

Санкт-Петербургский государственный университет

Биологический факультет

Кафедра общей физиологии

Пинаевская Татьяна Владимировна

«Нейронная пластичность при обучении с помощью вызванных потенциалов мозга человека»

Выпускная квалификационная работа

по направлению подготовки – 06.03.01

основная образовательная программа бакалавриата « Биология»

профиль « Физиология и биомедицина»

деятельности

Работа выполнена на кафедре  
Высшей нервной

Биологического факультета

Научный руководитель:  
заведующий кафедрой высшей нервной деятельности СПбГУ

биологических наук, профессор

доктор

Александр Алексеевич

Александров

Санкт-Петербург

## Оглавление

	Стр.
Введение .....	3
Глава 1. Характеристика негативности рассогласования.....	4
Глава 2. Пластичность.....	10
Глава 3. Пластичность при распознавании речи.....	14
Глава 4. Пластичность при изучении своего языка и иностранного.....	18
Заключение.....	27
Список использованной литературы.....	29

## ВВЕДЕНИЕ

Обучение является важным аспектом адаптации человека в меняющихся условиях окружающей среды. В основе обучения лежит такое понятие, как нейронная пластичность. Она определяет способность человека приспосабливаться, или меняться под окружающие его условия. И тем самым, организм может наиболее эффективно функционировать в данных условиях. Чем выше пластичность, тем больше шансы подвергнуться изменениям и приобрести полезное поведение. На протяжении жизни человек подвергается всевозможным изменяющимся факторам. Таким образом, обучение длится всю жизнь. На самых ранних этапах, это приобретение родного языка. Как будет видно далее, закладка следов памяти для распознавания родного языка от неродного происходит внутриутробно, а с появлением на свет младенец оказывается адаптированным к окружающей его лингвистической среде. Далее его навыки усвоения родной речи будут совершенствоваться, что говорит об обучении родным языком. При попадании в новую лингвистическую среду, иностранный язык может быть похож по многим аспектам на родной язык или же может быть совсем не похожим. Если языки схожи, то обучение вторым языком происходит немного легче. При сильных различиях между двумя языками, обучение будет происходить сложнее и дольше. Опыт приобретения первого языка возможно влияет на освоение второго. Ведутся многочисленные споры по поводу того, использует ли обработка второго языка совместные механизмы с обработкой первого языка или же происходит по совершенно иному механизму. Чтобы понять, как именно происходит обработка второго языка, ведутся исследования с участием билингвов. Также при приобретении второго языка важно учитывать, способен ли оказывать влияние возраст на возможности обучения. Существует теория о так называемом критическом возрасте, когда обучение вторым языком сильно затруднено и иногда даже невозможно. В подобных исследованиях сравниваются обучающиеся способности более молодого и более старшего поколения, учитываются также длительность обучения, условия среды, мотивация и вовлеченность в процесс. Данные функционально магнитно-резонансной томографии (фМРТ), позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), магнитоэнцефалографии (МЭГ) дают наглядные представления о расположении мест пластических изменений коры мозга, возможность приблизиться к пониманию, где и как происходит обработка слуховых стимулов. На данный момент все эти задачи только решаются, пока нет четких данных о том, как именно происходит восприятие, обработка, тренировка, обучение и пластичность. Понимание процессов освоения родного языка может помочь при нарушениях воспроизведения и понимания речи детей. Изучение процессов приобретения второго языка может дать понять, как происходит обучение, как происходит вызванная им пластичность сенсорной коры, какие именно районы задействованы в обучении и как происходит обработка входящей знакомой и незнакомой информации. Освоение владения родным языком очень важно для ребенка, а в

дальнейшем, и взрослого, тем, что предполагает собой процесс адаптации к окружающим условиям среды. Обученный ребенок или взрослый способен более эффективно функционировать, проявлять свои способности, развиваться. Это увеличивает его шансы на общую приспособленность, функциональность и, в конечном итоге, на выживаемость.

## ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА НЕГАТИВНОСТИ РАССОГЛАССОВАНИЯ

Метод потенциалов связанных с событием (ПСС, на англ. event-related potential) является неинвазивной техникой при изучении когнитивных функций мозга человека. Метод позволяет исследовать ответы мозга, которые были вызваны стимулами. Данный метод широко используется когнитивными исследователями, так как является достаточно интересным видом физиологической активности мозга. При ПСС используется процедура усреднения кривых ЭЭГ, сопровождающих последовательные стимулы. Достаточное повторение стимула вызывает электрическую активность в виде последовательности позитивных и негативных волн, они были записаны в виде ЭЭГ. В результате усреднения не синхронизированная со стимулом фоновая активность удалялась, а тот ответ, который она скрывала, проявлялся. Таким образом, процедура усреднения устраняет фоновый шум. Однако, усреднение потенциалов не всегда необходимо, например, в случаях, когда вызванная активность является достаточно большой (реакция на первый стимул после продолжительной тишины).

Не смотря на некоторые ограничения метода, с его помощью можно получить пространственно-временную картину потока событий, возникающих до и во время стимула в мозге или при выполнении задания. На основе данных вызванных потенциалов можно иметь представление, какие области мозга активированы, когда возникает активация, что в свою очередь, может дать возможность понять процесс переработки информации в мозге человека. Но также важно помнить, что ПСС можно записать, если мозговые явления достаточно синхронизированы и организованы для формирования на черепе электрических полей. В то время как, большая часть мозговой активности не влечет за собой генерацию электрической активности, которая не может быть записана от черепа.

Потенциалы связанные с событиями (ПСС) подразделяют на эндогенные и экзогенные компоненты в зависимости от того, каким источником (из какой среды) они вызваны. Экзогенные компоненты ПСС зависят главным образом от характеристик внешнего стимула, а эндогенные компоненты в большей степени – от намерений и действий субъекта. Экзогенные компоненты могут принудительно вызываться появлением сенсорного стимула и не зависят от меняющихся состояний организма, тем самым они являются относительно стабильными. Главное отличие эндогенных компонентов ПСС это то, что они показывают вариабельность внутреннего состояния и поведения субъекта, часто отсутствует их внешняя стимуляция, и их характеристика только частично зависит

от физических параметров вызывающего их стимула. Негативность рассогласования является компонентом потенциалов связанных с событием (ПСС).

Исследование активности нейронов с использованием электро- и магнитоэнцефалографии (ЭЭГ, МЭГ) представляют собой мониторинг неинвазивных пространственно-временных характеристик мозговых процессов. МЭГ дает точную пространственную локализацию, в отличие от ЭЭГ, которая дает точную временную характеристику, эти два метода взаимно дополняют друг друга, именно поэтому часто их используют совместно именно из-за различий в чувствительности к разным аспектам мозга. Таким образом, негативность рассогласования может регистрироваться и в электрическом и магнитном мозговых ответах. На длинные апикальные дендриты корковых пирамидных нейронов приходят возбуждающие постсинаптические потенциалы, вызывая электрическое поле. Это поле делает кору на ее поверхности относительно отрицательной и относительно положительной у основания (Мицдорф, 1985). Усредненные ответы от всех нейронов могут быть собраны в сигналы ЭЭГ, в усредненных потенциалах связанных с событиями (ПСС). Магнитное поле головного мозга возникает вследствие электрической активности нейронов, измеряемое сверхпроводящим квантовым интерференционным устройством (СКВИД, на англ. SQUID), включенным в настоящие системы магнитоэнцефалографии. Магнитные поля, исходящие от мозга и окружающие голову, слабее, чем те поля, которые генерируются сердцем или скелетной мускулатурой. Следовательно, устройства записи МЭГ должны быть высокочувствительными к слабым магнитным стимулам. Негативность рассогласования можно выявить и в ЭЭГ как потенциалы связанные с событиями, так и в МЭГ, как связанные с событиями поля.

Активность нервной системы может быть измерена также через увеличение скорости мозгового метаболизма и кровотока, сопровождающие увеличение нейрональной активности. Такие изменения лежат в основе работы функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) и позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ). Технологии функциональной МРТ и позитронно-эмиссионной томографии позволяют с высокой точностью локализовать источники нейронной активности в пространстве. Однако, их временное разрешение (несколько секунд) ниже скорости реально протекающих нейронных процессов. Более точную временную информацию позволяют получить МЭГ и ЭЭГ. Среди преимуществ МЭГ следует отметить также, что МЭГ исследование проходит в тихой обстановке, в то время регистрация фМРТ проходит при постоянном шуме аппаратуры. При использовании ПЭТ используются радиоактивные вещества, в других же технологиях они не применяются. МЭГ отличается большей чувствительностью (большое количество сенсоров). Это позволяет производить запись одновременно с разных областей мозга и тем самым достигается более полная картина пространственно-временных паттернов головного мозга.

Феномен негативности рассогласования (англ. Mismatch negativity (MMN)) был открыт финским ученым Ристо Наатаненом (Risto Naatanen) во второй половине XX века. Негативность рассогласования отражается на электроэнцефалограмме как негативный всплеск биоэлектрической активности мозга, возникающий при столкновении организма с

чем-то, что было неожиданно в окружающей среде или тем, что не соответствовало ранее установленному прогнозу. Негативность рассогласования представляет собой разницу волн компонентов предвнимания с латентностью 150-250 мс связанных с событием вызванных потенциалов, которые генерируются как ответ на стандартные и девиантные (неожиданные) стимулы в последовательностях событий. Здесь используется так называемая парадигма необычного стимула (англ. odd-ball), связанная с введением девиантного (отличающегося) стимула.

Ристо Наатанен предположил, что существованию подобного типа ответа можно дать два объяснения. Первое заключается в том, что негативность рассогласования генерируется новыми афферентными элементами, которые в свою очередь имеют отношение скорее к частоте девиантного, нежели к частоте стандартного стимула. Во время предъявления блоков стимулов такие нейроны сохраняют свою реактивность, а нейроны, отвечающие за частоту стандартного стимула, реагируют на два типа частот и из-за этого становятся сильно рефрактерными. Второе объяснение состоит в том, что негативность рассогласования генерируется процессом, регистрирующим различия или изменения в стимуле. То есть в памяти существует модель стимул – стандарт (след памяти). В настоящее время приводится ряд работ, где исследователи придерживаются именно этой интерпретации.

В работах Наатанена и его коллег этот компонент был отделен от волны Н2 на два ответа: с более короткой латенцией – негативность рассогласования (НР) и с более длинной - Н2б, описанной Клинке, Фрусторфером и Финкенцеллером. Волна Н2б вызывалась нечасто или наиболее ранним стимулом, который входил в последовательность соматосенсорных стимулов. Волна НР появляется в ответ на отклонения, или девиацию физических характеристик стимула. Важно отметить, что волна негативности рассогласования может вызываться, когда изменение возникает внутри последовательности стандартных стимулов и не может возникнуть в начале последовательности стимулов или при очень длительном межстимульном интервале (больше 20 с). При очень длительном межстимульном интервале происходит угасание функции следа памяти (нейрональная репрезентация), и она либо генерирует очень маленькую волну НР либо не генерирует ее вообще. НР представляет собой негативность, возникающую примерно через 100 мс от начала стимула и длится около 250 мс после стимула. Считается общепринятым, что негативность рассогласования генерируется автоматически мозговыми структурами, а значит, не зависит от внимания испытуемого на объект. И, следовательно, может генерироваться даже тогда, когда разница между физическими характеристиками стандартного и девиантного стимулами мала, субъект не обязательно может сознательно различать эту разницу.

Негативность рассогласования в слуховой системе появляется при изменении частоты, интенсивности, локализации в пространстве, длительности, а также фонетической структуры стимула.

Интенсивность девиантного стимула может, как уменьшаться, так и увеличиваться. При ослаблении интенсивности стимула возникает любопытная картина. Если девиантный стимул (77 дБ) лишь немного отличается от стандартного (80 дБ), то волна негативности

рассогласования будет небольшой. Если же и дальше продолжать увеличивать разницу между стандартным (80дБ) и девиантными стимулами (77дБ, 70дБ, 57дБ), то волна негативности рассогласования будет постепенно увеличиваться по амплитуде, но до определенного предела. Сильно уменьшенная амплитуда девиантного стимула воспринимается как пропуск стимула. У некоторых испытуемых при таких условиях обнаруживается небольшая волна типа НР, у других испытуемых ее нет.

Когда в качестве девиантного стимула используется стимул с увеличенной интенсивностью (83 дБ, 90 дБ, 95 дБ), то волна негативности рассогласования вызывается вновь. При этом амплитуда ее растет с увеличением интенсивности девиантного стимула. Таким образом, можно сделать вывод, что волна негативности рассогласования появляется на уменьшение и на увеличение интенсивности.

Возникновение волн негативности при изменении временных характеристик стимула были продемонстрированы Наатаненом, Паавилайненом, Рейникайненом. В своей работе они использовали стандартные и девиантные стимулы одинаковые по частоте, но длительность девиантного стимула была в два раза короче стандартного. Они использовали постоянный межстимульный интервал, равный 200 мс, стимулы предъявлялись в случайном порядке, а испытуемый читал книгу. Волна негативности рассогласования отчетливо проявлялась. Волна НР появлялась даже, если длительность стимула была 200 мс. Негативность рассогласования была получена и при увеличении длительности девиантного стимула. Возникновение волны негативности рассогласования при увеличении или уменьшении длительности девиантного стимула были получены также в работах Форда и Хилларда. Следовательно, изменение временных характеристик стимула вызывает волну негативности.

Волна негативности рассогласования появляется также при изменении локализации источника звука в пространстве. Это было продемонстрировано Паавилайнен и др. В данном эксперименте один громкоговоритель располагался прямо перед испытуемым и использовался как стандартный стимул, а в качестве девиантных стимулов использовались громкоговорители, расположенные на 10, 45, 90 градусов правее. Даже при самом малом угловом различии (справа) волна негативности рассогласования была получена достаточно большой.

Негативность рассогласования вызывается при таких сложных изменениях стимула, как изменение фонем. Возникновение фонетической НР было доказано Самсом и др. В своем исследовании они использовали (bae) как стандартный стимул, а девиантный стимул создавался различными значениями (bae)-(dae). Было установлено, что если девиантный стимул разделяет фонетическую категорию со стандартным стимулом, он все равно вызывает волну НР. НР на фонетические различия были значительно большей длительности, чем те НР, которые возникают на изменения простого стимула. Было также сделано замечание, что с увеличением различий стимулов амплитуда НР растет не параллельно.

Негативность рассогласования может быть записана во время сна. На основе данных своих исследований Кэмпбелл, Бэлл и Бастьен предположили, что возможно волна негативности возникает в конце второй стадии медленноволнового сна и во время

быстрого сна во второй половине ночи. Исследователи описали ее как совсем малую по амплитуде и необычно раннюю по появлению. Однако записать НР в начале ночи или во второй половине ночи бывает достаточно сложно, например Паавилайнен с сотрудниками не удалось записать НР у спящего человека.

Интересно влияние веществ на НР. Есть доказательства, что НР усиливается веществами, которые оказывают активирующий эффект на центральную нервную систему, и наоборот, ослабевает под действием веществ, которые вызывают деактивационные эффекты. Например, Борн, Бозер и др. и Борн, Фем-Вольфдорф, Лутценбергер и др. обнаружили, что амплитуда НР увеличивалась под влиянием лизина-вазопрессина, гормона, который усиливает активацию коры и принадлежащего к гипоталамо-гипофизарной системе. Другие гормоны, например, глюкокортикоиды, наоборот снижали чувствительность к стимульным изменениям. Таким образом, можно сделать заключение, что состояние организма оказывает влияние на НР, т.е. усиление кортикальной активности увеличивают, а изменения, направленные на снижение активации, наоборот уменьшают амплитуду НР. Однако если же присутствуют нормальные колебания, то они не могут полностью устранить негативность рассогласования.

Негативность рассогласования связана с более высоким порядком восприятия процессов, лежащих в дискриминации стимула, а не вызвана просто физическими различиями между стандартным и девиантным стимулами ( Наатанен 1993). Если субъекты не могут различить физическую разницу между стимулами, они дадут минимальный MMN или же никакую. Однако, когда эти субъекты научились различать стимулы, их MMN станет надежно вызванной (Kraus et al., 1995; Kujala et al., 2003; Naatanen et al., 1993; Schroger, 1996; Schroger et al., 1994).

Негативность рассогласования применяется при исследовании языка, и в последние годы было накоплено много данных. Они указывают на наличие долгосрочных лингвистических следов памяти, которые влияют на дискриминацию родного языка от неродного, на обучение иностранного языка. Акустическая негативность рассогласования, связанная с обнаружением изменений, имеет двустороннее или праводоминантное распределение (Paavilainen et al., 1991), фонетическая же негативность рассогласования латерализована в левом полушарии (Naatanen et al., 1997), что было показано с использованием МЭГ.

Основные свойства, по которым негативность рассогласования является адекватным инструментом для изучения мозговой основы языка: автоматизм, быстрая обработка входящего стимула, точное изучение индивидуальных речевых стимулов.

Автоматизм означает, что для получения НР необязательно, чтобы субъект сосредотачивал внимание на стимулах, субъект даже может отвлекаться (читать книгу, смотреть немое кино во время проигрывания звуковых стимулов). Обработка информации происходит автоматически и быстро.

Входящий стимул (например, слово) обрабатывается уже в течение первых 200 мс. То есть негативность рассогласования выявляется после 200мс представления физически различного стимула. По современным представлениям все типы лингвистической информации обрабатываются почти одновременно. Лексическая НР генерируется при



130-150 мс, семантическая НР- 140-180 мс, а синтаксическая НР была замечена в нескольких временных интервалах, начиная со 100 мс и расширяющиеся до 200 мс, фонологические показатели НР гласных наблюдались в более широком интервале времени – при 100-200 мс после начала стимула (Dehaene-Lambertz, 1997; Eulitz И Лахири, 2004 год; Naatanen, 2001; Naatanen et al., 1997).

Третье свойство – это то, что негативность рассогласования может обработать различные физические несоответствия между языковыми стимулами. Например, выявляет различия в продолжительности, высоте, длине слова, замене гласной. Такие изменения характеристик стимула ведут к изменчивости ранних ответов мозга.

Основные выводы, которые возникают при исследовании НР – обработка языка является быстрой и различной. Типы информации при этом доступны почти одновременно. Таким образом, НР является ранним нейрофизиологическим индикатором лексической, семантической и синтаксической информации, отражает ранний доступ к хранимым языковым символам. То есть НР указывает на совпадение или несоответствие между стимулом и соответствующему ему символическому следу памяти в мозге. Следы памяти представлены как сильно связанные сети корковых нейронов (клеточные сборки) (Hebb, 1949), нейронные ансамбли (Braitenberg and Schu, z, 1998; Palm, 1982) распределенные функциональные сети (Roland and Gulyas, 1994), нейрокогнитивные сети (Mesulam, 1998), функциональные схемы (Feldman and Narayanan, 2004) или когнитивные функции (Fuster, 2003). Поэтому можно представить, что НР состоит из двух частей: первая отражает автоматическое обнаружение акустической среды (Наатанен, 1990), вторая часть, отражает активацию сети корковых нейронов, которые образуют долгосрочные следы памяти для выученных когнитивных представлений (Наатанен, 2001). Корковые генераторы обнаружения акустических изменений НР имеются в верхне-височной доле, тогда как сети памяти могут быть распределены по различным кортикальным областям (лобная, теменная, затылочная кора). Таким образом, НР состоит из двух субкомпонентов: сенсорно-специфического компонента (верхне-височная доля при слуховом стимуле) и фронтального компонента. Сенсорно-специфический компонент входит в механизм неосознанной детекции отклонения стимула от стандарта, и который в последующем активировать фронтальные механизмы. Предполагают также, что последующая активация в лобной коре говорит о том, что девиантный стимул связан с ориентировочной реакцией и становится осознаваем субъектом. О расположении генераторов НР (левое или правое полушарие) есть много противоречащих данных. При объяснении преобладания НР в правом полушарии, ссылаются на то, что недоминантное полушарие больше вовлекается в выполнение задания, которое требует автоматического процесса переработки информации. Однако позже были получены данные, которые могут дать предположение о том, что разные типы НР (различные свойства звуковых стимулов) генерируются в различных локусах слуховой коры.

Как уже упоминалось, негативность рассогласования не зависит от внимания. Существует несколько подтверждающих доказательств.

Первое, это использование парадигмы необычного стимула (англ. odd-ball), негативность рассогласования вызывается даже при слабых вариациях стимула, когда

испытуемый концентрирует свое внимание на выполнении другого процесса (например, при чтении). В опытах Люутинена в качестве основного задания использовалось решение трудных проблемных задач (матрицы Равена). И волна негативности рассогласования была четко определена. Таким образом, негативность рассогласования вызывается тогда, когда при выполнении основного задания, требующего сосредоточенности, одновременно применяется необычный стимул (odd-ball).

Второе доказательство нечувствительности НР к вниманию были получены в опытах по исследованию влияния межстимульных интервалов (МСИ) к НР. В них независимо от того был ли испытуемый внимателен к стимулам или же игнорировал их, результаты получились почти идентичные. Таким образом, разрушение следа памяти (презентация стимула) в сенсорной слуховой памяти не зависит от внимания. То есть внимание в таких условиях (увеличение межстимульного интервала) не может влиять, а именно улучшать, качество сенсорной информации, содержащейся в этих следах.

Также к доказательствам относят существование НР во сне (не только у человека, но и у животных), эффектами, которые оказывают различные вещества и анестезия.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что вероятно НР дает возможность предсказывать, как протекает сенсорный анализ, запоминание, различение конкретных свойств стимулов и можно предположить, что она станет полезной для диагностики различных заболеваний. Например, может быть использована для тестирования конкретных специфических функций слуха при разных формах его поражения, оценке перцептивных способностей индивида, которые создают основу для звукового различения, необходимого для понимания иностранного языка, восприятия музыки и исполнения музыкального произведения.

Негативность рассогласования может быть полезна для людей с афазическими расстройствами. Если девиантный стимул не вызывает НР, то это может быть растолковано как то, что в слуховой коре нарушены соответствующие функции детектирования специфических признаков. Если же при афазии возникает НР на предъявленный девиантный стимул, то это говорит, что причина афазии не затрагивает нарушения функций запоминания и сравнения, а имеют более центральное происхождение.

Поражения фронтальной коры ведут к ослаблению амплитуды НР, регистрируемой от нее. Такие разрушения могут воздействовать на генератор фронтального субкомпонента НР, который, как предполагают, контролирует направленность внимания. С этим связывают синдром дефицита внимания. Синдром дефицита внимания характеризуется тем, что субъект не может длительно концентрироваться на одном деле, не может задержать ответную реакцию на изменения в окружающей среде для более внимательного анализа этих изменений, постоянной отвлекаемостью на любой внешний раздражитель. Он отмечается у 5-10% школьников и не позволяет нормально адаптироваться в школе и семье, влечет за собой плохую успеваемость, негативные реакции со стороны сверстников и родителей, а в дальнейшем может стать причиной более серьезных антисоциальных проявлений (алкоголизм, наркомания). Именно из-за этих последствий синдром дефицита внимания должен находиться под более пристальным вниманием. Негативность

рассогласования может быть использована для диагностики подобного рода заболеваний. И кроме этого помочь понять, как и почему поражения мозга вызывают ухудшение внимания.

## ГЛАВА 2. ПЛАСТИЧНОСТЬ

Можно предположить, что существуют два типа адаптивных модификаций нейрональных механизмов, активирующихся через сенсорный вход. Первый из них основывается на том, что долговременный нейрональный след формируется на достаточно часто появляющийся стимул. Это, скорее всего, помогает узнавать этот стимул среди большого разнообразия окружающих стимулов, а также детектировать происходящие с ним изменения. Второй же заключается в том, что рецептивные поля нейронов имеют форму, способную реагировать на изменения в окружающей среде. При этом система формирует дифференциальную реактивность в отношении к новым вариантам звуковых стимулов. Это происходит, когда экспозиция стимула продолжается в течение определенного периода времени, например, при погружении в новую лингвистическую среду. Такие нейрональные изменения улучшают дискриминацию стимулов, воздействующих в данных условиях. При появлении адаптивных изменений нейрональной реактивности на новый стимул, нейроны, которые изначально отвечали недифференцированно, начинают показывать кривую острой настройки, которая характеризуется узкой полосой максимальной реакции. Скорее всего, таким способом система звуковой репрезентации приобретает и усиливает свою чувствительность к новым вариантам стимулов. Такой вид пластичности нейрональных механизмов лучше выражен у младенцев, маленьких детей, нежели чем у взрослых.

Формирование новых долговременных следов памяти (репрезентаций стимула) являются функцией доминирующих элементов в системе слуховых воздействий. Динамика системы сенсорной памяти человека обеспечивает адаптивные функции. Такие изменения, скорее всего, имеют большее адаптивное значение для сложных стимулов. Простые же стимулы (чистые звуковые тоны) могут точно кодироваться уже при первом его предъявлении, а его долговременный след может существовать уже потому, что подобные стимулы появляются довольно часто. Можно сделать вывод, что эффекты долговременного обучения лучше проявляют сложные стимулы (частотно-временные паттерны Шпигеля и Ватсона). В этом случае кодирование первого стимула затруднено из-за его сложности, а так же потому, что он не знаком. В этом случае открываются большие возможности для адаптивных динамических изменений. Важно отметить, что большинство звуковых стимулов биологически значимых для организма, относятся к сложным стимулам.

Долговременные эффекты стимулов на генерацию НР были показаны в опыте Наатанена, Шрогера и Паавилайнена. Он состоял из трех этапов, в каждом было предъявление 6 блоков по 200 стимулов в каждом, испытуемые во время его проведения

читали книгу. После каждого этапа проводился тест на дискриминацию. Тест по дискриминации показывал способность испытуемого различать девиантные стимулы. У большинства испытуемых девиантный стимул вызывал НР, иногда на более поздних этапах опыта. В течение проведения опыта амплитуда НР увеличивалась, и НР появлялась раньше. Однако были замечены индивидуальные различия в усилении амплитуды НР. Усиление амплитуды НР возникало у испытуемых, выполняющих задания на различение стимулов, и первоначально оно было плохим, но в ходе опыта улучшалось. А у тех испытуемых, которые изначально выполняли задания на различение хорошо, а, следовательно, имевших небольшую возможность на улучшение различения, амплитуда НР была большой уже в течение первого опыта, латенция же значительно укорачивалась. Развитие эффектов долговременной НР, вероятно, говорит о том, что изначально след, формирующийся в системе, из-за своей сложности, представляет недоработанный, или черновой вариант. А в ходе опыта он совершенствуется. Улучшенный след более точно детектирует сенсорную информацию, в результате система способна более удобно детектировать девиантный стимул относительно фона, который сформирован в виде следа. Из этого можно сделать вывод, что долговременный след от сложного стимула был сформирован постепенно, его формирование зависело от тренировки и представления стимула, след вовлечен в генерацию НР. Эти выводы кажутся противоречивыми тому факту, что НР вызывается только в блоке стимулов с относительно короткими интервалами. Можно допустить, что долговременные следы, вызывающие НР, должны быть достаточно активизированными, перед тем как вызваться девиантным стимулом. И далее, если не существует следа от стимула в начале блока, то должно произойти несколько повторений, перед тем как вызовется НР. Это подтверждается тем фактом, что НР не возникает, если девиантный стимул предъявляется в первой позиции, а при предъявлении в позиции 2 возникает, т.е. некоторый след от стандартного стимула существует уже в позиции 1. Следовательно, вызванный след – это долговременный след, который должен быть активирован прежде, чем он сможет вызвать НР. Важно отметить, что система содержит обширно обработанную сенсорную информацию, которая хранит все изменения стимула, нежели какие –то его устойчивые характеристики.

Также учитывая, что если выбран большой межстимульный интервал, то НР не вызывается и тогда говорят об активации стадии распада следа памяти на сенсорный стимул. Этот факт находит доказательство в высказанном предположении Ковена, что долговременная и кратковременная память устроены иерархически, а кратковременная память – активная часть системы долговременной.

Под пластичностью понимают способность нервной системы изменять свою структуру и функционирование в ответ на разновидность окружающей среды, это означает способность к постоянному изменению. Таким образом, пластичность включает изменения на разных уровнях нервной системы, это молекулярный, генный и поведенческий уровни. А само понятие пластичности включает три понятия: синаптическая пластичность, нейрогенез и функциональная пластичность.

Понятие синаптической пластичности состоит в таком явлении, что когда мы узнаем что –то новое или получаем новый опыт, то между нейронами головного мозга устанавливается связь. То есть какая-либо информация хранится не в какой-то определенной клетке, а во многих, соединенных друг с другом синаптической связью. Синаптическая пластичность означает изменение этого контакта (связь) между клетками. Выделяют несколько форм синаптической пластичности: кратковременные формы, длящиеся секунды и минуты, а также долговременные формы, которые длятся часы, месяцы и годы. Считают, что долговременные формы синаптической пластичности формируются на основе кратковременных форм. Долговременные формы лежат в основе таких когнитивных функций нервной системы, как обучение и память. Явление синаптической пластичности достаточно сложное понятие, затрагивающее практически все молекулярные механизмы, существующие в компартментах клетки. Например, это изменения на постсинаптической мембране, шипиках на постсинаптической клетке, аксонная терминаль. Шипики представляют собой выросты на дендритах и являются местами образования синапсов в постсинаптической части синаптического контакта. Связь между нейронами укрепляется по мере тренировки новых знаний, то есть в результате выполнения одинаковых действий на протяжении определенного периода. Таким образом, мы можем наблюдать заметное улучшение синаптической пластичности.

Нейрогенез обеспечивает пролиферацию новых нейронов. По поводу возможности нейрогенеза среди нервных клеток ведутся многочисленные споры. Но в данный момент установлено, что нейрогенез главным образом происходит в зубчатой извилине гиппокампа, которая имеет важное значение в процессах обучения и памяти, и, возможно, в префронтальной коре головного мозга, а именно в субвентрикулярной зоне мозга передних боковых желудочков, на месте происхождения нейронов обонятельных лукович. Нейрогенез осуществляет клетка, которая называется стволовой, она делится с образованием другой стволовой клетки и клетку, которая дает полноценный нейрон. Затем новые нейроны мигрируют в другие области мозга и тем самым способствуют поддержанию нейрональной пластичности.

Известно, что пожилые люди хуже справляются с когнитивными задачами, нежели молодые. Это связано с уменьшением у них синаптической пластичности. Но есть пожилые люди, которые решают когнитивные задачи наравне с более молодым поколением. Это напрямую связано с функциональной пластичностью. При обработке информации происходит задействование тех же областей мозга, что и у молодых, но с добавлением в обработку информации других областей. Таким образом, происходит активация новых нейронных путей и тем самым происходит активация обоих полушарий головного мозга.

Термин «нейронная пластичность» - такое свойство нейрокогнитивной системы, действующее на многих ее уровнях и сохраняющееся на протяжении всей жизни человека (DeFelipe, 2006 год; Mahncke et al., 2006). Адаптивные изменения, реорганизация структуры и функций могут отражать изменения в нейрохимических системах (связи между нейронами, модели активации мозга), которые имеют важные последствия для психологического развития. Существуют изменения в мозге, которые генетически

детерминированы и не зависят от опыта, тогда как другие являются опытными или зависят от опыта, требующие получения определенного входного сигнала из внешней среды (Greenough et al., 1999).

Нейронная пластичность является важным аспектом обучения. Пластичность, вызванная обучением, отражается в повышении чувствительности нервной системы, усилении связи между нейронами, нейронной специфичности и эффективности. Эта специфика указывает на то, что появляются специализированные области головного мозга или нейронные пути, которые обрабатывают данный тип информации (Patel et al., 1998; Johnsrude, Penhune and Zatorre, 2000).

Как обучение влияет на структуру мозга? Мозг является источником поведения, но в свою очередь он модифицируется тем поведением, которое его производит. Такой интересный динамический цикл между структурой мозга и функцией мозга находится в основе основ познания, обучения и пластичности. То что структура может быть изменена в результате опыта давно является принятым фактом, но доказать это экспериментально достаточно трудно. Связь между анатомией мозга и функцией мозга зависит от размера, конфигурации и расположения отдельных нейронов, количества и типа синаптических связей между нейронами, путей, образуемых ими, а также от свойств глии. Нейрональные изменения в сером веществе включают нейрогенез, синаптогенез и изменения в морфологии нейронов. В белом веществе изменяется число аксонов, диаметр аксона, плотность упаковки волокна, ветвление аксонов и их миелинизация. Изменения глии включают увеличение размера и количества глиальных клеток и ангиогенез. Любые из этих клеточных изменений могут влиять на сигналы МРТ. Данные нейровизуализации с помощью фМРТ показывают, какие существуют структурные различия отдельных людей, в соответствии с функцией, которую они выполняют. Среди самых первых данных нейровизуализации были продемонстрированы более крупные объемы гиппокампа у опытных водителей такси. Гиппокамп очень интересная структура мозга. Считается, что основная функция гиппокампа состоит в формировании памяти. Это многократно подтверждалось в ходе наблюдений за людьми, у которых по тем или иным причинам гиппокамп был подвержен хирургическим вмешательствам. У таких людей, наблюдалась потеря памяти, а именно ретроградная амнезия, при которой пациент не мог запоминать события, произошедшие после проведения операции или других мероприятий, повреждающих гиппокамп. У каждого человека гиппокамп представлен в обоих полушариях, и если он поврежден в одном из полушарий мозга, то второе полушарие может взять на себя функцию запоминания, тогда не так сильно будет нарушена функция памяти. Имеется предположение, что в зубчатой извилине гиппокампа происходит нейрогенез на протяжении всей жизни. Другая не менее важная функция состоит в пространственной ориентации. В гиппокампе существует популяция нейронов, как их сейчас называют нейроны места, которые чувствительны к определенным пространственным местам. Очевидно, что большие объемы гиппокампа представляют собой корреляцию от опыта и пластичности структуры, которая участвует в пространственной навигации. Так у музыкантов был выявлен больший объем серого вещества и толщина коры в слуховой сенсорной коре. Как правило такой эффект

возрастает в зависимости от того, сколько лет потратил музыкант на практику (опыт), что снова поддерживает корреляцию от опыта. Однако эти исследования не могут точно сказать, является ли анатомические эффекты причиной или следствием умения (знания), отличающего группы. То есть не всегда ясно, должны ли тренировки или способности ассоциироваться с увеличением или уменьшением соответствующих областей мозга. Взаимосвязь между анатомическим изменением и функцией является достаточно сложным вопросом.

Существуют данные по опыт-зависимым изменениям в сером и белом веществах головного мозга человека. Например, группа лиц училась жонглировать в течение 3-месяцев, а заметные изменения в их физических навыках в этом деле были очевидны уже после 7 дней обучения. Обучение жонглированию приводит к увеличению концентрации серого вещества в затылочно-теменной области, вовлеченного в координацию, достижения и хватания. Но также были выявлены изменения в организации основных путей белого вещества. Аналогично, существуют данные по выполнению сложной задачи, такой как балансировка всего тела, уже после 2-х дней тренировки произошло увеличение количества белого вещества в лобной и теменной коре, а изменения белого вещества в соответствующих областях после 6 полных недель тренировки. Балансировка всего тела и жонглирование – это сложные двигательные навыки, связанные с процедурным обучением, другие исследования свидетельствуют о том, что чисто когнитивные задачи (рабочая память) также приводят к измеримым изменениям в структуре мозга. Можно сделать вывод, что любые аспекты обучающего опыта будут влечь за собой наблюдаемые структурные изменения в мозге. Ранее существовавшие анатомические функции могут влиять на скорость обучения, но все - таки, вопрос о том, как тренировка может влиять на исходное анатомическое состояние, остается до сих пор открытым.

### ГЛАВА 3. ПЛАСТИЧНОСТЬ ПРИ РАСПОЗНАНИИ РЕЧИ

Основы родного языка устанавливаются в младенчестве и могут наблюдаться задолго до появления разговорной речи. Это говорит о том, что в головном мозге образуются карты или следы акустической памяти, являющиеся долговременными. Развивающийся мозг строит акустические карты звуков родного языка, это позволяет ребенку быстро реагировать на входящий язык и распознавать его. Поэтому важной задачей младенчества является создание и настройка карт акустической памяти для более эффективной обработки родного языка. Процесс автоматического реагирования на родной язык полностью зависит от текущей нейронной пластичности, а также от чувствительности к экологическим сигналам. Известно, что критическим периодом для оптимизации акустических карт человеческих языков, является первый год жизни. Однако на данный момент процессы пластичности у младенцев не до конца понятны, но исследования на животных показывают, что развивающаяся кора детенышей животных является сильно пластичной с опытом. Для младенцев выборочное представление фонематической

структуры родного языка является основанной на пластичности (Kuhl Et al., 1992) и облегчает построение акустических карт.

Обучение является основой адаптивного и интеллектуального поведения и основывается на пластических изменениях в нервных узлах. Обучение имеет очень важное значение в младенческий период. Во время слухового обучения происходит формирование и укрепление нейронной долгосрочной памяти, совершенствование навыков дискриминации, а именно формирование предпосылок для восприятия и понимания речи. Во время эмбрионального развития мозг подвергается экстенсивному развитию, изменяется по мере формирования новых синапсов, при этом аксональные связи между нейронами миелинизированы, что в свою очередь облегчает распознавание и анализ сложной информации. Слуховая сенсорная система управляется внешним вводом, то есть происходит быстрая реорганизация слуховой коры по входящему внешнему стимулу сразу же после прослушивания. Эти пластические изменения в нервных узлах в раннем развитии показывают, что у людей есть способность к обучению еще до рождения. Но в этот период эта способность основывается на дискриминации низших звуков, проникающих через стенки матки. Такой низкий уровень информации способен сыграть важную роль в ранней дискриминации речи новорожденных. Предыдущие поведенческие исследования показывают, что таким образом плоды становятся настроенными на различные особенности слуховой окружающей среды, в которую в дальнейшем они должны попасть (родной язык матери, голос матери, знакомые мелодии). Также плоды по-разному реагируют на родные и неродные гласные, знакомые или незнакомые мелодические контуры, различают разные гласные родного языка. Такая тонкая настройка слуховой обработки и дискриминации предполагает образование следов памяти в слуховой коре в результате обучения плода. Следовательно, следы слуховой памяти являются предпосылкой эффективного распознавания, категоризации и понимания речи. Если следы слуховой памяти формируются с помощью прохода звуков через матку, то после рождения это должно быть отражено изменениями электрической активности головного мозга, а именно, появлением и улучшением отклика несоответствия на звуковые изменения (MMR- детская аналогия ко взрослому MMN, представляет автоматическую систему обнаружения изменений мозга, вызвана каким-либо различием учебного материала и косвенно отражает нейронные представления усвоенных стандартных стимулов, например, таких как речь родного языка).

Eino Partanen, Teija Kujala, Risto Näätänen, Auli Liitola, Anke Sambeth and Minna Huotilainen исследовали пренатальное образование следов памяти, сравнивая нейронную динамику MMR новорожденных, которые были или не были подвергнуты эмбриональному обучению. Они использовали воздействие трехсложного псевдослова «татата» и двух нечасто представленных изменения: смена гласных «татота» в среднем слоге или изменения высоты тона «татата» с модификациями тона. В результате опыта были получены следующие результаты. Наблюдались более статистически значимые MMR при изменении гласной у младенцев, подвергшихся воздействию данных стимулов на стадии плода. Также реакция на изменения высоты звука была сильнее у младенцев, которые слышали эти изменения внутриутробно, нежели у тех младенцев контрольной



группы, которые не подвергались воздействию. И были аналогично получены статистически значимые MMR к длительности и интенсивности гласных в экспериментальной, но не в контрольной группе.

Эти данные подтверждают развитие нейронной приверженности у плодов, которые систематически подвергались воздействию выбранной речи во время эмбрионального периода. Также данные отражают реальные эффекты обучения и развивающиеся в мозге плода следы слуховой памяти. Эти результаты указывают на то, что слуховой опыт во время эмбрионального периода может вызвать изменения в нервной обработке и поэтому имеет несколько важных последствий. Во-первых, это означает, что формирование центральной слуховой нервной системы начинается до рождения, а повторное воздействие определенных типов звуков влечет за собой развитие следов памяти на эти звуки. Следовательно, слуховая речь до рождения может иметь положительные последствия на дальнейшие способности человека воспринимать речь и в приобретении языка. Также нужно принять во внимание воздействие экологического фактора на восприятие речи. Мозг плода очень уязвим для вредных акустических эффектов. Шумная среда может нарушить нервные процессы, лежащие в основе восприятия речи, за счет уменьшения чувствительности нервной системы к речи, что далее повлечет за собой нарушения в восприятии речи и обучении.

Существует несколько теорий, объясняющих различные нейронные механизмы, которые способствуют образованию долговременных следов памяти в головном мозге плода. Первая теория заключается в том, что пренатальная стимуляция разрабатывает более эффективные нейронные сети для обработки изменений после рождения, что отражается как усиление нейронной активации MMR после рождения; и вторая теория - пренатальная стимуляция может приучить к более эффективному обнаружению изменений после рождения, тем самым облегчая ее.

Есть много поведенческих данных, которые показывают, что новорожденные по-разному реагируют на звуки, которые отличаются от тех, что были представлены плоду. Работы Eino Partanen, Teija Kujala демонстрируют речевое эмбриональное обучение слуховыми раздражителями. Ранее обученные плоды продемонстрировали повышенную активность мозга (реакции несоответствия) в ответ на изменения вариантов тона после рождения. Также заметна существенная зависимость между количеством пренатального воздействия и активности головного мозга. Эффект обучения распространялся на другие типы сходных речевых звуков, которые не были включены в данный учебный материал.

April A. Benasich, Naseem A., Choudhury, Teresa Realpe-Bonilla, and Cynthia P. Roesler изучали пластичность в развивающемся мозге человека, появление карт акустической памяти. В своем исследовании они продемонстрировали, что активные и пассивные акустические неязыковые тренировки в критический период развития от 4 до 7 месяцев воздействуют на акустическую обработку. Ими было отмечено также, что активный опыт, привлекающий внимание, придает значительное преимущество, которое приносит изменения в морфологию, амплитуду и латентность мозговых волн, являющимися зачатками акустического картирования. Следовательно, внимание и бдительность даже в

таким раннем возрасте могут дать преимущество. Младенцы с ранним акустическим опытом показали большую амплитуду MMR, что является маркером для представительства стимула в слуховой сенсорной памяти. Так как в данной работе исследователи использовали неязыковые акустические сигналы (опыт), они фокусировали внимание ребенка на лингвистическом. Можно предположить, что такие сигналы способны облегчить нейронную пластичность в ранний период развития. Для детей, подвергшихся опыту, были показаны более быстрые и более точные ответы к знакомым и к новым стимулам, по сравнению с детьми, не подвергшимся акустическому опыту (наивные). Таким образом, активная экспозиция в раннем младенчестве дает значительные преимущества в области акустической обработки. Такой опыт способствует нейронной пластичности, более эффективной акустической обработке в течение периода развития, когда происходит формирование акустических карт. Исследование нейронных механизмов, зависимых от опыта и лежащих в основе акустического картирования, дает возможность идентифицировать и охарактеризовать самые ранние биологические маркеры языковой обработки. А точное нахождение пластичности при акустическом картировании поможет найти новые методы для улучшения и профилактики языковых расстройств у младенцев.

Интерес у исследователей в обработке речи привлекают билингвы. Билингвизм, или двуязычие – это способность объясняться на двух языках. Двуязычные дети не отличаются возрастом, в котором они достигают критического развития языка (Pearson and Fernández, 1994; Petitto et al., 2001; Werker et al., 2009). Также они отображают зависимость от каждого языка, тогда как одноязычные показывают предпочтение только к родному языку (Byers-Heinlein et al., 2010), а раннее воздействие второго языка поддерживает, или активизирует чувствительность к фонетическим контрастам (Conboy and Kuhl, 2011; Kul et al., 2003). Двуязычные дети также способны выучить две новых грамматических структуры сразу, в то же время их одноязычные сверстники не способны (Kovacs and Mehler, 2009). Отсюда предполагают, что дети, выросшие в двуязычной среде, могут иметь разные стратегии обработки устной речи, которая ведет к дискриминации языка.

Фонотактические правила и границы слов в разных языках различаются. Поэтому слушатель должен быстро адаптироваться к изменениям языка. Учитывая этот факт, проводились исследования двуязычных и одноязычных взрослых и детей. Данные (Kuipers and Thierry, 2010) показали, что двуязычные взрослые обнаруживают изменения в языке быстрее, чем их одноязычные сверстники. В этом исследовании участвовали уэльско-английские двуязычные взрослые, у которых наблюдалось значительное увеличение амплитуд потенциалов связанных с событием приблизительно после 200 мс после стимула при неожиданной смене языка ( слова валлийского языка иногда слышались в потоке английских слов), у одноязычных такого не наблюдалось. Это говорит о том, что двуязычные пересматривают входящие слова, когда они сталкиваются с изменением языка.

Предполагают, что такой механизм обнаружения изменений языка существует уже на ранних этапах жизни. Для того, чтобы понять так ли это, в исследовании принимают участие дети билингвы и одноязычные. Jan Rouke Kuipers, Guillaume Thierry(2012)

двуязычные взрослые также показывали более быстрое обнаружение переключения языков, чем их одноязычные сверстники. Данные дали такие выводы: механизм обнаружения изменений языка у двуязычных отсутствует у одноязычных. Этот механизм работает в течение первых 300 мс после изменения языка. Механизмы обновления (поздняя переоценка), которые наблюдаются у двуязычных взрослых, видимо отсутствуют у двуязычных детей младшего возраста. Предполагают, что процесс осознанного мониторинга языка развивается позже, поэтому дети менее осведомлены о языке, на котором разговаривают, хотя автоматическая адаптация на изменение языка все – таки происходит.

В исследовании Jan Rouke Kuipers, Guillaume Thierry, 2011, было также сделано интересное наблюдение. У двуязычных взрослых в ответ на неожиданное появление уэльских слов среди английского языка ( уэльский язык – девиантный стимул, английский язык – стандартный стимул) наблюдалась увеличенная амплитуда P600, у двуязычных детей не наблюдалось. P600 это компонент ПСС, который отвечает за то, что к обработке информации привлечено внимание. Таким образом, двуязычные дети сознательно не оценивали тот факт, что язык неожиданно поменялся. Хотя двуязычные дети способны быстро воспринимать переключение языка, чем взрослые двуязычные, после они меньше осознают изменения в языке. Следовательно, осознание изменения языка развивается позднее в более старшем возрасте. Даже не смотря на то, что двуязычные дети быстро адаптируются к изменению языкового фонологического ввода, они менее осведомлены о языке, на котором разговаривают, нежели двуязычные взрослые.

#### ГЛАВА 4. ПЛАСТИЧНОСТЬ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СВОЕГО ЯЗЫКА И ИНОСТРАННОГО

Процесс обучения сам по себе является сложным, так как он требует времени и усилий. Обучение можно рассматривать как дифференциальную схему активации. Например, когда производительность является более специализированной и высокоэффективной, необходимы только те механизмы, которые нужны для возникновения производительности. В начале обучения требуется внимание для решения тех или иных задач. По мере же обучения, обработка информации становится все более автоматической и специализированной в определенных областях мозга. Такая гипотетическая схема обучения является несколько упрощенной, но может помочь объяснить некоторые важные аспекты обучения и обработки информации. При обучении, например, языка необходимо учитывать мотивационные факторы, возраст, индивидуальные различия, а также уровень владения первым и вторым языком.

При обучении языка важно также учитывать такой фактор как социальное взаимодействие. Социальное взаимодействие является важным фактором пластичности нервной системы в изучении языка. Интересное исследование провела группа Kuhl, Tsao and Liu, 2003. Они обучали 9-ти месячных американских младенцев контрастной китайской речи. Этот возраст был выбран не случайно, так как он считается

приверженным к фонологии первого языка и снижением нейрональной пластичности ко второму языку. Результаты исследования показали, что американские дети, проживавшие в социальном взаимодействии с носителями китайского языка (чтение им китайских книг, слышание китайской речи, игры в игрушки), продемонстрировали лучшие результаты в дискриминации китайского фонетического контраста, чем те младенцы, у которых не было китайского воздействия. Данные результаты показывают тесную связь между языковым развитием, когнитивным развитием и социальным взаимодействием. Следовательно, для процесса обучения необходимо подобрать надлежащие условия окружающей среды.

Существует два подхода в исследовании освоения родного и неродного языка. Это поведенческий подход, предназначенный для получения явных ответов, таких как идентификация, дискриминация, рейтинги подобию стимулов, рейтинги доброкачественности, рейтинги разборчивости и другие критерии. Однако такой подход не отвечает на вопросы о нейронной пластичности относительно изменений во временной динамике обработки речи и функциональной нейроанатомии языкового представления мозга человека. На эти вопросы отвечает нейрофизиологический подход. Регистрируются стимулы, известные как потенциалы связанные с событиями (ПСС), один из компонентов которых называется ответ несоответствия (отрицательность соответствия) или негативность рассогласования. Негативность рассогласования является хорошим маркером нейронной чувствительности, а так же соответствует точности поведенческой дискриминации.

Нейрофизиологический подход помогает понять многие вопросы, например, когда младенец может автоматически дифференцировать речевые контрасты родного языка, когда проявляют меньшую чувствительность к неродственному языку, как ранняя дискриминация предсказывает дальнейшее обучение языков.

В нашем активно развивающемся мире изучение второго языка становится социально-экономической необходимостью, и следовательно, является обязательным предметом в большинстве стран мира (около 81% из 119 проанализированных стран). Существует три основных элемента в освоении вторым языком: фонология (восприятие и произношение), семантика (смысл слов) и синтаксис (структура языка). Синтаксис и фонология являются особенно трудными для изучающих второй язык, считается, что семантика более проста в освоении.

Наша слуховая система способна обрабатывать язык, даже, несмотря на большую акустическую изменчивость в динамике, акценте, скорости речи и эмоциональном эффекте. Все же все сталкиваются в обработке незнакомых языков. Создается впечатление, что иностранная речь быстра, запутана и неразличима. Это так называемый «синдром иностранного слушания», который подтверждался в исследованиях (Mehler et al., 1994, Pallier, Christophe and Mehler, 1997). Взрослые не так хорошо выявляют и распознают многие неродственные высказывания по сравнению с родной речью. Это связано с тем, что перцептивная склонность к родному языку происходит от языкового воздействия с самого детства. Признается также, что язык, приобретенный в детстве, представлен в головном мозге для восприятия речи, как ассимилятор для восприятия речевых звуков в целом.

Изучение языка - это та степень, в которой человеческий мозг имеет способность меняться в результате обучения. В изучении языков доминирует гипотеза «критического периода», которая постулирует о том, что способность к обучению языку снижается после полового созревания, поскольку снижается нейронная пластичность мозга (Lenneberg, 1967). Взрослые находятся за критическим периодом, являющимся наиболее чувствительным к изучению языка. Однако в существующих современных теориях утверждается, что на освоение нового языка влияет лингвистический опыт, а не биологические ограничения (такие как возраст) (Best, 1995; Flege, 1995 год; Куль, 2000 год; Эрнандес, Ли и Маквинни, 2005). Второй язык может совместно использовать с первым языком ту же нейронную систему или же включает другую специализированную нейронную систему в зависимости от возраста обучаемого и уровня владения языком (Kim et al., 1997; Perani et al., 1998; Xue et al., 2004, Эрнандес и Ли, 2007).

В проблеме пластичности мозга во взрослом состоянии отведена роль и характер опыта в восприятии изменения речи. Хотя восприятие неродной речи и остается существенно ниже, раннее языковое воздействие все же не приводит к полной потери чувствительности к неродным различиям. Поведенческие данные показывают успех в обучении, как повышение точности и эффективности категоризации, перевод обучения на нетренированные стимулы, долгосрочное сохранение улучшений. Успехи и неудачи тренировочных методов могут дать лучшее понимание механизмов, лежащих в нейронной пластичности.

В обработке первого языка используют два основных компонента вызванных потенциалов, которые связаны с грамматической обработкой: P600 и левая передняя отрицательность (LAN). Компонент P600 был найден в ответ на обработку ошибок в морфологической и синтаксической информации у носителей языка. Компонент вызывался в чрезвычайно гетерогенных условиях. На данный момент полагают, что появление этого компонента говорит о более поздней стадии анализа информации, однако его точная функциональная интерпретация остается обсуждаемой. Но существует достаточно сильная корреляция между появлением компонента P600 и грамматических нарушений.

Есть любопытные данные по обучению японскому языку для улучшения изучения английского языка. Данный контраст языков является классическим примером речевого исследования, в котором используется фонетическая дискриминация. Ранние исследования не дали значимых результатов, например, работы Strange и Диттман (Dittmann, 1984. Далее была улучшена методология эксперимента путем введения высокой изменчивости стимулов (Pisoni and Lively, 1995). В работах (Bradlow et al., 1999; Takagi, 2002) интенсивное краткосрочное обучение дало небольшие, но статистически значимые изменения, еще большие изменения дал более длительный период обучения. Чтобы взрослые могли изучать неродные фонетические контрасты, нервная система должна обойти сильную нейронную приверженность к родному языку (англ. Native Language Neural Commitment, NLNC), которая препятствует точной фонетической категоризации второго языка. Данная система снижает чувствительность нервной системы, а, следовательно, и эффективность обработки неродного языка. Была разработана

программа тренировки, которая включала усиление сигнала и видимые артикуляционные сигналы. В результате тренировки было показано улучшение идентификации более чем на 20%, обучение привело к заметному усилению нейронной чувствительности различения к r-1 английского языка в левом полушарии. Повышенная чувствительность нерва измеряется путем увеличения негативности рассогласования. Результаты исследования свидетельствуют о том, что нейрональная чувствительность является хорошим предсказателем для фонетического обучения во взрослой жизни, при этом учитывая лингвистический опыт и нейронную пластичность.

В исследованиях при обучении мандариновых тонов английских говорящих были сделаны интересные выводы о пластичности нервной системы. Приобретение мандаринового китайского тона было рассмотрено в сравнении активации коры во время идентификации тона до и после 2-х недельного обучения. Результаты показывают, что улучшение связано с увеличением активации в левой верхней временной извилине (область Бродмана 22), а также появление дополнительной активности в смежных регионах (левая верхняя временная извилина, или область Бродмана 42, а также первый нижний лобный участок, или область Бродмана 44). Эти результаты наглядно показывают, что изучение второго языка предполагает расширение существующих языковых областей, а также набор дополнительных корковых областей. Это говорит о пластичности взрослого человеческого мозга в приобретении тона мандарин. Данные дают представление о возможности прогрессивных корковых изменениях при повышении квалификации (тренировки), предполагается, что корковые представления в свою очередь могут непрерывно формироваться в течение жизни (ван Туреннаут, Эльмор и Мартин, 2000 год).

Учитывая тот факт, что существует критический возраст у детей, во время которого, считают, что процессы пластичности, а, следовательно, и обучения, имеют худшие возможности, Ван и Кюль (Wang and Kuhl, 2003) рассмотрели изучение мандаринового тона американскими детьми в возрасте от 6-ти до 14-ти лет. Результаты показали значительное улучшение после обучения, которое менялось по возрастным группам. Было также сделано сравнение групп предпубертатного периода и послепубертатного периода. В результате сравнения не было обнаружено резкого снижения степени улучшения, которое предсказывается гипотезой критического периода. Эти результаты подтверждают еще раз то, что языковое обучение не является строго ограниченным критическим периодом.

Споры о роли фонетического обучения при приобретении языка имеют важное значение для понимания механизмов речи. Были предложены различные теории, которые учитывали связь между фонетическим восприятием и изучением языка. По мнению многих исследователей, эта связь в основном базируется не на фонетических знаниях, а на слуховых механизмах. Например, данные исследований Висто, Крэнфорд и Скаддер, 1996; Таллал Et al., 1998; Бенасич и Таллал, 2002 год; Ulla et al., 2004; Benasich et al., 2006) говорят о важности быстрой обработки быстрых речевых и неречевых стимулов. Возможность быстрой обработки аудиовизуальной информации прогнозирует дальнейшее развитие языка, а также грамотность, задержку и нарушение языка. Несмотря на

дискуссии, поведенческие и нейрофизиологические данные демонстрируют ключевую роль фонетического восприятия в изучении языка.

Существуют исследования, доказывающие сильную связь между фонетическим обучением и приобретением первого языка. Например, такие исследования (Kuhl et al., 2001; Веркер и Тис, 2005; Kuhl et al., 2006) в области развития зафиксировали четкое восприятие перехода от «общего языка» к «частному языку» в первый год жизни. Они выяснили, что до 6-8 месяцев младенцы способны различить все фонетические контрасты, на 12 месяце младенцы уже показывают увеличение чувствительности к дискриминации родных фонем и снижение чувствительности к неродственным фонемам. Эти данные позволяют сделать вывод о том, что такая ранняя перцепционная чувствительная реорганизация отражает процесс нейронной приверженности к первому языку и далее идет постепенное снижение нейронной пластичности вплоть до приобретения второго языка.

Исследования April A. Benasich, Naseem A. Choudhury, Teresa Realpe-Bonilla, and Cynthia P. Roesler (2014) и (Benasich and Tallal, 2002; Benasich et al., 2006; Чоудхури и Бенасич, 2011 год) исследуют влияние опыта (неязыковые акустические сигналы) на языковую обработку речи. Они показали, что младенческие неязыковые способности обработки звука обеспечивают развитие языка.

Также существуют исследования о том, как ранняя дискриминация звуков родной речи у младенцев влияет на их дальнейшие освоения родного языка. Данные исследований (Цао, Лю и Кул, 2004; Kuhl et al., 2005; Kuhl et al., 2006) показали, что те младенцы, которые показали лучшую нативную дискриминацию в возрасте 7 месяцев, далее улучшили свои языковые навыки, а те младенцы, что продемонстрировали низкую дискриминацию родной речи, в дальнейшем имели более низкие языковые способности в развитии первого языка. По этим данным можно сделать важный вывод. Во-первых, ранняя дискриминация младенцев родного языка действительно оказывает влияние на дальнейшее приобретение языка. А во-вторых, если эта дискриминация в раннем возрасте оказывается успешной, то она положительно влияет и на дальнейшую дискриминацию родного языка.

Данные (Висто, Крэнфорд и Скаддер, 1996; Таллал Et al., 1998; Бенасич и Таллал, 2002 год; Ulla et al., 2004; Benasich et al., 2006) показывают, что возможность быстрой аудиовизуальной или визуальной информации в раннем младенчестве высоко прогнозирует дальнейшее развитие языка (грамотность, задержка и нарушение языка). Однако (Rosen, 2003) не выявил связи между тяжестью слухового дефицита и языка. Таким образом, наличие корреляции между дефицитом речи и невмешательством и между фонетическим восприятием и развитием языка не должны быть интерпретированы как причинные или исключаящие факторы в когнитивном созревании. Несмотря на дискуссии, поведенческие и нейрофизиологические данные демонстрируют ключевую роль фонетического восприятия в изучении языка.

Также в ходе исследований были выявлены такие группы детей, которые отличались большей чувствительностью не к родному языку, а, наоборот, к неродному. Такие результаты кажутся парадоксальными. У этих детей был показан неродной фонетический

контраст. Они были более чувствительны к неродному фонетическому контрасту, чем к родному. Следовательно, они хуже воспринимали родной им язык.

Таким образом, ранняя высокая чувствительность младенцев в дискриминации родной фонетики, является своеобразным предсказателем более поздних языковых навыков до 3-х летнего возраста. Ранняя высокая фонетическая дискриминация может предсказать то, каким будет уровень языка. Это подтверждают данные (Molfese and Molfese, 1985; Molfese and Molfese, 1997; Molfese, 2000 год; Kuhl et al., 2004). Molfese и коллеги показали, что ранние значения потенциалов связанных с событиями, которые показывают фонетическое восприятие, могут предсказать примерно с 80% точностью классификацию высоко - и низкоуровневого восприятия языка у детей в возрасте от 3 до 8 лет.

Любопытно, что на приобретение родного языка младенцами и на их положительное обучение языку также влияет и речь матери. Если мать разговаривает достаточно четко со своим ребенком, то процессы раннего распознавания у него будут лучше, следовательно, это влияет на успешный процесс приобретения родного языка. Имеется ли тесная связь между этими процессами дали недавние исследования Liu, Kuhl and Tsao, 2003. Они отметили, что ясность речи матери измеряется по степени акустического расширения гласной в пространстве, что значительно коррелирует с фонетическим обучением.

Психофизиологические данные дают доказательства существования в слуховой сенсорной коре следов памяти, которые формируются в раннем возрасте и присутствуют у взрослых. Исследования (Naatanen et al., 1997 год; Cheour et al., 1998; Rivera-Gaxiola et al., 2005) не только показывают существование следов акустической памяти для языковых фонем у взрослых слушателей, но также дают понимание, что они появляются у младенцев в возрасте до 12 месяцев.

С помощью исследований по нейровизуализации мозга можно дать наглядную информацию о вовлечении полушарий и локализации коры головного мозга в когнитивные процессы. Существует теория, что процесс обнаружения акустического изменения находится в обоих полушариях, то есть имеет двустороннюю активацию, а специфическая обработка фонем локализуется в левой слуховой коре. В соответствии с этой теорией, эффекты фонетического обучения будут более выражены в левом полушарии, нежели в правом полушарии. На данный момент есть много данных о преобладании восприятия родной речи в левом полушарии, есть также данные, которые показывают большие индивидуальные различия и двустороннюю активацию полушарий. Например, данные Zhang et al., 2005 показывают двустороннюю активацию для обработки собственной речевой информации. А данные Dehaene-Lambertz, Dehaene and Hertz-Pannier, 2002; Pena et al., 2003 показывают доминирование левого полушария при обработке речи, как у младенцев, так и у взрослых.

Некоторые данные ПЭТ и фМРТ показывают, что левая слуховая кора участвует в распознавании быстро меняющихся широкополосных стимулов, включающих речь. А правая слуховая кора головного мозга специализируется на обработке более медленных узкополосных стимулов, например таких, как тона (Заторре и Белин, 2001). Однако эта теория не дает никаких точных прогнозов относительно корковой обработки родного и неродного языков, обработки при изменении языков.



Существующая литература не дает точного ответа на тот факт, что подразумевают ли разные языки расположение в различных областях мозга. Многие исследования сообщают перекрытие областей мозга при обработке двух языков (Klein et al., 1995; Illes et al., 1999; Chee et al., 2000; Эрнандес, Мартинес и Коннерт, 2000). Возможно, это связано с тем, что некоторые языки похожи друг на друга по фонологической форме и синтаксической структуре. Другие исследования предполагают различные механизмы мозга, которые поддерживают различные языки (Kim et al., 1997; Perani et al., 1998). Например, различные нейронные представления наблюдаются при распознавании английского и китайского языков. Отчасти это связано с лингвистическими особенностями тонов мандарина. Большие расхождения данных требуют надежного экспериментального контроля, достаточных количеств образцов данных с малой изменчивостью внутри группы. Все эти условия дадут возможность будущим исследованиям разобраться в более глубоком понимании различных механизмов разных языков.

На изучение второго языка оказывает влияние успешность освоения родного языка. В свою очередь, повышение уровня владения вторым языком приводит к формированию функциональных лексических представлений, что приводит к изменениям в низкоуровневой фонетической обработке. Такие выводы были получены исследованиями Arthur G. Samuel Ram Frost, 2016. С этой точки зрения можно предположить, что повышение уровня владения неродным языком – это развитие лексических представлений, которые способны взаимодействовать как с более низкими фонетическими представлениями, так и более высокими, например, концептуальными уровнями, тем самым можно сказать, что уровень владения является функциональным механизмом. Ранняя литература показала, что подобный вид лексического взаимодействия отделен от простого накопления знаний о слове (например, Dumay & Gaskell, 2007; Gaskell & Dumay, 2003; Leach & Samuel, 2007). Результаты подтверждают тот факт, что важным аспектом владения языком является разработка функциональных лексических представлений.

Учитывая тот факт, что когда взрослые начинают изучать второй язык, у них уже имеется установленная система первого языка. В зависимости от того, насколько существенно сходство между двумя языками, первый язык может служить полезной основой для начала изучения второго языка, например, через общую фонологическую, лексическую семантику или через грамматические формы. Однако могут существовать трудности в приобретении второго языка из-за того, что системы двух языков несхожи. Структуры, которых нет в первом языке, могут быть приобретены со вторым языком хоть и более медленно. Хотя точно остается неясным влияет ли первый язык на обучение вторым языком. В исследовании Erin Jacquelyn White, Fred Genesee, Karsten Steinhauer предоставляются результаты 9-ти недельного исследования, в котором изучались нейрокогнитивные изменения, связанные с приобретением второго языка у взрослых. Эти взрослые проходили интенсивный курс английского языка как второго. Авторы пытались выяснить, как первый язык влияет на нейрокогнитивные механизмы, лежащие в основе обработки второго языка. Из этого исследования получились интересные выводы. В начале изучения английского языка отсутствовали эффекты P600, они возникали позже по мере интенсивного воздействия второго языка на корейских и китайских учащихся,

независимо от различий первого и второго языков. Компонент ПСС Р600 ассоциирован с грамматической обработкой у носителей языка. Это положительная волна, которая является максимальной приблизительно после 600 мс начала критического стимула (слова в предложении). Считается, что компонент Р600 является контролируемым и управляемым вниманием на относительно позднем этапе обработки. Если у изучающих второй язык появляется Р600, то полагают, что грамматические знания второго языка были включены в систему обработки, и они участвуют в тех же нейрокогнитивных процессах, что и первый язык. В данном исследовании все участники показали Р600, но его латентность была различной у китайских и корейских учеников. Латентность наблюдалась позже у китайских учеников по сравнению с корейскими учениками. То есть компонент Р600 можно выявить при обработке грамматических признаков второго языка, которые появляются позже по мере обучения и не существуют в первом языке – китайские ученики. В корейском языке существуют схожие грамматические основы, поэтому компонент Р600 также появлялся и совершенствовался по мере прохождения обучения. Компонент Р600 говорит о том, что мастерство освоения второго языка улучшается. А корейские и китайские ученики включали грамматические правила второго языка в свои системы обработки. Таким образом, существует корреляция между значениями амплитуды Р600 и грамматической чувствительностью второго языка. Результаты показывают, что существуют различия между людьми в отношении владения грамматическими структурами, а также различия в использовании нейрокогнитивных механизмов для обработки грамматических структур.

Пока точно остается неясным, каковы основные механизмы, лежащие в основе распознавания слов на втором языке, и в какой степени они совпадают с механизмами распознавания слов в первом языке. Одним из возможных вариантов предполагают, что механизмы в основном одни и те же, а слова второго языка объединены в единый набор лексических представлений с первым языком, это говорит о том, что слова из двух языков хранятся вместе. То есть между родным и неродным словом устанавливаются ассоциации. Существует множество поведенческих доказательств этой теории, например, Beauvillain & Грейнджер, 1987 ; Brysbaert, Ван Дейк, и Ван де Poel, 1999 ; де Гроот, Delmaar, и Lupker, 2000 ; Дейкстр, Грейнджер, и ван Heuven, 1999 ; Дейкстр, ван Heuven, и Грейнджер, 1998 ; Дейкстр, Timmermans, и Schriefers, 2000 ; Дайер, 1973 ; Guttentag, Haith, Гудман, & Nauch, 1984 ; Lemhöfer и др. , 2008 ; Nas, 1983 ). Однако также существуют противоречащие данные, они говорят о том, что существует механизм-переключатель, а слова разных языков хранятся друг от друга отдельно, а входящий сенсорный стимул направлен к соответствующему слову в зависимости от контекста. Исследования Katherine J. Midgley, Phillip J. Holcomb, and Jonathan Grainger, 2009, показали следующие результаты. Они свидетельствуют о том, что обработка слов родного и неродного языков расходится по двум различным способам, это было отражено в сигналах вызванных потенциалов. Они получили, что передняя часть компонента N400 показала сдвиг задержки амплитуд у второго языка несколько позже, чем таковой у первого языка. Сдвиг задержки может присутствовать у более опытных учеников, хоть и быть представлен меньше по величине. Сдвиг задержки может отражать различия в обработке трудностей,

связанных со словами первого и второго языков. Задняя часть компонента N400 показала большие амплитуды к первому языку, по сравнению со вторым языком у учеников с его низкими уровнями знания. Предполагают, что различия амплитуд могут отражать более низкий уровень взаимосвязанности лексических и семантических представлений второго языка у начинающих изучать язык, что исчезает при долгой тренировке вторым языком. Эти данные еще раз свидетельствуют о явной пользе тренировок при обучении.

Есть ряд исследований, которые сравнивают эффективность обучения неродного языка взрослого и молодого поколения. Считается, что взрослое поколение показывает более плохие результаты обучения, по сравнению с молодым поколением. Это связывают с ухудшением у пожилого поколения нейронной пластичности. Есть также причины подозревать, что пожилые люди используют разные механизмы обучения, например, при изучении лексического тона, чем молодые люди. Другое различие между старшим и младшим поколениями это рабочая память, которая играет роль при успешном обучении второго языка. Если сравнивать с молодыми людьми, то успех обучения второму языку у пожилого поколения зависит от их базовой рабочей памяти. Исследования Service и Craik(1993) продемонстрировали, что способность изучать новые слова зависела больше от их способности хранить предметы в фонологической рабочей памяти, по сравнению с более молодыми взрослыми. Рабочая память – это такой тип памяти, который позволяет сохранять ту информацию, с которой в данный момент работают. Она также позволяет комбинировать различную информацию, полученную от органов восприятия с кратковременной и долговременной памятью. Следовательно, этот тип памяти подразумевает хранение и управление информацией для совершения когнитивных задач, таких как понимание речи и обучение. Считается, что рабочая память имеет ограниченные способности. Есть несколько утверждений, что рабочая память может быть натренирована. Но получение воспроизводимых результатов усложняет тот факт, что многие области мозга вовлечены в процессы рабочей памяти. Однако методы нейровизуализации успешны при изучении процессов восприятия и моторного поведения, при которых наблюдается не так много активаций разных областей мозга.

Когда сравнивают результаты обучения второго языка у младших и более старших учеников, заметное преимущество получают те, кто ранее уже был в этой языковой среде. Многие грамматические структуры второго языка могут оказаться весьма проблематичными для более поздних учеников, даже, несмотря на то, что обучение длится значительно длинный период. Однако все еще остается не ясно как же способность к обучению вторым языком развивается на протяжении всей жизни, существуют ли возрастные эффекты, которые ограничивают успешное обучение. В исследовании Nienke Meulman, Martijn Wieling, Simone A. Sprenger, Laurie A. Stowe, and Monika S. Schmid, 2015 показано влияние возраста при приобретении второго языка на успешность обучения немецким языком. В данном исследовании результаты успешного обучения основывались на постепенных сдвигах от N400 у начинающих учеников до P600 у более опытных учеников. Были проведены исследования зависимости критического эффекта от грамматической структуры ученика. Использовали приобретение нефинитных глаголов. При нарушении конструкций в нефинитных глаголах компонент вызванных потенциалов

R600 присутствовал у всех обучаемых разного критического возраста. Возможно, это говорит о том, что грамматические конструкции второго языка схожи с грамматическими конструкциями первого языка. В текущем исследовании наблюдается более раннее начало R600, а затем смещение, когда переходят к более высокому критическому возрасту, далее она достигает высокий максимум для более поздних учеников. Однако в данном исследовании не учитывалось количество лет обучения языком, условия обучения, время ежедневных тренировок и мотивация, которые в свою очередь могут оказывать влияние на результаты успешного обучения.

Мультисенсорное (многосенсорное) обучение представляет интерес в понимании нейронной пластичности мозга. Мультисенсорное обучение важно тем, что позволяет изучать интеграции визуальной, слуховой и сенсомоторной областей обработки информации. Были предложены три модели, которые предполагались в качестве объяснения пластичности, вызванной мультисенсорным обучением. Первая модель предполагает - изменение односенсорных структур, которые участвуют в мультисенсорной передаче, вторая модель основана на изменении взаимосвязи односенсорных структур, и третья модель - изменение мультисенсорных структур, ответственных за интегрирование стимулов.

Исследования по мультисенсорному обучению проводились Evangelos Paraskevopoulos, Anja Kuchenbuch, Sibylle C. Herholz, Christo Pantev, 2012, в данном исследовании они ставили задачу выяснить как многосенсорное обучение изменяет унисенсорные структуры, взаимосвязи унисенсорных структур или изменение специфических мультисенсорных областей. Первая группа была подвергнута кратковременному обучению воспроизведения тональной последовательности на фортепиано, вторая же группа только прослушивала игру первой группы и высказывала предположения о правильности записей. Таким образом, у двух групп была задействована разная модальность при обучении. У первой группы все три модальности: соматосенсорная, слуховая и зрительная. У второй же группы задействовано только две модальности, а именно, зрительная и слуховая. Связанные с обучением изменения в корковых сетях оценивались до и после путем МЭГ записи отдельных слуховых визуальных и аудио-визуальных ответов негативности рассогласования. Пластичность, вызванная тренировкой, изменила интегрированные аудиовизуальные ответы негативности рассогласования больше у группы, подвергшейся мультимодальной тренировке. Результаты показали, что две группы были по-разному затронуты обучением, мультисенсорная тренировка изменяет функцию мультисенсорных структур, а не унисенсорных и их взаимосвязей. Если же результирующая пластичность изменила аудиовизуальные ответы в двух группах одинаково, то тогда можно было бы предположить, что результат обучения основан на взаимосвязи слуховой и зрительной модальностей. Генераторы негативности рассогласования были найдены в обоих полушариях слуховой временной коры, но с большей амплитудой в правом полушарии, нежели чем в левом. Это также подтверждает предыдущие данные о том, что слуховые стимулы имеют типичную правополушарную латеризацию. В правом полушарии была отмечена также активация поля Бродмана 44, что может быть приписано к автоматическому привлечению внимания со стороны

девиантного стимула, а также использование рабочей памяти во время дискриминации. Зрительная негативность рассогласования тоже была продемонстрирована, значительных изменений в них показано не было. Таким образом, в исследовании было продемонстрировано, что мультимодальная тренировка (зрительно-слуховая соматосенсорная) была более полезна для пластичности, чем слухово-визуальная. Это дает возможность предположить, что обученный модуль был функционально затронут всеми тремя модальностями. Здесь еще раз подтверждается, что большая часть неокортекса реагирует на мультисенсорные стимулы.

Музыкальное обучение является отличной моделью для изучения мультимодальной пластичности мозга. В исследовании Claudia Lappe, Laurel J. Trainor, Sibylle C. Herholz, and Christo Pantev, 2011 музыкальное обучение немусыкантов проводилось в течении двух недель. Одна группа (сенсорно-слуховая) училась играть на фортепиано музыкальный ритм, а другая группа (слуховая) только слушает и оценивает ритмическую точность второй группы. Обучение, вызванное кортикальной пластичностью, оценивали показателями негативности рассогласования с помощью МЭГ записи, результаты показателей НР сравнивали до и после тренировки. Группа, которая подверглась обучению, показала двустороннее увеличение НР, но больше оно было выражено в правом, нежели в левом полушарии. Полученные результаты свидетельствуют о том, что когда слуховой опыт контролируется вниманием и присутствует вовлечение сенсомоторной системы, наблюдается более прочные изменения в слуховой коре. Следовательно, эти данные еще раз подтверждают, что мультимодальное обучение вызвано кортикальной пластичностью и мультимодальное обучение является наиболее эффективным для получения новых навыков. Для получения более прочных результатов в обучении, например, музыкой ученик обязан использовать разные модальности. Для получения успехов в музыке также необходимо использовать сенсомоторную модальность с привлечением слуховой и зрительной модальностями. Если сделать более простой вывод, то можно сказать, что чтобы обучиться музыке, нужно играть на соответствующем музыкальном инструменте.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В обзоре рассматриваются данные, полученные фМРТ, ЭЭГ, ПЭТ, МЭГ с помощью метода вызванных потенциалов мозга человека. Для объяснения процесса обучения используется компонент вызванных потенциалов – негативность рассогласования. Обучение зависит от пластичности. Пластичность нервной системы является важным свойством мозга человека. Она позволяет индивиду приспособливаться к условиям среды в результате опыта или тренировки. В обзоре поднята проблема пластичности. Это свойство достаточно трудно для понимания и поэтому на данный момент трудно с точностью сказать, какие именно механизмы включены в процесс пластичности мозга. Трудно также с уверенностью сказать, что слуховая сенсорная кора является пластичной,

однако, многочисленные исследования по тренировке дают данные о существовании пластичности сенсорной коры мозга человека.

В настоящее время исследователей в области нейрокогнитивной биологии интересует проблема освоения языка человеком. В обзоре представлены работы, которые подтверждают, что освоение родного языка начинается еще до рождения. Звуки родной речи воспринимаются младенцем через матку матери. Они закладываются в виде следов сенсорной памяти уже при первом предъявлении и являются образцом звуков родной речи, которые в дальнейшем дают возможность распознавать родные и неродные звуки. Раннее освоение речи влияет на дальнейшее владение родным языком. А внутриутробный период является важным периодом, в котором происходит закладка следов сенсорной памяти, освоение родного языка.

Процесс обучения является достаточно сложным процессом. Он требует внимания, усидчивости и времени. По началу, обучение требует большей вовлеченности внимания, но по мере обучения, процесс становится более автоматическим и требует не так много внимания. Это говорит о приобретении опыта. В нашем быстро развивающемся мире важно обучение вторым (иностранному) языком.

Имеются противоречащие мнения по поводу изучения второго языка. А именно, влияет ли первый язык на процесс обучения вторым языком, включает ли этот процесс те же нейронные механизмы, области коры головного мозга. В частности, существуют мнения, что иностранные слова хранятся в тех же местах, что и слова родной речи, они совмещены по лексическому значению. А, также, наоборот, что иностранные слова и слова родной речи имеют разное местоположение в сенсорной коре. Имеются данные, что процесс освоения первым языком дает влияние на дальнейшее обучение как своего языка, так и иностранного.

Считается, что процесс обучения подвластен не всем возрастам. Существует такое понятие, как критический период – период после полового созревания, когда процесс обучения затруднен. По этой же теории, считают, что пожилые люди хуже обучаются, нежели молодое поколение. В данном обзоре представлены данные, которые говорят о том, что критический период не влияет на процесс обучения. Кора головного мозга является пластичной с опытом, и, следовательно, обучение происходит всю жизнь. При изучении обучения иностранным языком важно также учитывать уровень мотивации, условия обучения, длительность обучения и интервалы между занятиями.

При изучении пластичности мозга применяют мультисенсорное обучение. Оно важно тем, что дает возможность интеграции нескольких систем в процесс обработки информации. В мультисенсорном обучении используют интеграции слуховой, зрительной и соматосенсорной систем. Основной моделью в мультисенсорном обучении является обучение музыкой. Есть данные о том, что успешное обучение игры на музыкальном инструменте дает интеграция всех трех систем, а не двух (только слуховой и зрительной). Мультисенсорное обучение говорит о том, что обученный модуль был затронут всеми тремя модальностями. Тем самым, большая часть неокортекса реагирует на мультисенсорные стимулы.

Данный обзор работ последних лет помогает лучше понять процессы пластичности, освоения языка и обучения. Хотя нельзя с точностью сказать, что эти механизмы в настоящее время поняты. Существует много нераскрытых мест, противоречивых данных. А это говорит о том, что данная тема является не полностью раскрытой и дает возможность следующим исследованиям.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Р. Наатанен , внимание и функции мозга, издательство московского университета, 560 с., 1998
- 2) The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: a review, R. Naatanen , P. Paavilainen, T. Rinne , K. Alho, Accepted 28 April 2007 Available online 10 October 2007, Clinical Neurophysiology 118 (2007)
- 3) Learning-induced neural plasticity of speech processing before birth , Eino Partanena, Teija Kujalaa, Risto Näätänen, Auli Liitolaa, Anke Sambethf, and Minna Huotilainen , Edited by Michael I. Posner, University of Oregon, Eugene, OR, and approved July 22, 2013 (received for review February 1, 2013)
- 4) Language outside the focus of attention: The mismatch negativity as a tool for studying higher cognitive processes, Friedemann Pulvermüller , Yury Shtyrov , Medical Research Council, Cognition and Brain Sciences Unit, 15 Chaucer Road, Cambridge CB2 2EF, UK, Received 20 June 2005; received in revised form 18 November 2005; accepted 4 April 2006, Progress in Neurobiology 79, 2006)
- 5) Central auditory system plasticity: Generalization to novel stimuli following listening training, Kelly Tremblay, Nina Kraus, Thomas D. Carrell, Therese McGee, Received 3 June 1996; revised 17 June 1997; accepted 5 August 1997
- 6) Neural plasticity in speech acquisition and learning, YANG ZHANG, YUE WANG, Cambridge University Press, 2007
- 7) Evidence for Training-Induced Plasticity in Multisensory Brain Structures: An MEG Study, Evangelos Paraskevopoulos, Anja Kuchenbuch, Sibylle C. Herholz, Christo Pantev, Editor: Ramesh Balasubramaniam, McMaster University, Canada, Received January 16, 2012; Accepted April 9, 2012; Published May 3, 2012
- 8) Магнитоэнцефалография-новейший метод функционального картирования мозга человека, Шестакова А.Н., Буторина А.В., Осадчий А.Е., Штыров Ю.Ю., Экспериментальная психология, 2012, том 5, № 2, с. 119–134

9) Функциональное картирование речевых зон мозга человека: перспективы использования метода магнитоэнцефалографии (МЭГ), Буторина А.В., Шестакова А.Н., Николаева А.Ю., Строганова Т.А., Штыров Ю.Ю., современная зарубежная психология, 2012

10) Plasticity in Developing Brain: Active Auditory Exposure Impacts Prelinguistic Acoustic Mapping, April A. Benasich, Naseem A. Choudhury, Teresa Realpe-Bonilla and Cynthia P. Roesler, The Journal of Neuroscience, October 1, 2014

11) Event-related potential correlates of language change detection in bilingual toddlers, Jan Rouke Kuipersa, Guillaume Thierrya, Developmental Cognitive Neuroscience, 2012

12) Plasticity in Gray and White: Neuroimaging changes in brain structure during learning, R.J. Zatorre, R.D. Fields, and H. Johansen-Berg, Europe PMC Funders Group Author Manuscript, May 2013

13) Brain Responses before and after Intensive Second Language Learning: Proficiency Based Changes and First Language Background Effects in Adult Learners, Erin Jacquelyn White, Fred Genesee, Karsten Steinhauer, Received July 23, 2012; Accepted November 14, 2012; Published December 26, 2012

14) Cortical Plasticity Induced by Short-Term Multimodal Musical Rhythm Training, Claudia Lappe, Laurel J. Trainor, Sibylle C. Herholz, and Christo Pantev · PLoS One., 2011

15) Age Effects in L2 Grammar Processing as Revealed by ERPs and How (Not) to Study Them, Nienke Meulman, Martijn Wieling, Simone A. Sprenger, Laurie A. Stowe, and Monika S. Schmid, PLoS One. 2015;

16) Language effects in second language learners and proficient bilinguals investigated with event-related potentials, Katherine J. Midgley, Phillip J. Holcomb, and Jonathan Grainger, J Neurolinguistics, 2009.