

Демонстрация возможностей свободно доступной программы анализа амплитуды и синхронности ЭЭГ на примере экспериментов по прохождению автогонщиками шоссейно-кольцевой трассы.

А.П. Кулаичев

(научное сообщение, среда 28.11.2018 в 17-00 на каф.ВНД, ауд.462)

1. Исходный толчок. Где-то в августе с.г. одна фирма, исследующая воздействие рекламы на обывателей, узнала о созданном нами эффективном методе удаления артефактов морганий на ЭЭГ и обратилась с просьбой сделать простую программу чистки их EDF-записей. Поле некоторых размышлений недели за две была создана усеченная версия универсального анализатора Conan, осуществляющая такую чистку группы файлов по нажатию одной клавиши «0». Вскоре возникла идея распространить этот принцип на методы оценки амплитуды и синхронности ЭЭГ. Наверное, никто не будет возражать относительно того, что эти два показателя являются основными, базовыми в исследованиях ЭЭГ.

2. ЭЭГ-аналитика. Исторически можно насчитать крайне немного аналитических методов, специально созданных для исследования ЭЭГ. Полагаю, что для этого вполне хватит пальцев на одной руке. Все остальные методы были привнесены или заимствованы из области анализа сигналов технического и физического происхождения, кардинально отличающихся по своей природе и характеристикам от ЭЭГ. Поэтому каждый новый специальный метод, доказавший свою эффективность, является весомым вкладом в ЭЭГ-аналитику. На нашей же кафедре созданы два специальных метода, основанных на использовании огибающей ЭЭГ.

3. Огибающая. Прежде всего, в отличие от множества других оценок огибающая имеет прямой физиологический смысл – она являет собой изменение амплитудной модуляции ЭЭГ, которая в свою очередь прямо пропорциональна степени синхронности изменения постсинаптических потенциалов под измерительным электродом. В Conan-е вычисление огибающей было реализовано еще в середине 90-х годов. И за прошедшие 25 лет в известных мне ЭЭГ-анализаторах вычисление огибающей отсутствует! Действительно, эти анализаторы преимущественно ориентированы на медицинскую диагностику. А зачем врачу огибающая? Ему надо сформулировать диагноз, назначить лечение и занести это в медкарту пациента. Огибающая для этого абсолютно не нужна.

4. Метод анализа корреляционной синхронности. Около 10 лет назад был создан новый метод анализа синхронности ЭЭГ на основе корреляции Пирсона от огибающих для избранных пар отведений. Эта оценка также имеет прямой физиологический смысл межэлектродной синхронности в изменении постсинаптической синхронности, как бы синхронность в квадрате. Этот метод показал наилучшую чувствительность к выявлению межгрупповых и межиндивидуальных различий в сравнении со все другими известными показателями.

Напомню, что на сайте *Neurobiology.ru* есть раздел *Научные ресурсы*, где в качестве одного из подразделов фигурирует *Метрология ЭЭГ*. Там приведены научные статьи, включая детальное изложение упомянутого метода, а также демонстрации его эффективности на трех физиологических и клинических задачах. Далее есть статья о сравнении различных оценок амплитуды ЭЭГ (о чем сразу ниже) и свободно доступная программа для автоматического анализа ЭЭГ.

5. Амплитудный анализ. В докомпьютерную эру амплитуда ЭЭГ оценивалась прямыми измерениями амплитуд и периодов соседних волн на бумажной записи с последующей статистикой – так называемый метод периодометрического анализа. С середины 60-х годов благодаря революционному распространению метода БПФ амплитуда ЭЭГ стала оцениваться косвенно по среднему значению амплитудного спектра и спектра мощности. И за прошедшие 50 лет никто не потрудился сравнить точность прямых и косвенных оценок!

В упомянутой статье такие сравнения были произведены по 5 различным направлениям. Оказалось, что погрешности косвенных оценок, то есть различия с прямыми оценками достигают 1.5, 3 и даже 5 кратных! Наихудшие же результаты относятся к оценкам по спектру мощности. Из трех рассмотренных прямых оценок, дающих статистически неразличимые результаты, предпочтение имеет огибающая, как гладкая и непрерывная функция от времени.

6. Программа. После запуска свободно доступной программы Conan-EEG можно прочитать краткую инструкцию, а при желании еще и 3 страницы описания дополнительных возможностей с

методикой статистического анализа полученных результатов. В рабочую папку заносим две группы сравниваемых записей. Если далее в программе нажать клавишу «2», то начнется автоматический анализ синхронности ЭЭГ этих записей, и через 25 секунд будет получена таблица окончательных результатов. Если же нажать клавишу «4», то так же быстро будет произведен амплитудный анализ. При нажатии клавиши «0» записи будут очищены от артефактов морганий.

Далее считываем эту таблицу в универсальный статистический пакет Stadia (с 1987 года являющийся стандартом де-факто для России) и через 1-2 минуты вычисляем все значимые парные различия, переходя затем к более детальному и многостороннему анализу. Вот все как просто и быстро.

7. Иллюстрация эффективности методов и программы. Как известно, усилиями руководителей и сотрудников учебной группы кафедры ВНД была создана экспериментальная установка с реальным макетом кабины гоночного болида и программным имитатором гоночной трассы и динамики движения. Было протестировано 3 группы испытуемых: профессиональные гонщики, компьютерные игрока (симрейсеры) и обычные водители с подразделением каждой группы на быстрых, средних и медленных. Регистрировалась 19-канальная ЭЭГ с дополнительными показателями в течение 5-6-минутных гонок, включающих около 20 виражей.

Предварительно можно надеяться на различие функциональных состояний на виражах и прямых: сосредоточение на вираже с торможением и удержанием траектории и релаксация на прямой. Также следует предполагать сильное влияние факторов профессиональной квалификации, мотивации, сосредоточения, честолюбия и т.п. Важно, что эти два функциональных состояния можно вычлнить из записи, благодаря регистрации работы передачами, тормозом и газом. Во многих исследованиях таких маркеров нет, поэтому неизвестно, где и какие функциональные состояния, отсюда и результаты анализа часто получают достаточно расплывчатыми. Для нескольких испытуемых было нарезано по 10 5-секундных фрагментов на виражах и прямых.

Для нижеследующей иллюстрации выбраны два быстрых представителя из группы гонщиков и водителей. Очевидно, что гонщик рефлекторно мотивирован на максимум готовности и наилучший результат в любой обстановке. Обычный же водитель преимущественно ездит по городу, глядя в бампер впереди идущего авто и соблюдая скоростной режим, изредка выезжает за город, но и там привык к спокойному, комфортному вождению без экстремизма.

8. Статистические различия. В таблицах 1-4 приведены уровни значимости нулевых гипотез о различиях на виражах и прямых по анализируемым переменным и частотным диапазонам для гонщика и водителя (приведены данные только по достоверно выявленным различиям).

Таблица 1. Статистические различия в синхронности ЭЭГ на виражах и прямых для гонщика.

диапазоны	teta	alpha	beta1	beta2
Fp1-Fp2			0.0043	<10 ⁻⁴
Fp1-F7				<10 ⁻⁴
Fp1-F3			0.017	<10 ⁻⁴
Fp1-F4			0.0078	<10 ⁻⁴
Fp2-F3				<10 ⁻⁴
Fp2-F4			0.012	0.0001
Fp2-F8			0.015	<10 ⁻⁴
F7-F3	0.016			<10 ⁻⁴
F3-F4			0.020	<10 ⁻⁴
F4-F8			0.0089	<10 ⁻⁴
F7-T3	0.048			0.004
F7-C3				<10 ⁻⁴
F3-T3	0.015			0.0054
F3-C3				0.0001
F3-C4				<10 ⁻⁴
F4-C3				<10 ⁻⁴
F4-C4			0.012	0.0002
F4-T4			0.003	<10 ⁻⁴
F8-C4			0.02	0.0001
F8-T4			0.001	<10 ⁻⁴
T3-C3	0.011			0.005
C3-C4				<10 ⁻⁴
C4-T4				0.0003
T3-T5				0.004

Таблица 2. Статистические различия в синхронности ЭЭГ на виражах и прямых для водителя

диапазоны	teta	alpha	beta1	beta2
Fp1-Fp2	0.0087	0.022		
Fp1-F7				
Fp1-F3	0.049	0.031		
Fp1-F4				
Fp2-F3				
Fp2-F4				
Fp2-F8	0.0087	0.019	0.045	
F7-F3				
F3-F4				
F4-F8	0.047	0.042	0.018	
F7-T3				
F7-C3				
F3-T3				
F3-C3				
F3-C4				
F4-C3				
F4-C4				
F4-T4				
F8-C4				
F8-T4				
T3-C3	0.033			
C3-C4				
C4-T4				
T3-T5				

T3-P3			0.018	0.004
C3-T5				0.0002
C3-P3				<10 ⁻⁴
C3-P4			0.013	<10 ⁻⁴
C4-P3				0.0002
C4-P4			0.042	0.0017
C4-T6				
T4-P4			0.0077	0.0001
T4-T6				
T5-P3				0.0003
P3-P4			0.02	<10 ⁻⁴
P4-T6	0.0035			
T5-O1			0.0094	0.00037
P3-O1			0.017	0.0025
P3-O2			0.0048	<10 ⁻⁴
P4-O1				0.00027
P4-O2				<10 ⁻⁴
T6-O2			0.047	
O1-O2				0.0092
T3-T5				0.0039
T4-T6				
%различий	11	0	44	87

Таблица 3. Статистические различия в амплитуде ЭЭГ на выражах и прямых для гонщика

Диапазоны	teta	alpha	beta1	beta2
Fp1			0.0018	0.0028
Fp2			0.0088	0.011
F7			0.006	0.011
F3			0.015	0.0032
Fz	0.012		0.0096	0.0053
F4			0.016	0.004
F8			0.0019	0.0027
T3				
C3				0.012
Cz	0.036		0.027	0.048
C4				0.037
T4			0.024	0.004
T5			0.017	0.0038
P3			0.034	0.012
P4			0.024	0.0042
T6			0.010	0.012
Pz			0.034	0.0053
O1	0.013		0.016	0.0014
O2	0.00068		0.011	0.0014
%различий	21	0	84	95

Как следует из табл 1, различия в синхронности ЭЭГ для гонщика в альфа-диапазоне полностью отсутствуют, а в тета-диапазоне они малочисленны (11%). Но в бета1 и бета2 диапазонах, отвечающих за напряженную мыслительную деятельность, наблюдается возрастающее большое число различий (44 и 87%).

Совершенно противоположная картина (табл.2) имеет место для водителя. Некоторые различия (29%) наблюдаются в тета-диапазоне. При небольших различиях в альфа и бета1-диапазонах (13 и 11%) они полностью отсутствуют в бета2-диапазоне. Тем самым следы напряженной мыслительной деятельности здесь минимальны или не наблюдаются вовсе.

Аналогичную картину дают и данные по амплитудным соотношениям ЭЭГ (табл. 3, 4). Это демонстрирует, что используемые нами корректные оценки двух основных показателей ЭЭГ являются практически равнозначными в выявлении статистических различий и в распознавании физиологических состояний.

Следует также подчеркнуть, что вычисление приведенных различий в пакете Stadia при наличии таблиц полученных результатов анализа ЭЭГ требует всего 10-15 минут работы исследователя.

T3-P3				
C3-T5				
C3-P3				
C3-P4			0.0499	
C4-P3	0.00656			
C4-P4				
C4-T6				
T4-P4				
T4-T6				
T5-P3		0.028	0.023	
P3-P4	0.036			
P4-T6		0.019		
T5-O1				
P3-O1	0.0052			
P3-O2	0.0026			
P4-O1	0.009			
P4-O2	0.0037			
T6-O2	0.0093		0.0389	
O1-O2	0.0078			
T3-T5				
T4-T6				
%различий	29	13	11	0

Таблица 4. Статистические различия в амплитуде ЭЭГ на выражах и прямых для водителя

диапазоны	teta	alpha	beta1	beta2
Fp1				
Fp2				
F7				
F3				
Fz				
F4				0.019
F8	0.03			
T3				
C3				
Cz				0.021
C4				
T4				
T5	0.00086			
P3	0.011			
P4	0.026			
T6	0.039			0.016
Pz	0.014			
O1	0.0066			
O2	0.019			
%различий	42	0	0	17

9. Топографическое картирование. Сравним топографию распределения синхронностей и амплитуд ЭЭГ на скальпе для гонщика и водителя в трех наиболее характерных частотных диапазонах. Используем для этого последние 10-ые фрагменты, вырезанные из общей записи, где можно надеяться уже на определенное привыкание испытуемых к двум разным функциональным состояниям и их стабилизацию.

У профессионального гонщика (рис. 1) мы наблюдаем на вираже сильную синхронизацию ЭЭГ по всему скальпу в бета1-диапазоне и предельную синхронизацию в бета2-диапазоне, что свидетельствует о высокой концентрации внимания и деятельности. На прямой синхронность резко падает в обоих диапазонах вплоть до нуля, особенно в лобно-центральной области, что говорит о состоянии релаксации.

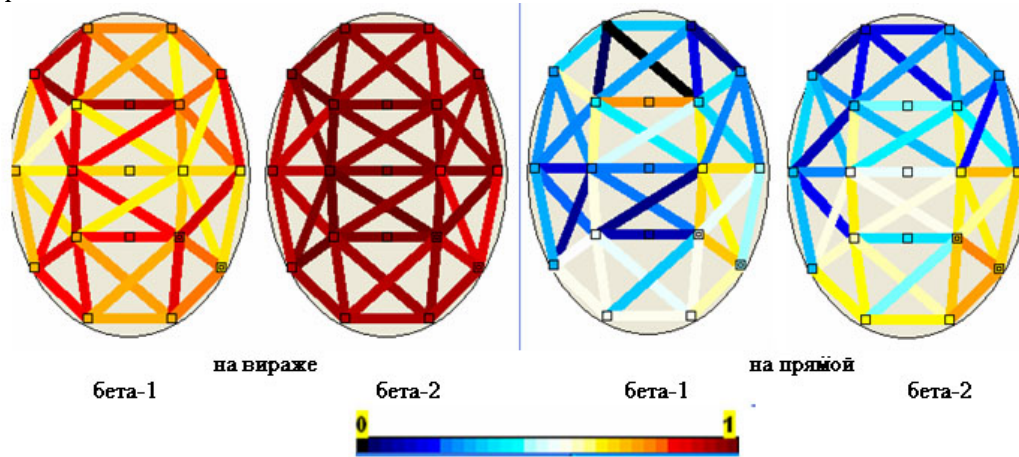


Рис.1. Топография корреляционной синхронности скоростного гонщика

В отношении амплитуды на виражах (рис.2) наблюдается сильная депрессия альфа-ритма по всему скальпу, а в высокочастотных диапазонах налицо нарастающая от бета1 к бета2 активация, особенно в лобной доле левого доминирующего полушария. На прямой видно увеличение альфа-ритма с одновременным прогрессирующим падением активности в бета1 и бета2 частотных диапазонах. Это еще раз подтверждает вывод о состоянии релаксации.

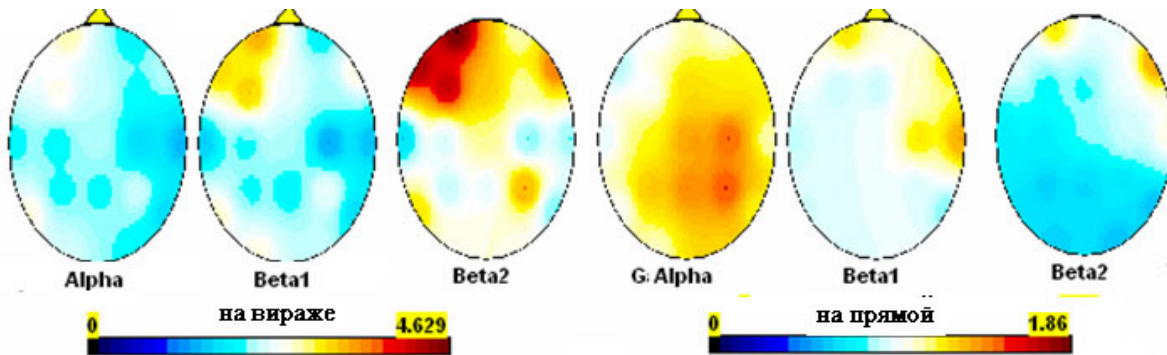


Рис.2. Амплитудные карты скоростного гонщика

У водителя же наблюдается прямо противоположная картина. Карты синхронности (рис.3) являют сходную топографию на вираже и прямой в обоих частотных диапазонах с некоторой активацией премедиальных связей на уровне 0.7-0.8 и депрессией латеральных связей в височных областях на уровне 0.2-0.3. Это показывает, что в отношении синхронности водитель проходит вираж и прямую примерно в одинаковом функциональном состоянии.

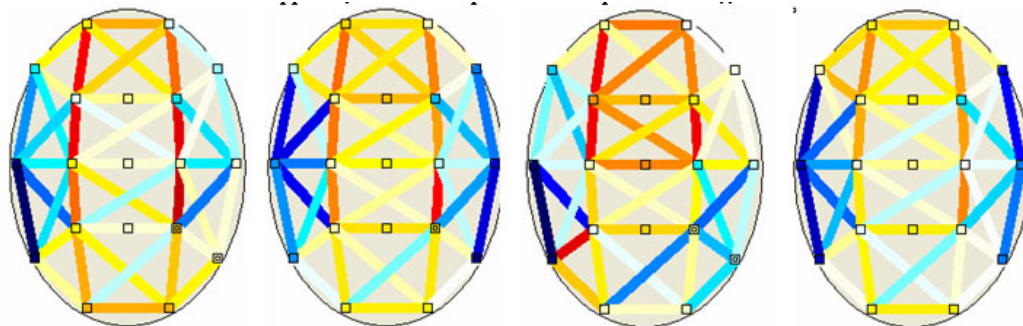


Рис.3. Топография корреляционной синхронности скоростного водителя

В отношении амплитудной топографии (рис. 4), прежде всего, поражает высокая альфа-активность по всему скальпу на вираже и на прямой, что говорит о сильной релаксации. То есть мозг испытуемого дремлет, причем особо сильно он дремлет на вираже и в доминирующем левом полушарии. В бета1-диапазоне на обоих участках движения некоторая активация имеет место в задних отделах мозга с небольшой левосторонней асимметрией. В бета2-диапазоне активация полностью отсутствует.

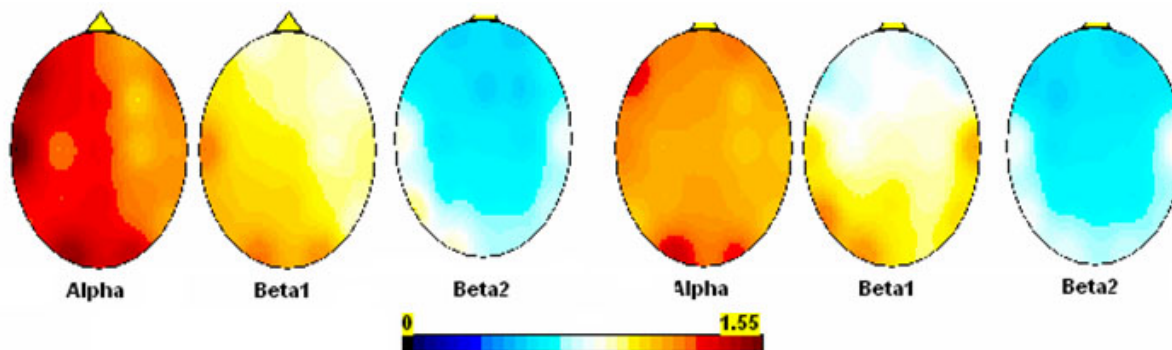


Рис.4. Амплитудные карты скоростного водителя

Таким образом, как и первоначально предполагалась, водитель везде по трассе рулит в привычной ему спокойной комфортной обстановке.

Заключение

1. Приведенные иллюстрации показывают, что используемые два метода корректной оценки показателей синхронности и амплитуды ЭЭГ позволяют получить высоко физиологически убедительные, функционально убедительные и психологически убедительные результаты.

2. С использованием автоматической программы анализа ЭЭГ для получения рассмотренных результатов требуется всего лишь 3-4 часа работы исследователя, включая и предварительную нарезку фрагментов для анализа. В других же условиях подобный процесс мог бы занять многие недели и даже месяцы с получением некорректных результатов неадекватными методами.

3. Таким образом, теперь любой внешний пользователь может анализировать этими эффективными методами свои записи в основных международных форматах: EDF, NeuroScan, UDF, также как и в формате Conan.