



УДК 612.821 + 81'33

EDN FRQQQE

<https://www.doi.org/10.33910/2687-0223-2023-5-1-26-36>

## Межполушарная коннективность при предъявлении билингвального стимула: лонгитюдное нейролингвистическое ЭЭГ-исследование

Д. А. Лебедин<sup>✉1</sup>

<sup>1</sup> Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,  
630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 1

### Сведения об авторе

Лебедин Дмитрий Алексеевич,  
SPIN-код: 5356-9884,  
Scopus AuthorID: 57383594900,  
ORCID: 0000-0002-4356-9067,  
e-mail: [lebedkin.dmitriy@gmail.com](mailto:lebedkin.dmitriy@gmail.com)

### Для цитирования:

Лебедин, Д. А.  
(2023) Межполушарная  
коннективность при  
предъявлении билингвального  
стимула: лонгитюдное  
нейролингвистическое  
ЭЭГ-исследование. *Комплексные  
исследования детства*, т. 5, № 1,  
с. 26–36. <https://doi.org/10.33910/2687-0223-2023-5-1-26-36> EDN FRQQQE

**Получена** 15 января 2023; прошла  
рецензирование 22 января 2023;  
принята 23 января 2023.

**Финансирование:** Исследование  
не имело финансовой поддержки.

**Права:** © Д. А. Лебедин (2023).  
Опубликовано Российским  
государственным педагогическим  
университетом им. А. И. Герцена.  
Открытый доступ на условиях  
лицензии [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

**Аннотация.** Современный рынок образовательных услуг по обучению иностранным языкам требует прозрачности и стандартизованности при оценке предлагаемых методик с точки зрения наличия или отсутствия эффекта, заявляемого их создателями. Соблюдение данных принципов облегчило бы решение проблемы выбора подходящей методики как для частных лиц, так и для государственных институтов. В данном исследовании мы предлагаем метрики, которые, в рамках более общей методологии, позволят достоверно и объективно устанавливать наличие влияния применяемой методики по обучению иностранному языку на лингвистическую деятельность обучающихся. Предлагаемые метрики базируются на измерении коннективности (или же когерентности, синхронизации) между отдельными участками коры головного мозга обучающихся при записи электроэнцефалограммы (ЭЭГ) во время выполнения языковых заданий, состоящих в категоризации последовательно демонстрируемых вариантов перевода письменных немецких предложений в зависимости от их правильности или неправильности и степени уверенности отвечающего. По показателям коннективности можно косвенно судить о количестве вовлеченных в решение когнитивной задачи участков коры головного мозга, об индивидуальных и групповых особенностях взаимодействия между этими участками, что может быть связано с когнитивными стратегиями, к которым прибегают обучающиеся для решения лингвистической задачи. В качестве материала для анализа выступили ЭЭГ-записи, полученные в результате двух экспериментальных сессий (с промежутком в месяц между ними) у двух групп испытуемых, первая из которых обучалась немецкому языку по стандартной методике, а вторая — по методике глубинной семантики П. Я. Гальперина. Для анализа коннективности были выбраны отрезки данных, где испытуемым впервые за сессию предъявлялись сразу два новых предложения — на немецком (оригинал для перевода) и русском (вариант перевода). В данной работе мы описываем апробацию метода на основе выбранных метрик, который нацелен на акцентуацию разницы между группами обучающихся по разным методикам на нейрофизиологическом уровне.

**Ключевые слова:** нейролингвистический эксперимент, ЭЭГ, коннективность, билингвизм, немецкий язык, русский язык, обучение иностранному языку

# Interhemispheric connectivity upon presentation of a bilingual stimulus: A longitudinal neurolinguistic EEG study

D. A. Lebedkin<sup>✉1</sup>

<sup>1</sup> Novosibirsk National Research State University, 1 Pirogova Str., Novosibirsk 630090, Russia

## Author

Dmitri A. Lebedkin,  
SPIN-код: 5356-9884,  
Scopus AuthorID: 57383594900,  
ORCID: 0000-0002-4356-9067,  
e-mail: lebedkin.dmitriy@gmail.com

## For citation:

Lebedkin, D. A.  
(2023) Interhemispheric connectivity upon presentation of a bilingual stimulus: A longitudinal neurolinguistic EEG study. *Comprehensive Child Studies*, vol. 5, no. 1, pp. 26–36. <https://doi.org/10.33910/2687-0223-2023-5-1-26-36> EDN FROQQE

**Received** 15 January 2022;  
reviewed 22 January 2023;  
accepted 23 January 2023.

**Funding:** The study did not receive any external funding.

**Copyright:** © D. A. Lebedkin (2023).  
Published by Herzen State Pedagogical University of Russia.  
Open access under [CC BY-NC License 4.0](#).

**Abstract.** The methods of foreign language teaching available on the market of educational services require transparent and standardized evaluation in terms of the presence of the effect claimed by their creators. Such evaluation would facilitate the choice of an appropriate method for both individuals and government institutions. In this study, we propose metrics that, within the framework of a more general methodology, will make it possible to reliably establish whether a particular method of foreign language teaching has an effect on the linguistic performance of students. The proposed metrics are based on measuring the connectivity between individual areas of the cerebral cortex of students when recording an electroencephalogram (EEG) during the performance of language tasks. The language tasks involve categorization of proposed translations for German sentences depending on their correctness or incorrectness and the degree of the respondent's confidence. Based on the indicators of connectivity, one can indirectly assess the number of areas of the cerebral cortex involved in the solution of a cognitive task, as well as assess the individual and group features of the interaction between these areas which may be related to the cognitive strategies that students use to solve a linguistic problem. We analysed EEG recordings obtained during two experimental sessions (with a month-long interval between them) in two groups of subjects: the first group was taught German according to the standard method, and the second group, according to the deep semantics method of P. Y. Galperin. The epochs for the analysis contained brain responses to two novel stimuli presented at the same time: a sentence in German (to translate) and in Russian (a translation version). In this paper, we describe the testing of a method which is based on the selected metrics and aimed at accentuating the difference, at the neurophysiological level, between groups of students using different teaching approaches.

**Keywords:** neurolinguistic experiment, EEG, connectivity, bilingualism, German language, Russian language, foreign language learning

## Введение

В настоящее время наблюдается рост спроса на образовательные услуги, в том числе услуги по обучению иностранному языку (Khajbulina et al. 2022). Даже если рассматривать отдельные части данного активно растущего рынка, сложно недооценить их масштаб и неизбежно возникающее вместе с тем разнообразие используемых преподавательских подходов. Это разнообразие приводит к усложнению выбора среди образовательных услуг для конечного потребителя, будь то частное лицо или государственное, в связи с чем возникает необходимость упорядочить данную область деятельности, категоризировать используемые в ней методики преподавания. Такой шаг позволил бы облегчить проблему выбора, дав больше полезной информации потенциальному преподавателю или обучающемуся.

Категоризация методик предполагает их сравнение, которое можно осуществлять на основании качественно разных критериев. Нами были рассмотрены две основные области знания, дающие основания для этого: теория преподавания и нейрофизиология. Первая дает доступ к методологии, необходимой для полного и точного теоретического описания применяемой методики, что в подробностях описывается в работе «Approaches and methods in language teaching» (Richards, Rodgers 2001). Совместно с этой методикой применение нейрофизиологической технологии тестирования позволяет также получать эмпирические данные, подтверждающие или не подтверждающие успешность прохождения учащимися той или иной образовательной программы.

При всем этом нам видится перспективным использование более объективных критериев, базирующихся на непосредственных биологи-

ческих показателях, измеряемых у обучающихся, как это было продемонстрировано в отчете Ю. С. М. Тан и Дж. Дж. Амиель (Tan, Amiel 2022). Так, мы можем определить влияние внешних по отношению к языковым навыкам индивидуальных характеристик и исключить их и, наоборот, можем выделить наиболее важные показатели и сфокусироваться на них. Поэтому мы, продолжая использовать концептуальный аппарат теории преподавания, интегрируем ее с нейрофизиологией как с дисциплиной, изучающей мыслительные процессы через призму их биологического субстрата — головного мозга.

Далее, в качестве исследовательской парадигмы мы выбрали методику нейролингвистического эксперимента. Этот выбор был продиктован общим эмпирическим направлением данного исследования. В качестве основного исследовательского метода нами была выбрана электроэнцефалография (ЭЭГ) (Jackson, Volger 2014), в качестве дополнительного — измерение поведенческих показателей. В рамках данной работы были проанализированы только данные ЭЭГ.

Таким образом, цель исследования состоит в поиске и сопоставлении нейрофизиологических коррелятов специфики языковых навыков, индуцированной особенностями применяемой методики преподавания иностранного языка. Объектом исследования выступили нейрофизиологические процессы синхронизации участков коры головного мозга, имеющие место при прохождении испытуемыми заданий на знание иностранного языка. Предмет исследования составляют корреляты характеристик языковых навыков, обусловленных примененной методикой обучения иностранному языку.

## **Материалы и методы**

### *Инструменты*

В рамках исследования был проведен нейрофизиологический эксперимент с применением технологии нейровизуализации ЭЭГ и вспомогательного метода — сбора поведенческих данных (время реакции). Был использован 128-канальный усилитель Brain Products с частотой дискретизации 1000 Гц, с пропускающей способностью электродов 0,1–100 Гц. Электроды были расположены по стандартной системе «10-5» (Oostenveld, Praamstra 2001) при помощи специального шлема, при этом был использован референтный монтаж с референтом Cz. Позиционирование электродов (сохранение данных об их положении в трехмерном пространстве

относительно головы каждого отдельно взятого испытуемого) производилось при помощи оборудования Fast Track. Для улучшения проводимости между кожей головы и электродами использовался кондуктивный гель. Для записи ЭЭГ использовалось ПО PyCorder, для предобработки и анализа — пакет MNE Python (Gramfort et al. 2013).

### *Участники*

В исследовании приняли участие 25 человек, здоровых студентов Новосибирского государственного университета, родным языком (L1) которых является русский, а первым изучаемым (L2) — немецкий. Из них 17 человек (4 мужчин, 13 женщин, средний возраст — 19,7 лет) успешно завершили все необходимые процедуры и только их данные были использованы в анализе. Участники были разделены на две группы по следующему принципу: первая (главная, 7 человек, 1 мужчина, 6 женщин, средний возраст — 18,8 лет) группа участвует в прохождении обучающих курсов по немецкому языку по так называемой методике глубинной семантики (ГС), а участники второй (контрольная, 9 человек, 3 мужчин, 6 женщин, средний возраст — 20,4 лет) группы продолжают обучение по изначально выбранной ими методике, индивидуально. Гендерный дисбаланс участников в сторону женщин считаем незначительным для дальнейшего анализа, так как в ходе пилотных экспериментов этот фактор не оказал значимого влияния (Shtern et al. 2022). Полученный в процессе их проведения опыт также оказался крайне полезным при разработке структуры трайла и дизайна анализа данных.

Все испытуемые дали информированное и добровольное согласие на участие в эксперименте.

### *Дизайн исследования*

Для исследования была выбрана следующая структура:

- 1) проведение первого эксперимента;
- 2) обучение по выбранной для группы методике;
- 3) проведение второго эксперимента.

Такой дизайн позволяет получать информацию о значимых показателях мозговой и поведенческой активности испытуемых до прохождения курсов и после, что дает основания для сравнения исходного состояния обеих групп, конечного состояния групп, а также видеть прогресс отдельной группы.

## Методы

### Обучение

Обучение по методике глубинной семантики состояло из 4 очных занятий и 4 домашних заданий, выдаваемых и проверяемых дистанционно. Занятия носили интерактивный формат, было подчеркнуто отсутствие четкой иерархии между учениками и учителем.

На очных занятиях учащимися осваивались, применяясь на практике, понятия из методики глубинной семантики (Kabanova 2012; Sidneva 2019; Talyzina 1993). Для обучения использовались как задания, выполняемые письменно, так и полностью устные задания. В конце выполнения всякого из них проводилось групповое обсуждение с коррекцией преподавателем возникающих у студентов ошибок. Средняя длительность одного занятия составляла порядка 1,5 часов.

В рамках первого занятия осуществлялось введение в категории ГС, на примерах показывалось применение описательной модели ГС на материале русского языка. Это происходило путем использования грамматически упрощенных предложений в качестве материала для заданий по определению категории ГС, присутствующей в представленной фразе. В дальнейших занятиях эти категории уточнялись и их понимание далее закреплялось на практике, где особое внимание уделялось постепенному переходу с материала русского языка на материал немецкого языка.

Посредством домашних работ происходило закрепление пройденного материала при помощи выполнения составленных преподавателем заданий на платформе LearningApps, которые состояли в выполнении категоризации примеров слов или предложений по семантическим или синтаксическим категориям. Срок выполнения для одного такого задания составлял около двух дней.

Длительность индивидуального обучения участников второй группы корректировалась в зависимости от нескольких факторов: интенсивность и длительность занятий, количество занятий в неделю, уровня языка обучающегося.

### Структура заданий

Участникам эксперимента было предложено оценить правильность фраз-переводов с русского на немецкий. Оценка состояла в отнесении фразы к одной из 4 категорий: «точно неправильно», «скорее неправильно», «скорее правильно», «точно правильно». Экспериментальная

парадигма была выполнена в trial-based-дизайне. Структура trial (трайла) состояла из единовременного показа предложения на русском языке и последовательно сменявшихся вариантов его перевода. Смена вариантов происходила по мере их категоризации испытуемым, который не был ограничен по времени, однако был проинструктирован выполнять задание как можно быстрее, не тратя времени на долгий анализ фраз.

Взаимодействие испытуемого с отдельной демонстрируемой фразой происходило посредством наведения на нее курсора мыши, единовременного зажатия левой клавиши и смещения курсора в одну из колонок внизу экрана, а затем отпускания левой клавиши. В результате этого программа принимала ответ участника эксперимента и затем демонстрировала следующую фразу. И так продолжается до тех пор, пока варианты перевода для отдельного предложения на русском языке не будут исчерпаны — затем происходит переход к следующему раунду, меняется предложение на русском и процесс последовательной демонстрации переводов повторяется.

### Анализ ЭЭГ-данных

Непосредственно перед анализом были пройдены следующие шаги предобработки данных:

- фильтрация в частотном диапазоне от 0,1 до 80 Гц;
- эпохирование, отрезки — 1,5 секунды до и 3 секунды после стимула;
- удаление эпох с разницей между глобальным максимумом и минимумом выше плавающего порога (от  $4 \cdot 10^{-5}$  до  $4 \cdot 10^{-1}$  у. е.);
- расчет независимых компонент методом ICA (Hyyärinen, Oja 2000; Klug, Gramann 2021) с последующим удалением компонент, отмеченных ICALabel (Pion-Tonachini et al. 2019) как артефактные.

Затем, были рассчитаны показатели коннективности (Bastos, Schoffelen 2016): для предобработанных эпох по каждому ЭЭГ-каналу было выполнено мультитейпер-преобразование (Multitaper) по пяти частотным диапазонам (дельта- (0–4 Гц), тета- (4–8 Гц), альфа- (8–12 Гц), бета- (12–30 Гц) и гамма-ритмы (30–80 Гц)), результаты которого были усреднены для каждого частотного окна. Далее, тремя способами рассчитывалось значение коннективности: когерентность (coherence, «coh»), значение фазовой синхронизации (phase-locking value, «plv») (Jean-Philippe et al. 1999), индекс фазового отставания (phase lag index, «pli») (Stam et al. 2007).

Таким образом, для каждого испытуемого мы получили два набора (сессия) из пяти

показателей (частота), полученных тремя способами. Ниже представлен пример матриц коннективности, полученных тремя методами для одного и того же условия (рис. 1). Затем рассчитывался индекс межполушарной коннективности. Для этого из полученных данных извлекались пары каналов, один из которых по схеме «10-5» располагался над левым полушарием, а другой — над правым, и наоборот. Значения таких пар (с удаленными повторениями) усреднялись для каждого испытуемого по каждой частоте и по каждому способу расчета коннективности. Так, мы получили 5 числовых значений для каждого из трех методов. Из них были вычислены общие средние для условий: «основная группа, первая сессия», «контрольная группа, первая сессия», «основная группа, вторая сессия» и «контрольная группа, вторая сессия».

### Результаты

По вычислении показателей глобальной коннективности и расчету на их основе индексов межполушарной коннективности были получены результаты, показанные в таблице (табл. 1).

Наибольшие индексы были получены методом фазовой синхронизации, гораздо более консервативным оказался метод подсчета индекса фазового отставания. В целом можно утверждать, что использованные методы дают схожие результаты с поправкой на порядок полученных числовых значений. Среди частотных диапазонов для всех методов расчета наиболее яркими оказались дельта и тета. Статистический анализ полученных результатов не проводился в силу малого размера выборки (Brybaert 2019).

### Обсуждение

При трактовке результатов стоит учесть, что «стандартная» методика, в нашем случае представляющая собой коммуникативную методику с некоторыми аспектами других методик, активно пользуется тем, что языковые выражения и целые языковые стратегии лучше запоминаются в контексте — в ситуациях общения. Вероятно, в процессе обучения по такой методике успешность решения задачи перевода становится зависимой от целого комплекса бессознательных процессов, не обязательно состоящих в аналитическом разборе предложения, но,

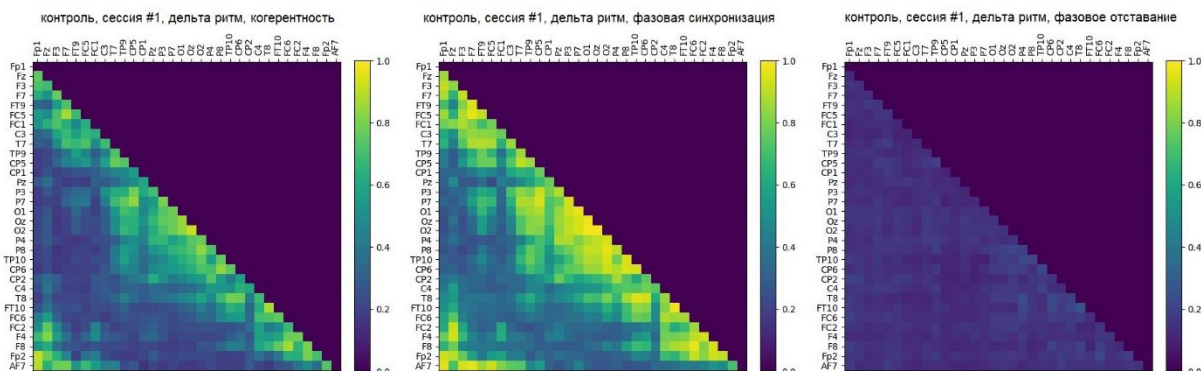


Рис. 1. Сравнение матриц коннективности, полученных тремя методами

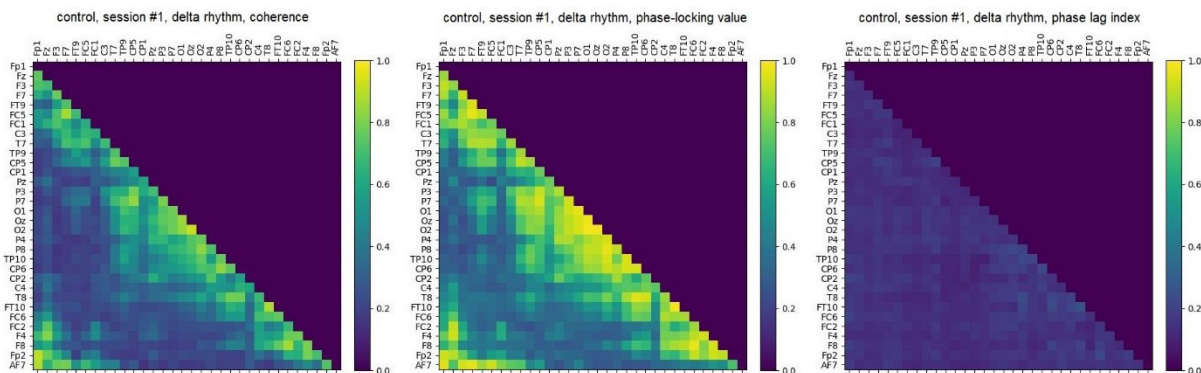


Fig. 1. Comparison of connectivity matrices acquired by three methods

Табл. 1. Индексы межполушарной коннективности

Группа	Сессия	Частотный диапазон	Метод	Среднее	Стандартное отклонение
контрольная	1	дельта	coh	0,13040	0,04004
контрольная	2	дельта	coh	0,13178	0,03394
основная	1	дельта	coh	0,14197	0,04726
основная	2	дельта	coh	0,14439	0,03751
контрольная	1	дельта	plv	0,17822	0,04938
контрольная	2	дельта	plv	0,17738	0,02692
основная	1	дельта	plv	0,19189	0,03495
основная	2	дельта	plv	0,18783	0,03068
контрольная	1	дельта	pli	0,05343	0,00752
контрольная	2	дельта	pli	0,05191	0,00626
основная	1	дельта	pli	0,04972	0,00462
основная	2	дельта	pli	0,05714	0,0088
контрольная	1	тета	coh	0,13628	0,02921
контрольная	2	тета	coh	0,14235	0,03122
основная	1	тета	coh	0,13693	0,02539
основная	2	тета	coh	0,14152	0,01643
контрольная	1	тета	plv	0,21955	0,03376
контрольная	2	тета	plv	0,21293	0,01867
основная	1	тета	plv	0,21826	0,02026
основная	2	тета	plv	0,21816	0,01413
контрольная	1	тета	pli	0,06280	0,01786
контрольная	2	тета	pli	0,06758	0,01854
основная	1	тета	pli	0,06727	0,01372
основная	2	тета	pli	0,06243	0,01165
контрольная	1	альфа	coh	0,11828	0,02273
контрольная	2	альфа	coh	0,12769	0,03070
основная	1	альфа	coh	0,12246	0,01965
основная	2	альфа	coh	0,12847	0,01764
контрольная	1	альфа	plv	0,20369	0,02454
контрольная	2	альфа	plv	0,21123	0,02830
основная	1	альфа	plv	0,21256	0,01994
основная	2	альфа	plv	0,21890	0,01301
контрольная	1	альфа	pli	0,06474	0,01445
контрольная	2	альфа	pli	0,07338	0,02679
основная	1	альфа	pli	0,06244	0,01132
основная	2	альфа	pli	0,07270	0,02433
контрольная	1	бета	coh	0,09826	0,02101
контрольная	2	бета	coh	0,11379	0,01425
основная	1	бета	coh	0,10095	0,02297
основная	2	бета	coh	0,10761	0,01313

Таблица 1. Продолжение

контрольная	1	бета	plv	0,18106	0,02708
контрольная	2	бета	plv	0,20002	0,01694
основная	1	бета	plv	0,18519	0,02447
основная	2	бета	plv	0,19946	0,01475
контрольная	1	бета	pli	0,06075	0,00889
контрольная	2	бета	pli	0,06358	0,01256
основная	1	бета	pli	0,05289	0,00430
основная	2	бета	pli	0,05722	0,00822
контрольная	1	гамма	coh	0,08814	0,02119
контрольная	2	гамма	coh	0,10644	0,03349
основная	1	гамма	coh	0,08268	0,01645
основная	2	гамма	coh	0,09272	0,00857
контрольная	1	гамма	plv	0,16302	0,03216
контрольная	2	гамма	plv	0,16854	0,02182
основная	1	гамма	plv	0,16595	0,02621
основная	2	гамма	plv	0,18307	0,01230
контрольная	1	гамма	pli	0,05743	0,00744
контрольная	2	гамма	pli	0,06347	0,01393
основная	1	гамма	pli	0,05639	0,00511
основная	2	гамма	pli	0,06002	0,00952

Table 1. Interhemispheric connectivity index

Group	Session	Frequency range	Method	Mean value	Standard deviation
control	1	delta	coh	0.13040	0.04004
control	2	delta	coh	0.13178	0.03394
experimental	1	delta	coh	0.14197	0.04726
experimental	2	delta	coh	0.14439	0.03751
control	1	delta	plv	0.17822	0.04938
control	2	delta	plv	0.17738	0.02692
experimental	1	delta	plv	0.19189	0.03495
experimental	2	delta	plv	0.18783	0.03068
control	1	delta	pli	0.05343	0.00752
control	2	delta	pli	0.05191	0.00626
experimental	1	delta	pli	0.04972	0.00462
experimental	2	delta	pli	0.05714	0.0088
control	1	theta	coh	0.13628	0.02921
control	2	theta	coh	0.14235	0.03122
experimental	1	theta	coh	0.13693	0.02539
experimental	2	theta	coh	0.14152	0.01643
control	1	theta	plv	0.21955	0.03376
control	2	theta	plv	0.21293	0.01867
experimental	1	theta	plv	0.21826	0.02026

Table 1. Completion

experimental	2	theta	plv	0.21816	0.01413
control	1	theta	pli	0.06280	0.01786
control	2	theta	pli	0.06758	0.01854
experimental	1	theta	pli	0.06727	0.01372
experimental	2	theta	pli	0.06243	0.01165
control	1	alpha	coh	0.11828	0.02273
control	2	alpha	coh	0.12769	0.03070
experimental	1	alpha	coh	0.12246	0.01965
experimental	2	alpha	coh	0.12847	0.01764
control	1	alpha	plv	0.20369	0.02454
control	2	alpha	plv	0.21123	0.02830
experimental	1	alpha	plv	0.21256	0.01994
experimental	2	alpha	plv	0.21890	0.01301
control	1	alpha	pli	0.06474	0.01445
control	2	alpha	pli	0.07338	0.02679
experimental	1	alpha	pli	0.06244	0.01132
experimental	2	alpha	pli	0.07270	0.02433
control	1	beta	coh	0.09826	0.02101
control	2	beta	coh	0.11379	0.01425
experimental	1	beta	coh	0.10095	0.02297
experimental	2	beta	coh	0.10761	0.01313
control	1	beta	plv	0.18106	0.02708
control	2	beta	plv	0.20002	0.01694
experimental	1	beta	plv	0.18519	0.02447
experimental	2	beta	plv	0.19946	0.01475
experimental	1	beta	pli	0.06075	0.00889
control	2	beta	pli	0.06358	0.01256
experimental	1	beta	pli	0.05289	0.00430
experimental	2	beta	pli	0.05722	0.00822
control	1	gamma	coh	0.08814	0.02119
control	2	gamma	coh	0.10644	0.03349
experimental	1	gamma	coh	0.08268	0.01645
experimental	2	gamma	coh	0.09272	0.00857
control	1	gamma	plv	0.16302	0.03216
control	2	gamma	plv	0.16854	0.02182
experimental	1	gamma	plv	0.16595	0.02621
experimental	2	gamma	plv	0.18307	0.01230
control	1	gamma	pli	0.05743	0.00744
control	2	gamma	pli	0.06347	0.01393
experimental	1	gamma	pli	0.05639	0.00511
experimental	2	gamma	pli	0.06002	0.00952



вполне возможно, в его целостном или, во всяком случае, базированном на более крупных составных блоках восприятия. В то же время методика, основанная на теории глубинной семантики, направляет учащихся именно на эксплицитный анализ предложения, проводимый по формальным правилам и работающий со строго определенным набором минимальных составных блоков (семантико-синтаксических ролей).

Таким образом, мы приходим к заключению, что методологическая основа, по которой проводится различие методик преподавания иностранных языков, может найти свое частичное подтверждение в нейрофизиологии. Однако стоит понимать ограничения данного исследования: для масштабирования полученных результатов на другие методики необходимо расширение сформированной на его основе базы нейрокоррелятов специфики языковых навыков. Эта задача может быть решена лишь при расширении парадигмы задач, а именно путем включения в нее не только новых операций перевода, но и выбора обучающихся по иным методикам и проведения сравнения между ними.

## Ограничения

Важно упомянуть — в ходе данного исследования мы столкнулись с воздействием некоторых неучтенных переменных, вероятно, оказавших влияние на полученные результаты. Так, нам не удалось в полной мере скорректировать длительность промежутка между двумя измерениями и, соответственно, длительность обучения у групп участников эксперимента: для каждого отдельного испытуемого она находилась в диапазоне от двух недель до двух месяцев. Причиной этого стали человеческий фактор и технические трудности. В дальнейшем при организации и планировании исследований с участниками мы будем учитывать выявленные проблемы.

Нерешаемым на данном этапе представляется также вопрос «ненулевого» уровня участников. Набор и организация образовательного процесса для двух репрезентативных групп, состоящих из участников, готовых изучать новый иностранный язык, не могли быть выполнены в отведенные нам сроки.

Далее, не представилось возможным максимально сбалансировать группы участников по критерию «пол». Мы предполагаем, что это связано, прежде всего, с особенностями демографии изучающих иностранные языки (сильный сдвиг в сторону женского пола).

Также есть основания считать недостаточным размер выборки. Особенно для контрольной группы была актуальна проблема контроля за тем, каким образом проводится обучение. Указанные, а также и другие недостатки данной работы будут адресованы в дальнейших итерациях исследования.

Кроме того, в последующих исследованиях предполагается либо пересмотреть парадигму заданий, на данном этапе отличающуюся излишней сложностью (в аспекте потенциальной генерации «шумов» в ЭЭГ-данных испытуемым при ее выполнении), либо использовать дополнительные способы измерения поведенческих показателей (прежде всего, айтрекинг), позволяющих скорректировать полученные результаты ЭЭГ, преимущественно делая более точным запечатление момента фокусировки испытуемого на экспериментальном стимуле (Vaccino, Manunta 2005).

Полученные результаты не позволяют однозначно утверждать наличие качественного перехода участников той или иной группы от одной когнитивной стратегии решения задачи перевода и категоризации к другой. Этому препятствуют не вполне достоверные результаты, вызванные малым объемом выборки и неточным характером вычислений в пространстве сенсоров (или же электродов; sensor space), в противоположности более анатомически и статистически информированному вычислению в пространстве источников (source space) (Bastos, Schoffelen 2016; Van de Steen et al. 2019; Xie et al. 2022). Для выхода на вычисления в этом пространстве необходимо включить в анализ МРТ-снимки испытуемых и, желательно, фМРТ-записи выполнения заданий, аналогичных продемонстрированным в данной работе, но выполненным с параллельной записью ЭЭГ, а возможно, записанным параллельно с ЭЭГ (Bullock et al. 2021). Использование МРТ как дополнительного метода сбора данных мы считаем необходимым для дальнейших итераций этого исследования.

## Заключение

В рамках данного исследования был проведен лонгитюдный нейролингвистический эксперимент с применением технологии нейровизуализации ЭЭГ и регистрации поведенческих показателей. Эксперимент был направлен на выявление нейрокоррелятов в домене коннективности для специфики языковых навыков, обусловленных применяемой методикой преподавания иностранного языка. В качестве

иностранного языка выбран немецкий, в качестве методик выбраны усредненная методика «стандартная» и методика, основанная на теории глубинной семантики. Испытуемыми выступили 16 русскоязычных студентов Новосибирского государственного университета разных факультетов, лет и направлений обучения, изучающих немецкий язык как иностранный. Основной метрикой для нейрофизиологических данных стала мера коннективности, рассчитанная тремя способами, и вычисленный на ее основе индекс межполушарной коннективности.

Результаты, полученные по итогу исследования, не позволяют говорить о наличии значимой разницы между обучающимися по разным методикам, в том числе обусловленной спецификой каждой из методик. Однако с учетом замечаний, описываемых в разделе «Ограничения», и потенциальной пользы, мы видим целесообразность продолжения изысканий в данной области.

### Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии потенциального или явного конфликта интересов.

### Conflict of Interest

The author declares that there is no conflict of interest, either existing or potential.

### Соответствие принципам этики

Протокол эксперимента был разработан и исполнен в соответствии с этическими нормами Хельсинской декларации по проведению биомедицинских исследований с испытуемыми людьми.

### Ethics Approval

The protocol of the experiment was designed and executed in accordance with the ethical principles of the Declaration of Helsinki for medical research involving human subjects.

### Благодарности

Уроки для экспериментальной группы были проведены Е. Н. Штерн. Экспериментальное оборудование и помещение для проведения эксперимента были предоставлены коллективом лаборатории дифференциальной психофизиологии НИИ Нейронаук и Медицины.

### Acknowledgements

The author thanks E. N. Stern who conducted the foreign language lessons for the experimental group. The author also thanks the personnel of the Laboratory of Differential Psychophysiology (the Research Institute of Neuroscience and Medicine) for providing experimental equipment and premises for the experiment.

### References

- Baccino, T., Manunta, Y. (2005) Eye-fixation-related potentials: Insight into parafoveal processing. *Journal of Psychophysiology*, vol. 19, no. 3, article 204. <http://doi.org/10.1027/0269-8803.19.3.204> (In English)
- Bastos, A. M., Schoffelen, J.-M. (2016) A tutorial review of functional connectivity analysis methods and their interpretational pitfalls. *Frontiers in Systems Neuroscience*, vol. 9, article 175. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2015.00175> (In English)
- Brysbaert, M. (2019) How many participants do we have to include in properly powered experiments? A tutorial of power analysis with reference tables. *Journal of Cognition*, vol. 2, no. 1, article 16. <https://doi.org/10.5334/joc.72> (In English)
- Bullock, M., Jackson, G. D., Abbott, D. F. (2021) Artifact reduction in simultaneous EEG-fMRI: A systematic review of methods and contemporary usage. *Frontiers in Neurology*, vol. 12, article 622719. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.622719> (In English)
- Hyvärinen, A., Oja, E. (2000) Independent component analysis: Algorithms and applications. *Neural Networks*, vol. 13, no. 4–5, pp. 411–430. [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(00\)00026-5](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(00)00026-5) (In English)
- Jackson, A. F., Bolger, D. J. (2014) The neurophysiological bases of EEG and EEG measurement: A review for the rest of us. *Psychophysiology*, vol. 51, no. 11, pp. 1061–1071. <https://doi.org/10.1111/psyp.12283> (In English)
- Jean-Philippe, L., Eugenio, R., Jacques, M., Francisco, J. V. (1999) Measuring phase synchrony in brain signals. *Human Brain Mapping*, vol. 8, no. 4, pp. 194–208. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0193\(1999\)8:4%3C194::aid-hbm4%3E3.0.co;2-c](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0193(1999)8:4%3C194::aid-hbm4%3E3.0.co;2-c) (In English)
- Kabanova, O. Ya. (2012) Teoriya P. Ya. Gal'perina — perestrojke soderzhaniya uchebnykh predmetov [Gal'perin's theory—for reorganizing of educational disciplines]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 14. Psikhologiya — Moscow University Psychology Bulletin*, no. 4, pp. 113–122 (In Russian)

- Khajbulina, D. R., Kopitsa, V. N., Bulganina, S. V. et al. (2022) Issledovanie konkurentsii onlajn-shkol anglijskogo yazyka i izuchenie sprosna na obrazovatel'nye uslugi [A study of the competition of online English schools and a study of the demand for educational services]. *Moskovskij ekonomicheskij zhurnal — Moscow Economic Journal*, vol. 7, no. 5, pp. 622–635. [https://doi.org/10.55186/2413046X\\_2022\\_7\\_5\\_304](https://doi.org/10.55186/2413046X_2022_7_5_304) (In Russian)
- Klug, M., Gramann, K. (2021) Identifying key factors for improving ICA-based decomposition of EEG data in mobile and stationary experiments. *European Journal of Neuroscience*, vol. 54, no. 12, pp. 8406–8420. <https://doi.org/10.1111/ejn.14992> (In English)
- Oostenvelde, R., Praamstra, P. (2001) The five percent electrode system for high-resolution EEG and ERP measurements. *Clinical Neurophysiology*, vol. 112, no. 4, pp. 713–719. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(00\)00527-7](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(00)00527-7) (In English)
- Pion-Tonachini, L., Kreutz-Delgado, K., Makeig, S. (2019) ICLabel: An automated electroencephalographic independent component classifier, dataset, and website. *NeuroImage*, vol. 198, pp. 181–197. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.05.026> (In English)
- Richards, J. C., Rodgers, T. S. (2001) Approaches and methods in language teaching. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 270 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511667305> (In English)
- Shtern, E. N., Savost'yanov, A. N., Lebedkin, D. A. (2022) Deyatel'nostnaya teoriya i teoriya yazykovogo soznaniya P. Ya. Gal'perina: rezul'taty EEG issledovaniya v perspektive obucheniya inostrannym yazykam s pomoshch'yu IKT [P. Ya. Galperin's activity theory and language consciousness theory: Results of EEG-based research with regard to ICT-assisted foreign language]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Lingvistika i mezhkul'turnaya kommunikatsiya — NSU Vestnik. Series: Linguistics and Intercultural Communication*, vol. 20, no. 2, pp. 81–92. <https://doi.org/10.25205/1818-7935-2022-20-2-81-92> (In Russian)
- Sidneva, A. N. (2019) Osnovnye napravleniya kritiki teorii planomerno-poetapnogo formirovaniya umstvennykh dejstvij i ponyatij [Basic objections to the theory of stage-by-stage formation of mental actions and concepts]. *Kul'turno-istoricheskaya psikhologiya — Cultural-Historical Psychology*, vol. 15, no. 3, pp. 22–31. <https://doi.org/10.17759/chp.2019150303> (In Russian)
- Stam, C. J., Nolte, G., Daffertshofer, A. (2007) Phase lag index: Assessment of functional connectivity from multi channel EEG and MEG with diminished bias from common sources. *Human Brain Mapping*, vol. 28, no. 11, pp. 1178–1193. <https://doi.org/10.1002/hbm.20346> (In English)
- Talyzina, N. F. (1993) Teoriya planomernogo formirovaniya umstvennykh dejstvij segodnya [Systematic-phased mental actions and concepts development theory as of today]. *Voprosy psikhologii*, no. 1, pp. 92–101. (In Russian)
- Tan, Y. S. M., Amiel, J. J. (2022) Teachers learning to apply neuroscience to classroom instruction: Case of professional development in British Columbia. *Professional Development in Education*, vol. 48, no. 1, pp. 70–87. <https://doi.org/10.1080/19415257.2019.1689522> (In English)
- Van de Steen, F., Faes, L., Karahan, E. et al. (2019) Critical comments on EEG sensor space dynamical connectivity analysis. *Brain Topography*, vol. 32, no. 4, pp. 643–654. <https://doi.org/10.1007/s10548-016-0538-7> (In English)
- Xie, W., Toll, R. T., Nelson, C. A. (2022) EEG functional connectivity analysis in the source space. *Developmental Cognitive Neuroscience*, vol. 56, article 101119. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2022.101119> (In English)