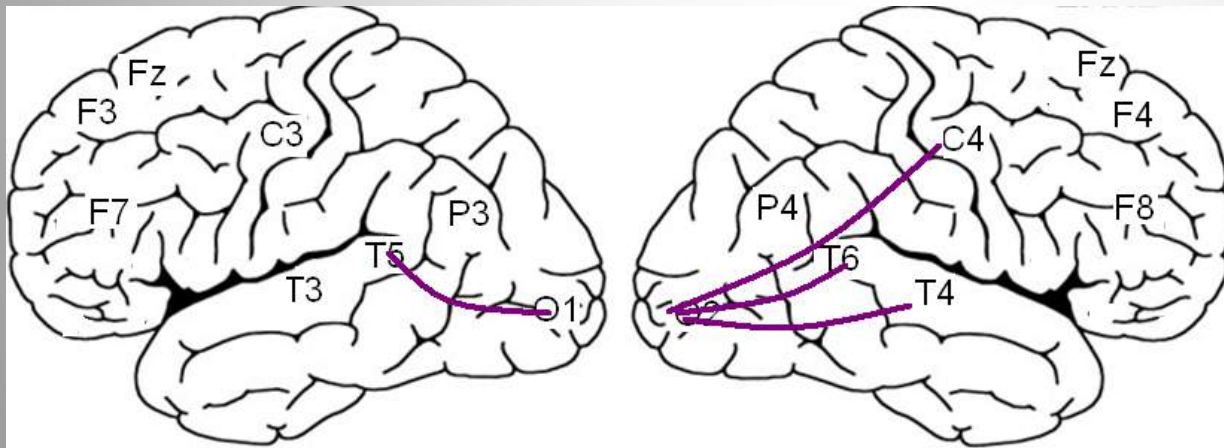


Функциональная организация коры головного мозга в период удержания информации в РП у взрослых и детей 7-8 лет

Cortical functional organization during working memory retention period in adults and 7-8-year-old children



Adults (N=14)



Children (N= 23)

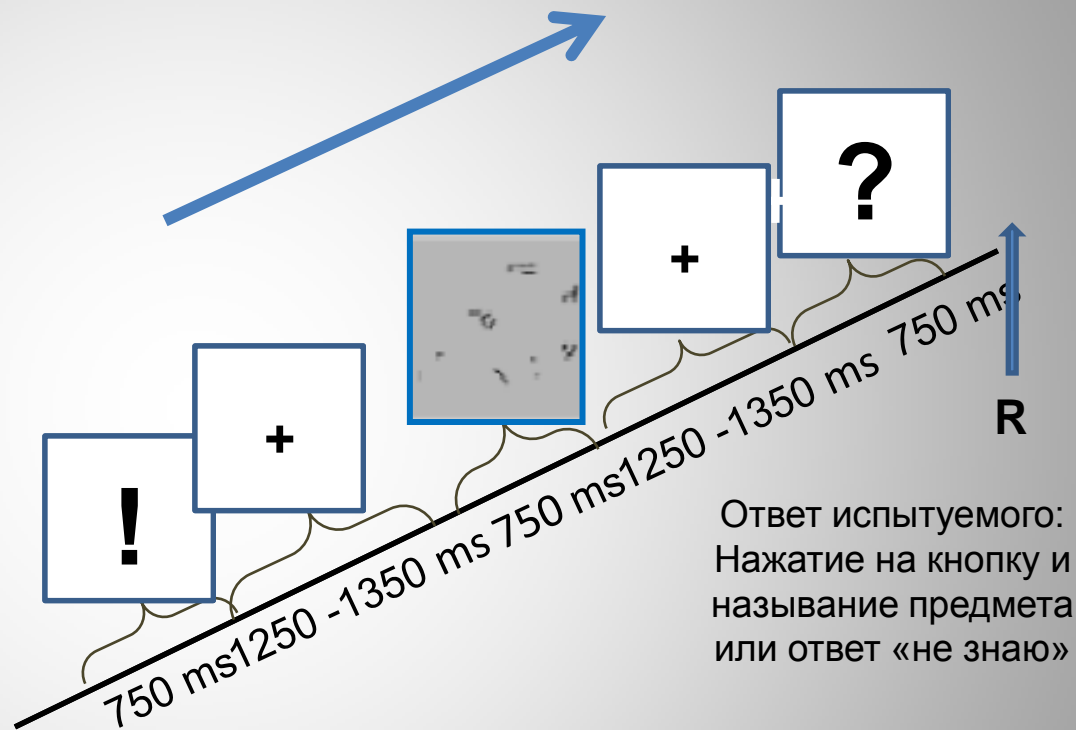
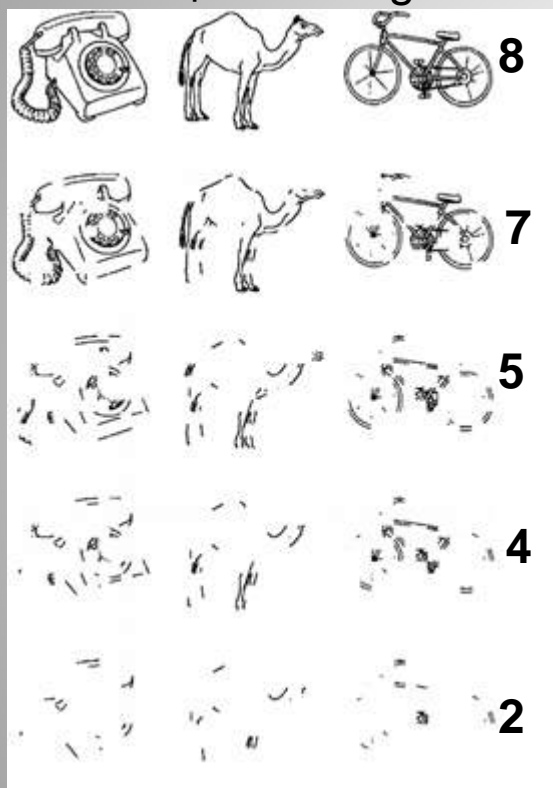
Strengthening of the cortico-cortical functional connections estimated by alpha coherence (retention vs. sustained attention)

Мачинская Р.И., Курганский А.В.
Сравнительное электрофизиологическое исследование регуляторных компонентов рабочей памяти у взрослых и детей 7-8 лет. Анализ когерентности ритмов ЭЭГ // Физиология человека, 2012, Т. 38, № 1, с. 5-19

ЭЭГ анализ участия префронтальной
коры в целостном зрительном
опознании у детей дошкольного и
младшего школьного возраста

Исследование особенностей целостного восприятия на модели опознания неполных фрагментарных изображений знакомых предметов (Snodgrass, J. G., Corwin, J., 1988)

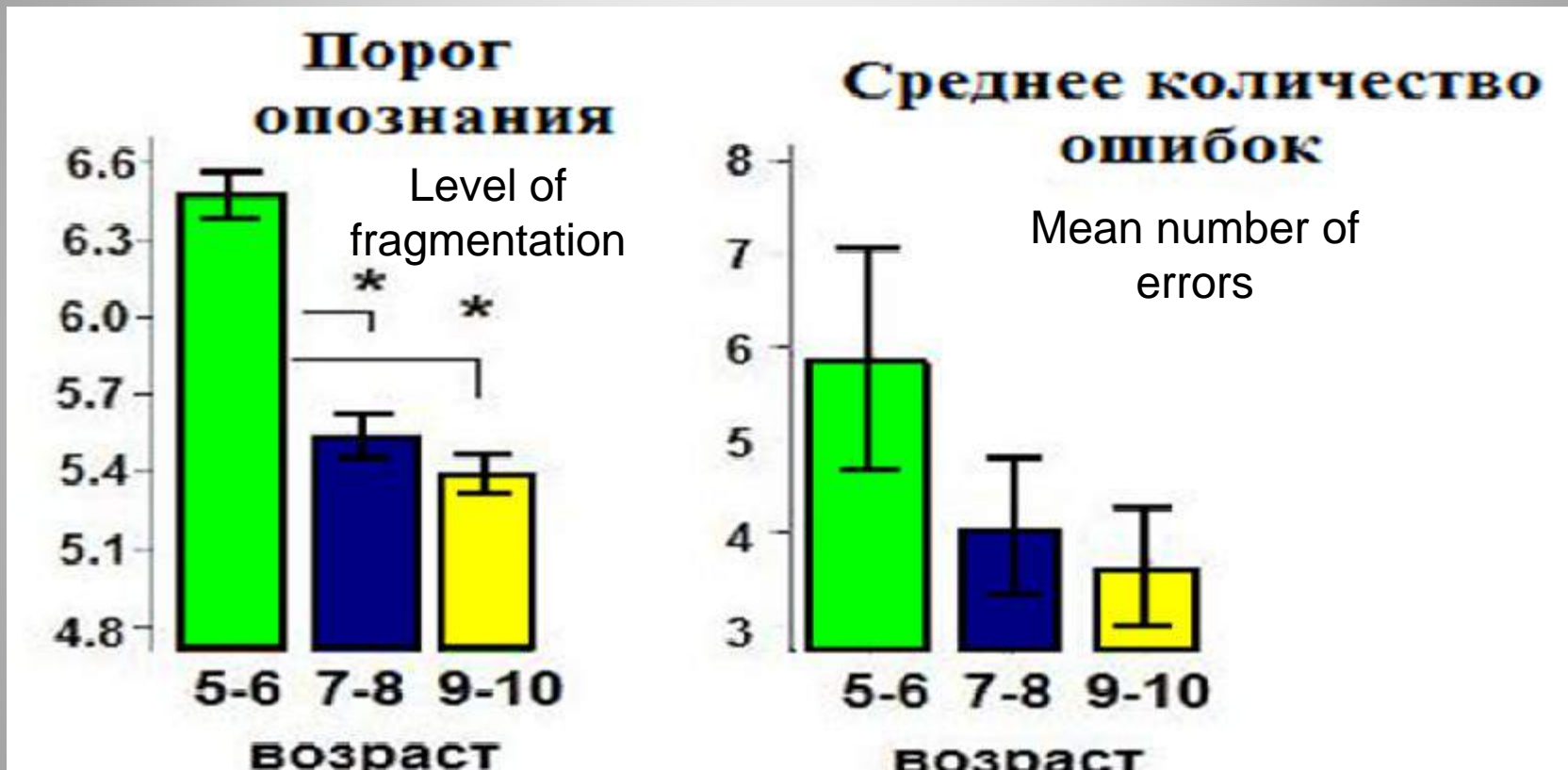
Уровни Level of
фрагментации fragmentation



Последовательное приближение к полному изображению в каждой следующей пробе с интервалом между пробами 3-5 с

Использовалось 16 рядов изображений различных объектов

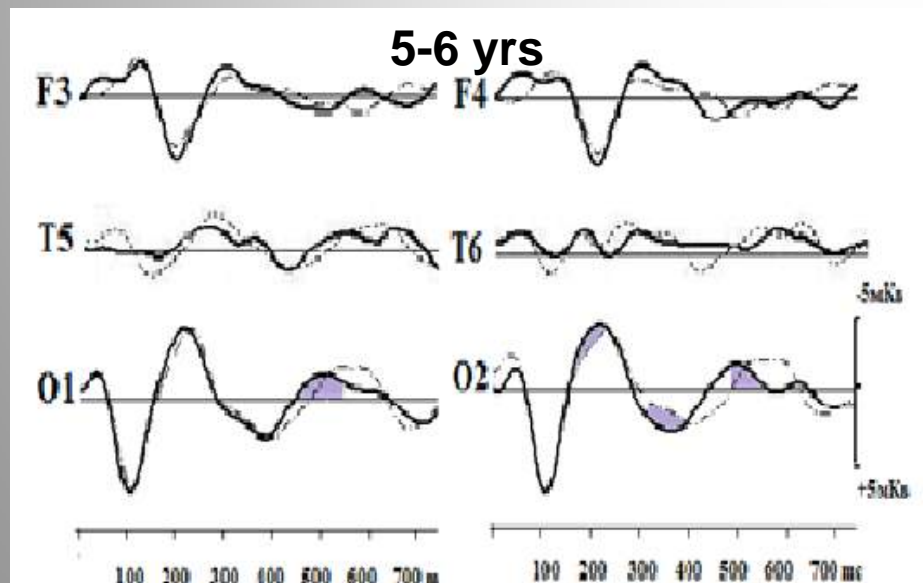
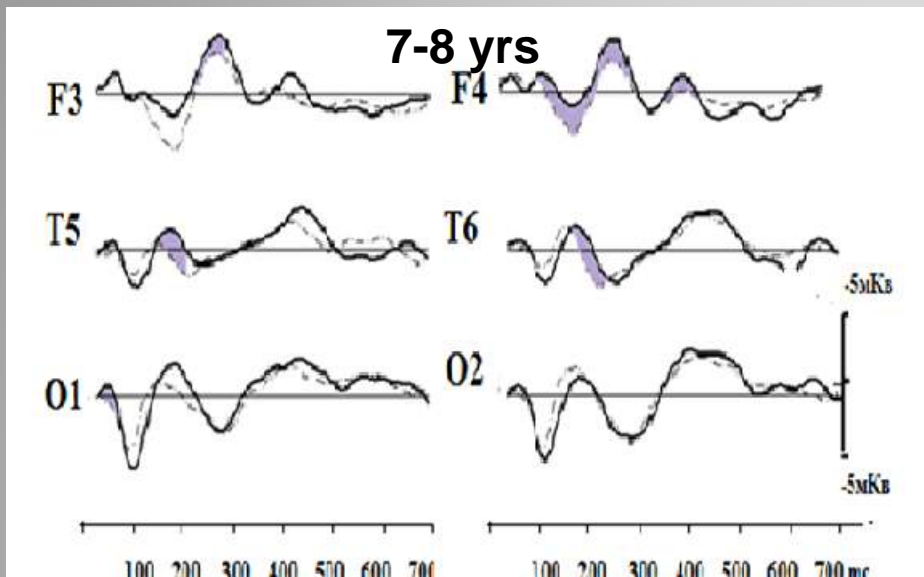
Возрастная динамика поведенческих показателей эффективности
опознания фрагментарных изображений
Age-dependent changes in recognition of incomplete fragmental images



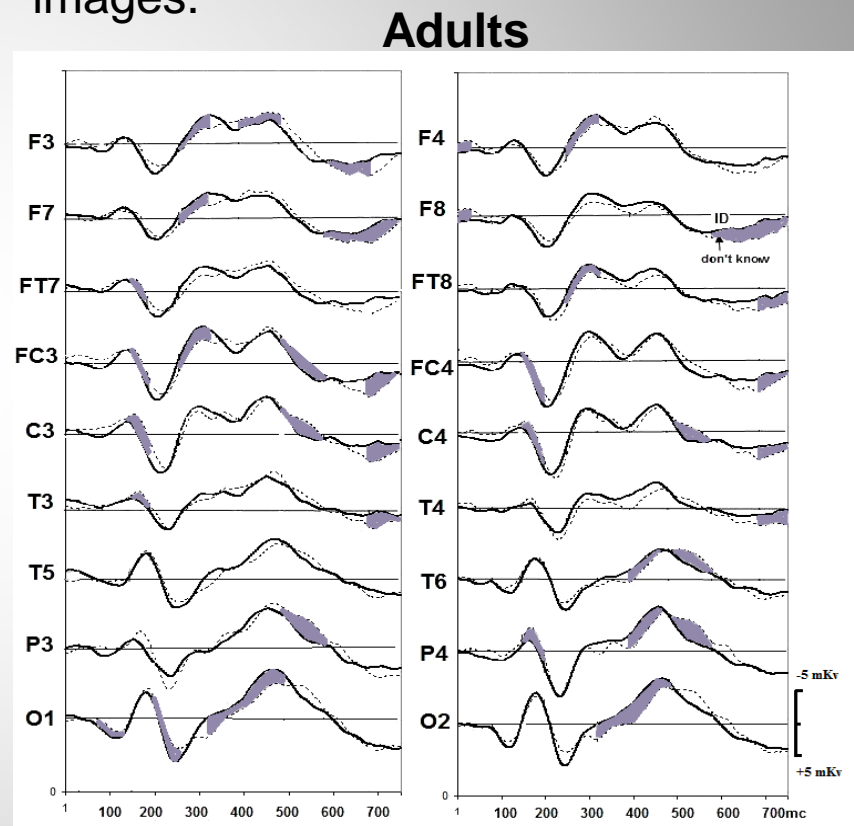
От 5-6 к 7-8 годам значительно снижается уровень фрагментации, на котором правильно опознается изображение (порог опознания), и уменьшается количество ошибок.

(Петренко, Фарбер, 2011, Фарбер, Петренко, 2012)

Изменения активности проекционных и ассоциативных зон мозга при опознании фрагментарных изображений знакомых предметов у детей 5-6 и 7-8 лет. Сопоставление ССП на опознанные и неопознанные изображения



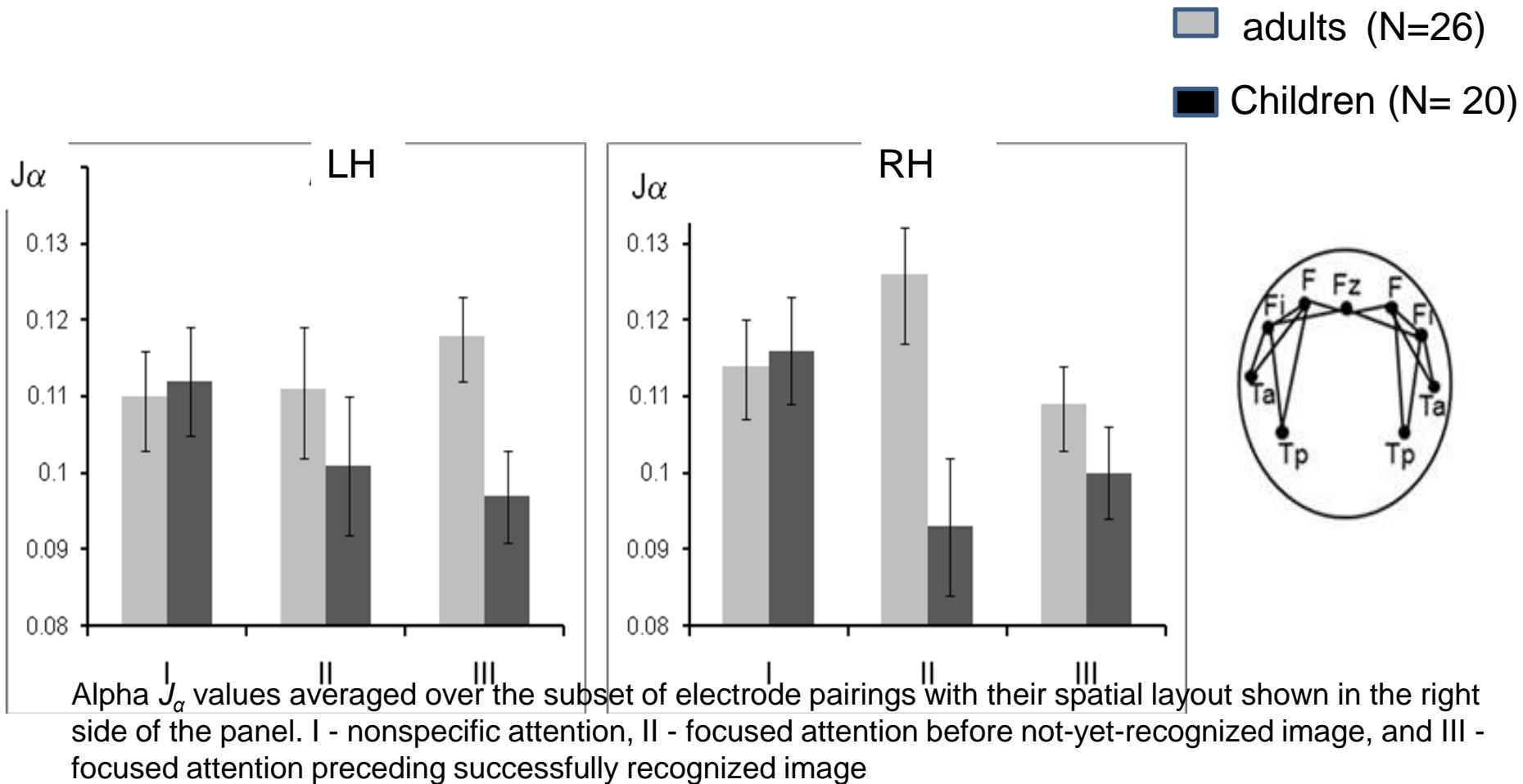
ERP during recognition of incomplete (dot lines) vs. whole (solid line) visual images.



(Фарбер, Петренко, 2012)

Функциональная организация коры головного мозга в период подготовки к опознанию неполных фрагментарных изображений (Фарбер и соавт., 2013, 2014 (в печати))

Cortex functional organization when preparing to recognize incomplete images in adults and 7-8-year-old children



У детей при переходе от 5-6 к 7-8 годам происходят существенные изменения в развитии произвольной организации деятельности (управляющих функций), целостного зрительного восприятия и номинативной функции речи

Важным фактором прогрессивного развития когнитивной деятельности при переходе от дошкольного к младшему школьному возрасту является морфофункциональное созревание фронтоталамической регуляторной системы, которая обеспечивает избирательную модуляцию корковых зон при подготовке к анализу значимой информации

Несмотря на существенный прогресс в развитии когнитивной деятельности к 7-8 годам, в этом возрасте как управляющие функции, в частности рабочая память, так и целостное зрительное восприятие еще остаются менее эффективными, чем у взрослых и детей более старшего возраста

Одной из причин относительной несформированности произвольных форм когнитивной деятельности у детей 7-8 лет является функциональная незрелость фронтотемпоральной системы, участвующей в обеспечении направленного внимания, удержании информации в РП и извлечении долговременных следов при опознании знакомых объектов

Спасибо моим коллегам и соавторам!



Дебора Ароновна
Фарбер



Андрей Курганский

Надя Петренко



Ксения
Абсатова



Оля Семенова