

# Оценка межканальной фазовой синхронизации сигналов ЭЭГ в хребтах их вейвлет-спектрограмм у пациентов с черепно-мозговой травмой до и после реабилитации

Р.А. Толмачева<sup>1</sup>,  
Ю.В. Обухов, Л.А. Жаворонкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт радиотехники и электроники им.  
В.А. Котельникова РАН

<sup>2</sup> Институт высшей нервной деятельности и  
нейрофизиологии РАН

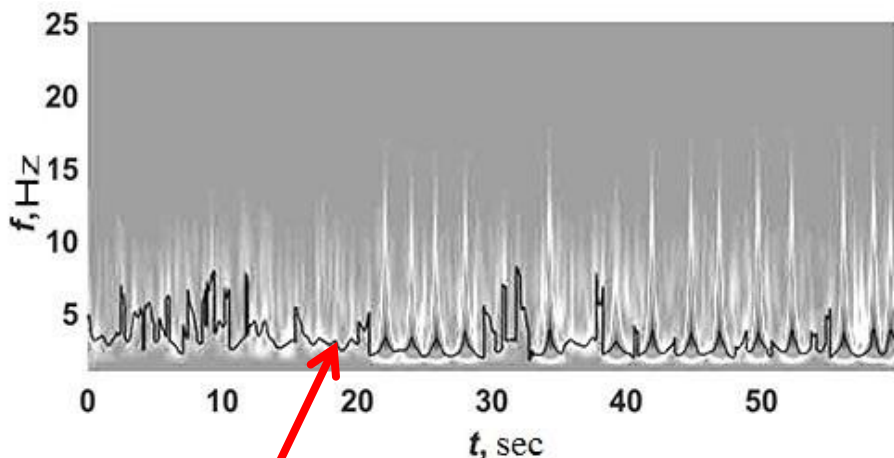
# Суть нашего подхода для определения фазово-связанных ЭЭГ каналов

$$S(t) = A_s(t) \exp[i\Phi_s(t)] \quad W(t, f) = \sqrt{f} \int S(\tau) \psi^*(f(\tau - t)) d\tau \quad \psi(\eta) = \frac{1}{\sqrt{\pi F_b}} e^{2i\pi F_c \eta} e^{-\frac{\eta^2}{F_b}}$$

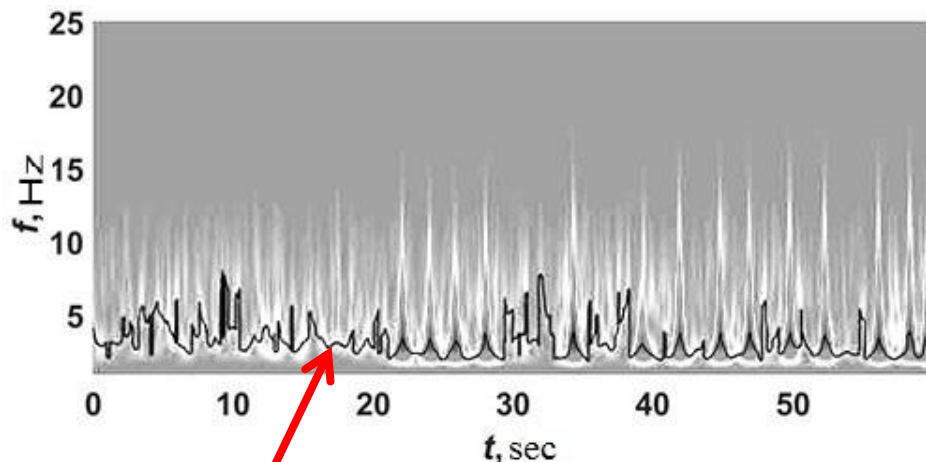
$$W(t, f) = |M(t, f)| \exp[i\Phi(t, f)]$$

$$\max_{1 \leq f \leq 25} W(t, f) = |W(t, f_r)| \approx A_s(t), \quad \Phi(t, f_r) = 2\pi f_r t \approx \Phi_s(t)$$

Межканальная фазовая связанность сигналов  $S_1$  и  $S_2$  оценивается как:  $|\Phi_{S_1} - \Phi_{S_2}| < \varepsilon$

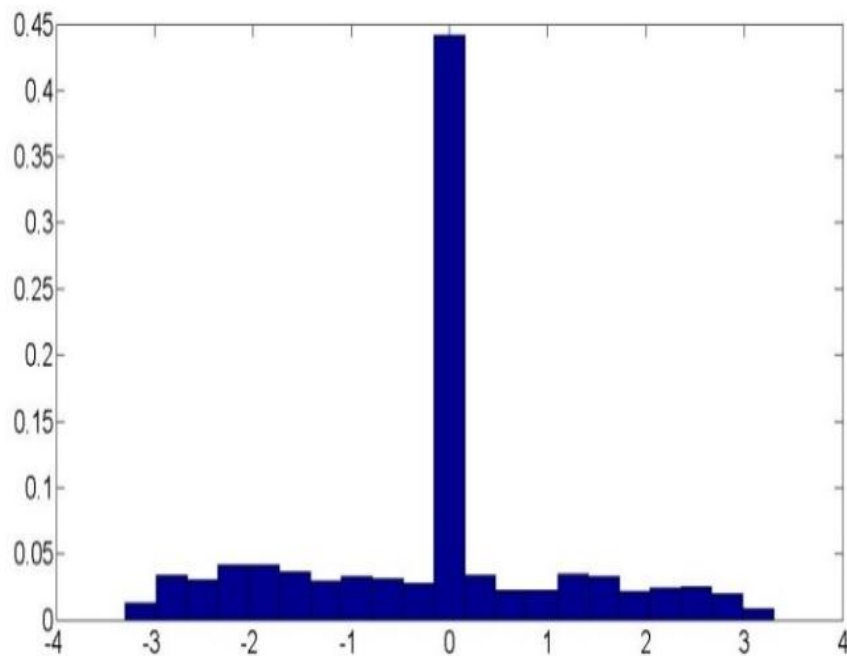


$$\Phi_{S_1} \approx \omega_{r_1} \cdot t$$

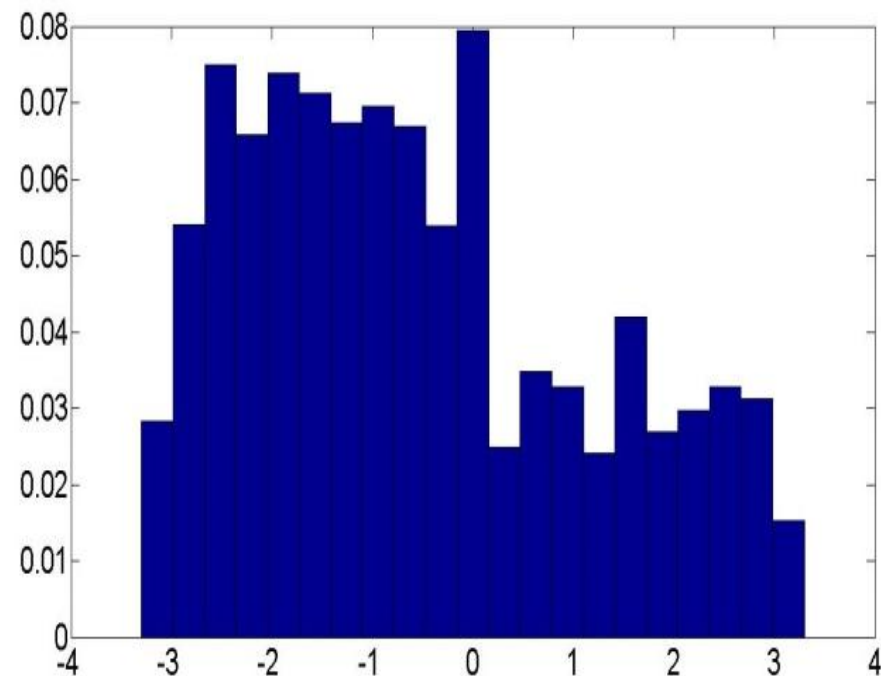


$$\Phi_{S_2} \approx \omega_{r_2} \cdot t$$

Гистограммы значений долей  $\rho_{i,j} = n_{i,j}/N$ , где  $n_{i,j}$  – число точек сигнала при  $|\Phi_{S_1} - \Phi_{S_2}| < 0.05\pi$ ,  $N$  – суммарное число точек отсчета ЭЭГ

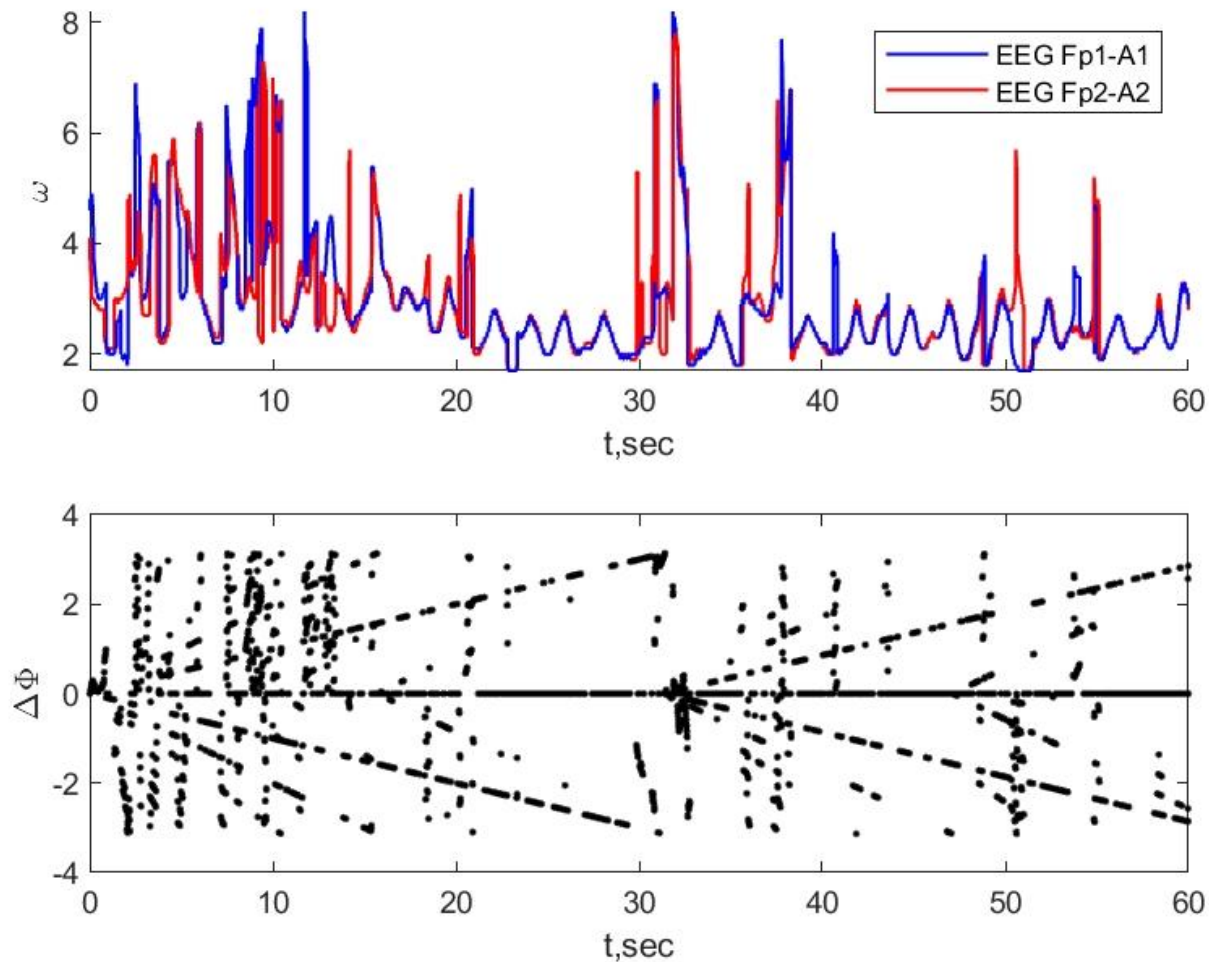


Фазово-связанная пара



Фазово-несвязанная пара

# Динамика синхронизации. Зависимость разности фаз двух отведений сигнала ЭЭГ от времени

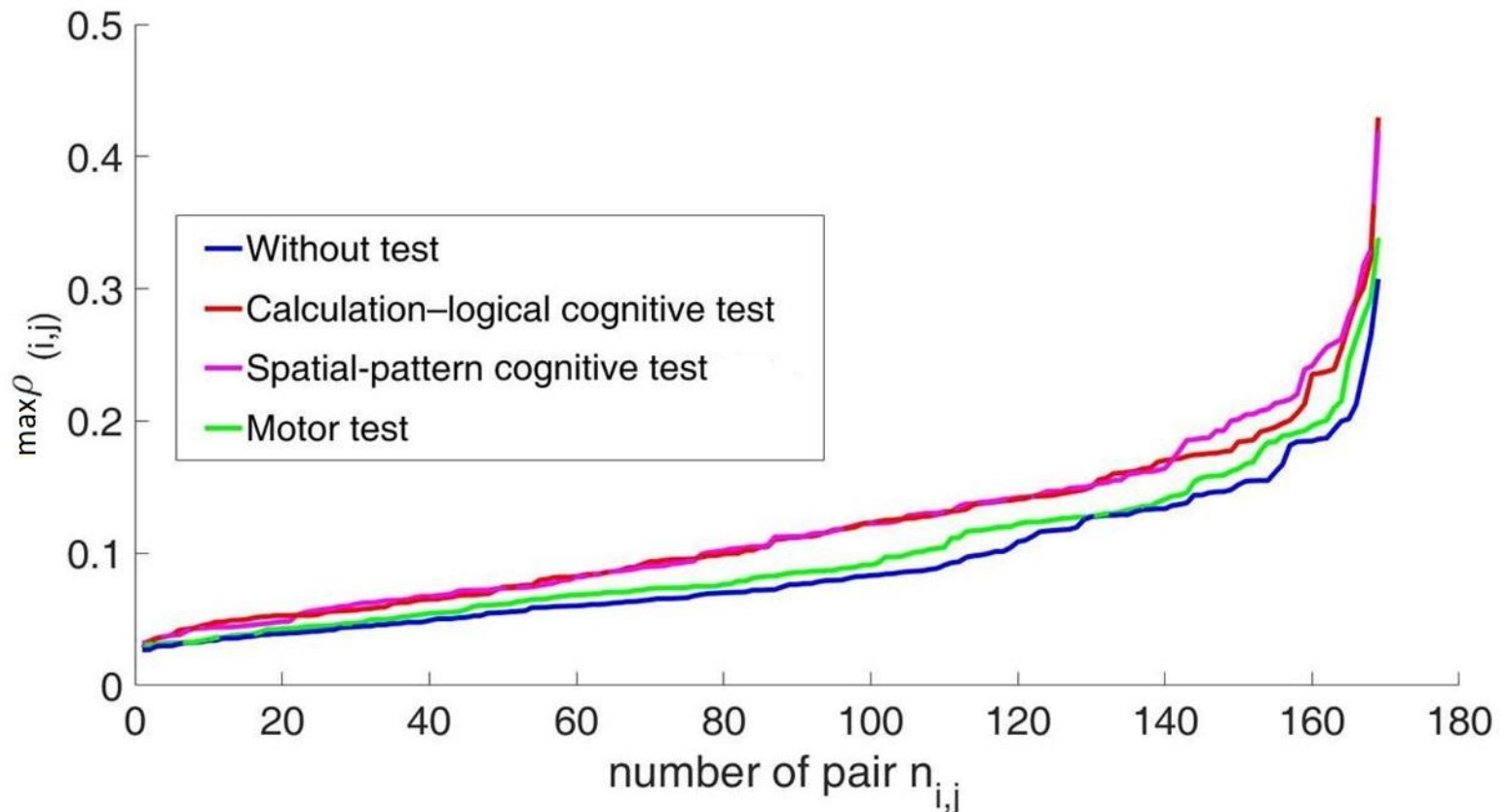


# Анализ межканальной фазовой связанности в течение моторного и когнитивных тестов

- При выполнении когнитивного счетно-логического теста испытуемому в случайном порядке перечислялись предметы, относящиеся к категории “одежда” или “еда”. В течение теста он подсчитывал в уме количество предметов, относящихся к одной из указанных категорий, и в конце теста объявлял полученный результат.
- При выполнении когнитивного пространственно-образного теста врач в случайном порядке называл время. Испытуемый должен был мысленно представить себе циферблат часов и расположение на нем стрелок в соответствии с названным временем. Если обе стрелки находятся в одной и той же половине циферблата, он говорил “да”, а если в разных половинах - молчал.
- При выполнении моторной задачи испытуемый, стоял на стабилографической платформе, с помощью которой на экране отображалось положение его центра тяжести, которое он должен был удерживать внутри круга некоторого диаметра.
- Все тесты выполнялись в течение 60 с.

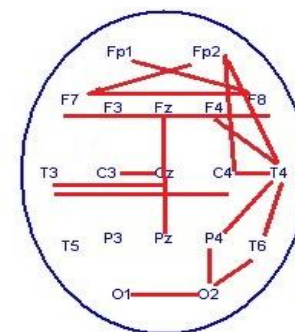
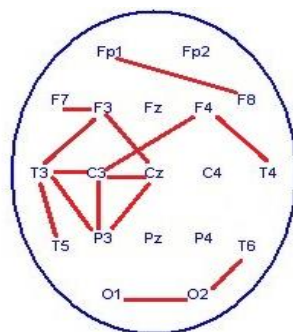
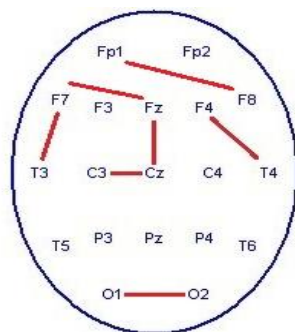
# Распределение $\max \rho_{i,j}$ , отсортированного в порядке возрастания

Пример для здорового испытуемого

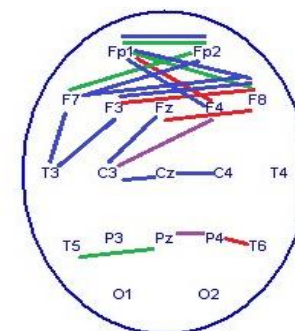
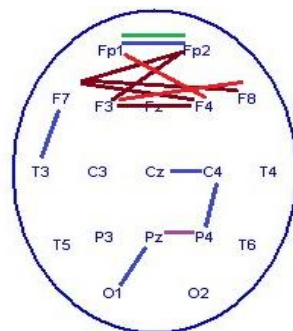
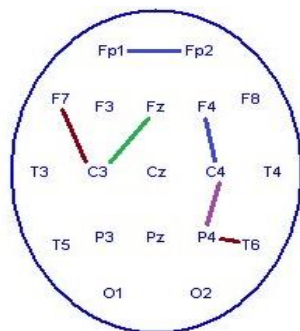


# Фазово-связанные пары ЭЭГ каналов, возникающие при проведении теста у 8-ми контрольных испытуемых и у 5-ти пациентов с ЧМТ

Группа контрольных испытуемых



Пациенты с ЧМТ

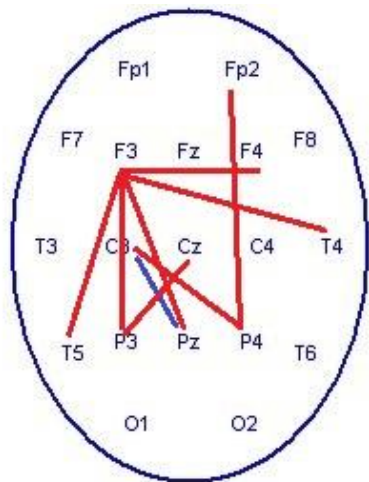


Моторный тест

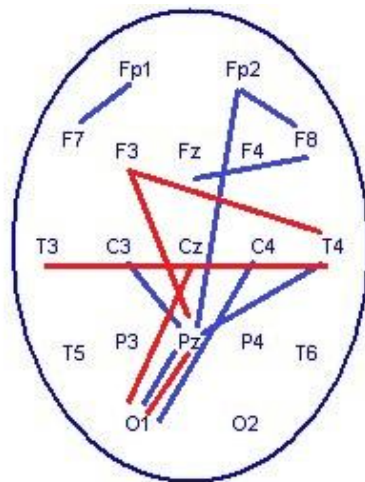
Когнитивный  
счётно-логический  
тест

Когнитивный  
пространственно-  
образный тест

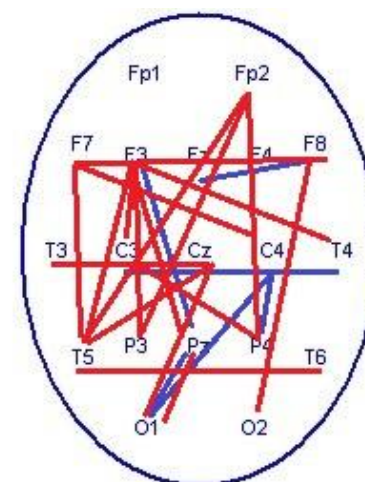
# Фазово-связанные пары каналов ЭЭГ, полученные по результатам ЭЭГ-записей пациента с ЧМТ до и после реабилитации



Моторный тест



Когнитивный  
счетно-логический  
тест



Когнитивный  
пространственно-  
образный тест

— - фазово-связанные пары до реабилитации.

— - фазово-связанные пары после двух месяцев реабилитации.



# Выводы

- Предложен новый подход к оценке межканальной фазовой связности ЭЭГ-сигналов, основанный на вычислении и сравнении фаз в точках хребтов их вейвлет-спектрограмм.
- У здоровых испытуемых определены фазово-связанные пары сигналов ЭЭГ в течение моторного и когнитивных тестов. Области левого полушария преимущественно активируются при счетно-логическом когнитивном тесте. Области правого полушария – при когнитивном пространственно-образном тесте.
- Представлены фазово-связанные пары ЭЭГ каналов, возникающие только при проведении теста у 8-ми здоровых испытуемых и у 5-ти пациентов с черепно-мозговой травмой.
- Определение фазово-связанных пар ЭЭГ каналов можно использовать для мониторинга лечения пациентов с черепно-мозговой травмой. Восстановление фазово-связанных пар ЭЭГ может быть использовано в качестве индикатора правильного лечения.

**Спасибо за внимание!**

## Basic approaches to EEG inter-channel phase connectivity

$S_{i,j}(f) = x_i(f)x_j^*(f) -$  complex Pearson cross - correlation  
of signals  $x_i(t), x_j(t)$

Coherence  $Coh_{ij} = \left\langle \frac{S_{ij}(f)}{(S_{ii}(f)S_{jj}(f))^{1/2}} \right\rangle$   $\langle \alpha \rangle$  - Averaging on non-overlapping  
time epochs Averaging over

$\langle Coh_{i,j}(f) \rangle$

Averaging on neurophysiological rithm: *delta* (1-4 Hz),  
*theta* (4-8 Hz), *alpha* (8-14 Hz), , *beta* (14-30 Hz), etc.