

Поверхностная обработка языка: влияние возраста и перцептивных условий

Анастасия Лопухина

научный сотрудник Центра языка и мозга НИУ ВШЭ

alopukhina@hse.ru

Сколько животных каждого вида Моисей взял на Ковчег?

How many animals of each kind did Moses take on the Ark?

“Moses illusion”

Erickson and Mattson (1981)

From words to meaning: A semantic illusion

“Нормализация” странных предложений

Don't print that or I won't sue you. (Fillenbaum, 1971, 1974)

After the plane crash, the authorities were trying to decide where to bury the survivors. Where should the authorities bury the survivors? (Barton & Sanford, 1993; Sanford, 1999).

Выборочная обработка и мысленное исправление предложений, кажущихся странными.

Предложения с эффектом “садовой дорожки”

Time flies like an arrow.

Fruit flies like a banana.

While Susan was dressing the baby played on the floor.

Предложения с эффектом “садовой дорожки”

While Susan was dressing the baby played on the floor.

While Susan was dressing the baby played on the floor.

Временно
неоднозначное
предложение

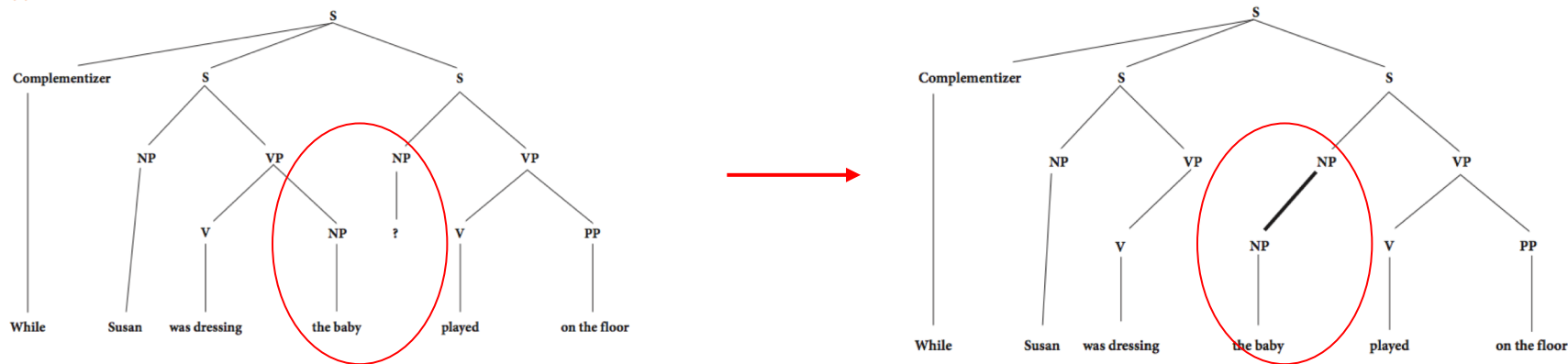
Предложения с эффектом “садовой дорожки”

While Susan was dressing the baby played on the floor.

While Susan was dressing the baby played on the floor.

Временно
неоднозначное
предложение

Слову “the baby” сначала приписывается неверная роль в предложении.



Алгоритмическая обработка предложений

Представление предложения формируется “снизу вверх”: из слов и морфосинтаксических связей между ними при помощи четких синтаксических алгоритмов (garden path model, constraint-based models).

While Susan was dressing the baby played on the floor.

- Ошибка алгоритмической обработки быстро обнаруживается (итоговое представление получается правильным).
- Ошибка возникает из-за синтаксического правила позднего закрытия (late closure).

Итоговое представление всегда правильное?

Эксперименты Фернанды Феррейры и коллег (Christianson, Hollingworth, Halliwell, & Ferreira, 2001; Ferreira, Christianson, & Hollingworth, 2001)

While Anna dressed the baby spit up on the bed.

Did Anna dress the baby?

Итоговое представление всегда правильное?

Эксперименты Фернанды Феррейры и коллег (Christianson, Hollingworth, Halliwell, & Ferreira, 2001; Ferreira, Christianson, & Hollingworth, 2001)

While Anna dressed the baby spit up on the bed.

Did Anna dress the baby? — Yes (~ 60%)

- Ошибки в присвоении ролей обнаруживаются не всегда.
- Это не случайные ошибки, а особенность нашей языковой обработки.

Откуда берутся такие ошибки?

Во время ре-анализа все равно получается неточная, неполная синтаксическая структура

Во время ре-анализа получается правильная синтаксическая структура, но изначально неправильная структура остается в памяти и влияет на итоговую правильную структуру

Эксперименты с регистрацией движений глаз при чтении предложений с эффектом “садовой дорожки” (Slattery et al., 2013; Nakamura & Arai, 2016; Raape et al., 2018)

Откуда берутся такие ошибки?

Во время ре-анализа все равно получается неточная, неполная синтаксическая структура

Во время ре-анализа получается правильная синтаксическая структура, но изначально неправильная структура остается в памяти и влияет на итоговую правильную структуру

Эксперименты с регистрацией движений глаз при чтении предложений с эффектом “садовой дорожки” (Slattery et al., 2013; Nakamura & Arai, 2016; Raape et al., 2018)

Почему это происходит?

Good Enough (GE) approach to language comprehension = поверхностная обработка языка

Наша задача не построить абсолютно точное представление каждого предложения, а быстро и эффективно построить такое представление, которое было бы осмысленным, хорошо встраивалось бы в контекст и позволило бы поддержать коммуникацию.

Эвристики при обработке предложений

Ferreira (2003):

- семантическая связанность слов в предложении (plausibility)
- частотность синтаксической конструкции

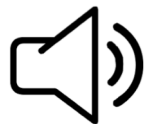


The dog was bitten by the man. → Кто совершил действие? →

Эвристики при обработке предложений

Ferreira (2003):

- семантическая связанность слов в предложении (plausibility)
- частотность синтаксической конструкции



The dog was bitten by the man. → Кто совершил действие? → DOG

~ **25%**

Модель “когнитивного равновесия”

The online cognitive equilibrium hypothesis (OCE) (Karimi & Ferreira, 2016; Koornneef & Reuland, 2016)

- Когнитивная система стремится достичь равновесия при первой же возможности.
- Когда равновесие достигнуто, система языковой обработки старается оставаться в этом состоянии так долго, как это возможно и пока нет серьезных оснований выйти из состояния равновесия.

Модель “когнитивного равновесия” и обработка языка

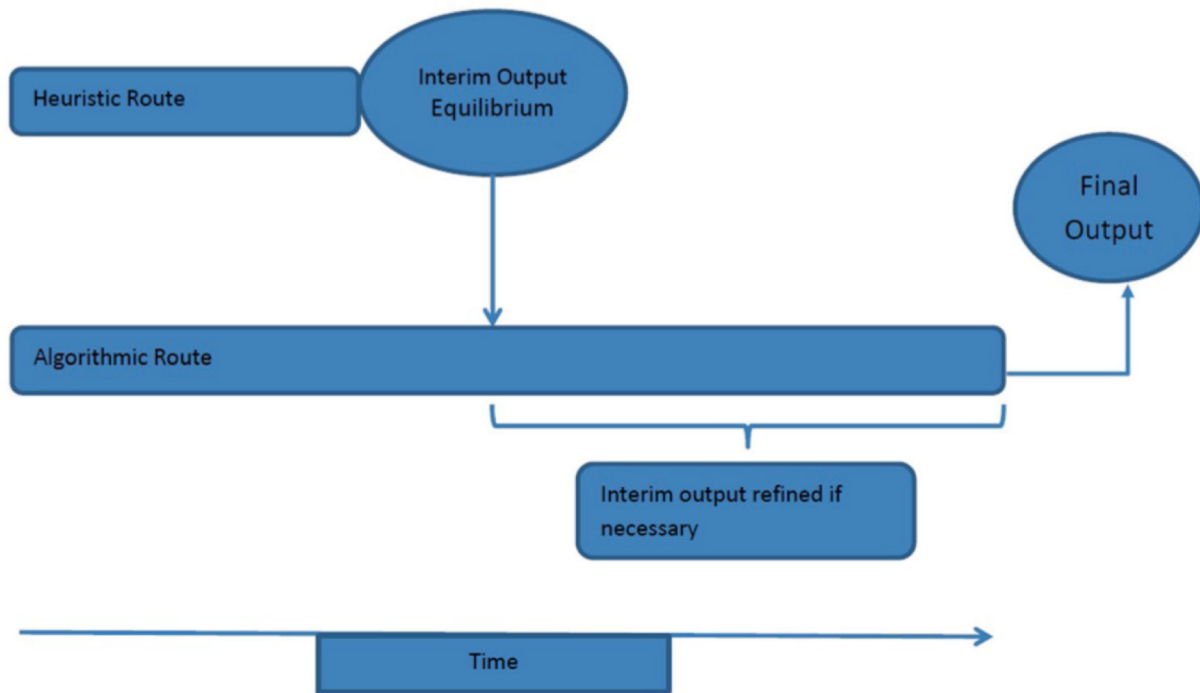


Figure 1. *The model of language processing according to the online equilibrium hypothesis.*

Два постулата heuristic route

- GE advantage: эвристики и поверхностная обработка языка позволяют достичь цели быстрее, чем алгоритмическая обработка
- GE equivalence: между представлениями предложения после алгоритмической и поверхностной обработки должно быть сходство (perceived equivalence)

(Karimi & Ferreira, 2016; Koornneef & Reuland, 2016)

Опора на эвристики меняется с возрастом

- Дети 7-12 лет реже, чем взрослые, и на более поздних этапах обработки предложения, в сравнении со взрослыми, используют информацию о семантической связанности слов в предложении (plausibility) (Traxler, 2002; Joseph et al., 2008).
- Подростки 16 лет опираются на информацию о семантической связанности слов лучше, чем более младшие дети (Engelhardt, 2014).
- С возрастом дети и подростки постепенно овладевают семантическими эвристиками (например, для понимания идиом или непрямых значений слов) (Nippold, 2000; 2006)



Опора на эвристики меняется с возрастом

- С возрастом увеличивается словарный запас и языковой опыт.
- Наблюдаются затруднения в алгоритмической синтаксической обработке: снижаются скорость и правильность понимания сложных синтаксических конструкций.
- С возрастом увеличивается степень опоры на поверхностную обработку (на семантические эвристики) в сравнении с алгоритмической (Christianson et al., 2006, 2010; Malyutina and Den Ouden, 2016). Но в работе Kemper et al. (2004) эффект возраста не был обнаружен.

<https://24.kz/ru/news/social/item/320827-pozhilye-lyudi-aktobe-okazalis-ochen-punktualnymi-i-aktivnymi-nablyudatel>

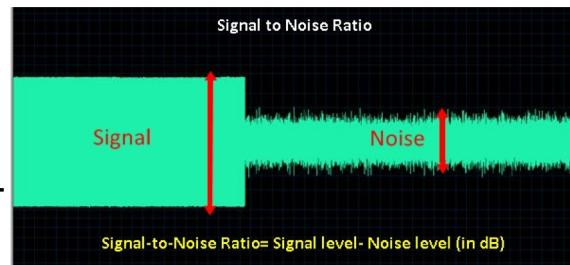


Опора на эвристики меняется в зависимости от перцептивных условий

Модель “зашумленного канала” (noisy-channel approach) (Gibson et al., 2013; Levy, 2011)

Механизм опоры на семантические отношения и языковой опыт включается в работу при наличии помех в сигнале. С возрастанием уровня “шума” опора на поверхностную обработку возрастает.

Помехи — слабый сигнал, физические помехи;
ошибки в тексте, иностранный акцент



Наш проект

- Поверхностная обработка **на материале русского языка** (конфликт между морфосинтаксисом и семантикой)
- Поверхностная обработка **у людей в разном возрасте**: подростки — молодые взрослые — пожилые участники
- Поверхностная обработка языка **в разных перцептивных условиях**: в тишине / в языковом шуме (шум голосов или буквенный шум)
- Поверхностная обработка языка и **модальность предъявления стимулов**: зрительная (задание на чтение) / слуховая (задание на восприятие на слух)

Эксперименты 1 и 2

- исследуют опору на поверхностную обработку в русском языке на материале синтаксически однозначных предложений;
- сравнивают разные перцептивные условия: тишину и шум;

Эксперименты 1 и 2

- исследуют опору на поверхностную обработку в русском языке на материале синтаксически однозначных предложений;
- сравнивают разные перцептивные условия: тишину и шум

визуальный шум



шум голосов

Эксперименты 1 и 2

- исследуют опору на поверхностную обработку в русском языке на материале синтаксически однозначных предложений;
- сравнивают разные перцептивные условия: тишину и шум;
- используют методику записи движений глаз при чтении.



Участники

Визуальный шум

- 58 взрослых молодых носителя русского языка
- средний возраст = 24 года (диапазон 20 - 40 лет)
- 28 жен, 30 муж
- не лингвисты

Шум голосов

- 44 взрослых молодых носителя русского языка
- средний возраст = 23 года (диапазон 20 - 40 лет)
- 30 жен, 14 муж
- не лингвисты

Процедура и условия

- айтрекер Eyelink 1000+
- чтение отдельных предложений
- после каждого предложения — вопрос на понимание с двумя вариантами ответа
- каждый участник проходил 2 сессии: в тишине / с шумом
 - в тишине / с визуальным шумом
 - в тишине / с шумом голосов



Визуальный шум

IP Time: 00001548 ms / Trial Time: 00001548 ms

Из грязи - в князи

Дима думал об адвокате продавца, торговавшего на ярмарке клубникой.



Шум ГОЛОСОВ



Стимулы

plausible
(синтаксис =
семантика)

(1) Римма одевала **малышку** писательницы, лепечущую непонятные слова.

(2) Римма одевала малышку **писательницы**, опубликовавшей интересный роман.

(3) Римма одевала **малышку** писательницы, опубликовавшую интересный роман.

(4) Римма одевала малышку **писательницы**, лепечущей непонятные слова.

implausible
(синтаксис ≠
семантика)

Кто лепетал непонятные слова? Малышка — Писательница

Кто опубликовал интересный роман? Малышка — Писательница

Стимулы

Если в 3, 4 (**implausible**) будет больше ошибок в ответах на вопросы, чем в 1, 2 (**plausible**) → опора на поверхностную обработку языка (семантические эвристики важнее синтаксических связей)

Два сбалансированных набора экспериментальных предложений (28 стимулов и 56 филлеров), которые мы показывали и с шумом, и без шума

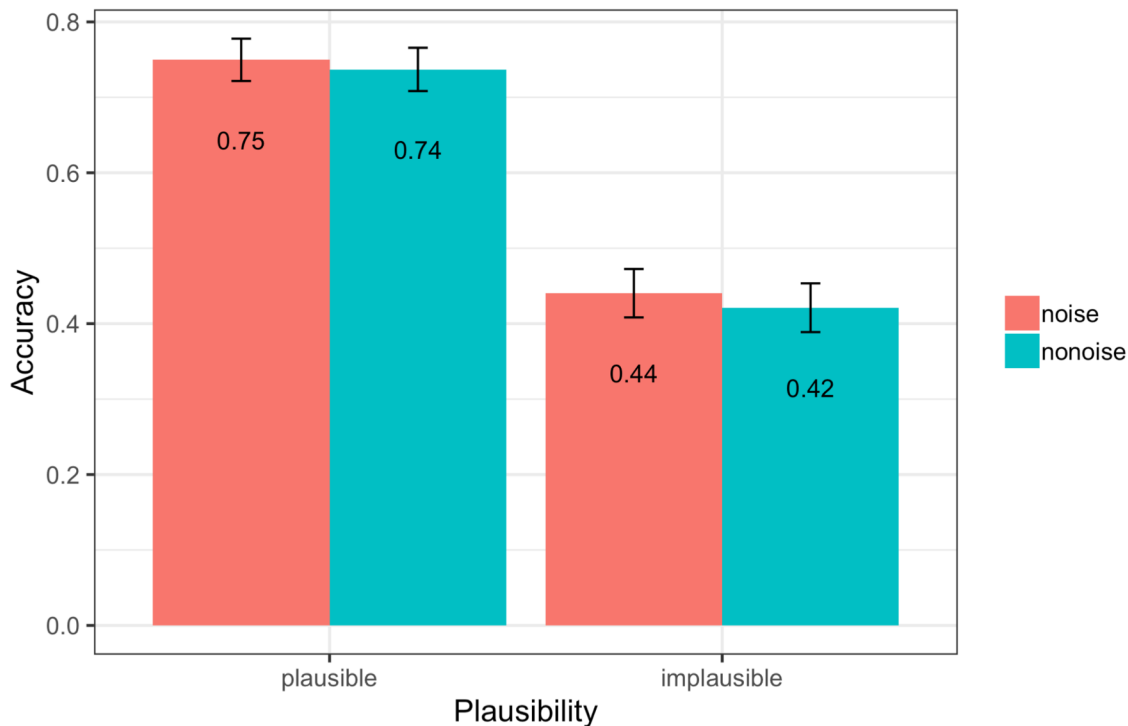
Филлеры:

- Аналогичная структура, но вопросы к другим частям предложения (n=18)
- Другая грамматическая структура (n=38)

Анализ данных: независимые переменные

Семантическая связанность	Опираемся ли мы на поверхностную обработку языка?
Шум	Затруднена ли языковая обработка в шуме?
Семантическая связанность x Шум	Опираемся ли мы на поверхностную обработку языка в шуме <u>больше</u> , чем без шума?

Правильность ответов на вопросы



**Семантически
связанные предложения
интерпретируются
правильнее, чем
несвязанные**

Нет эффекта шума

Нет взаимодействия
семантической связности
и шума

Движения глаз: длительность фиксаций

- First fixation duration
- Gaze duration
- Rereading
- Total reading times

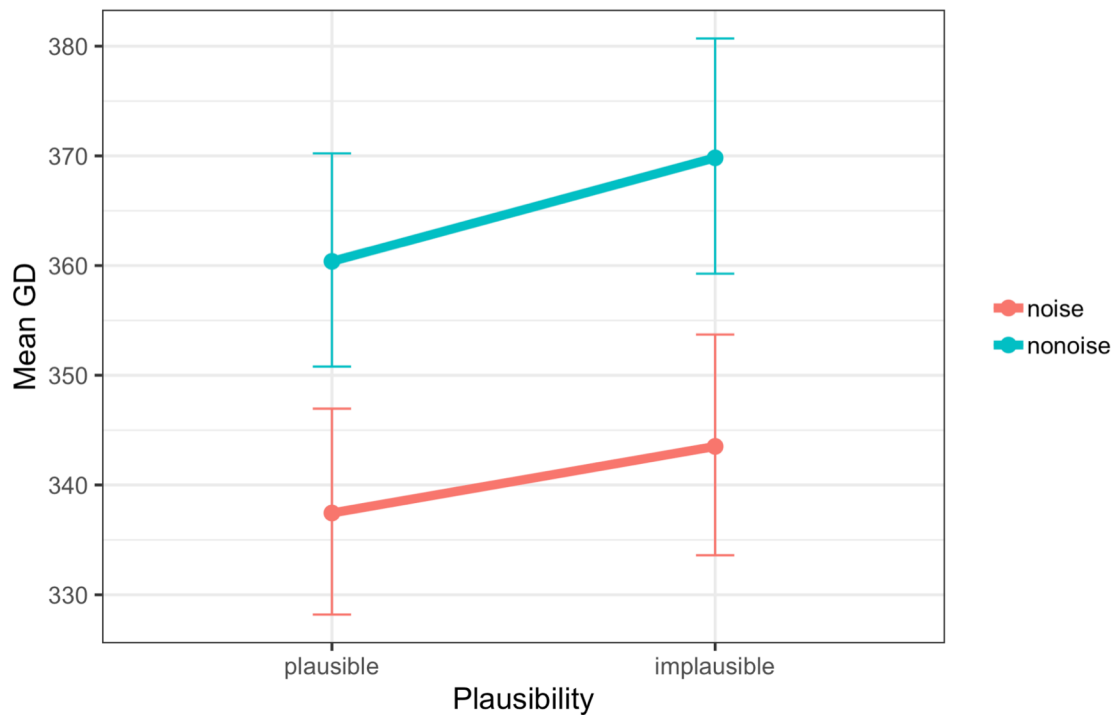
(4) Римма одевала малышку *писательницы*, лепечущей непонятные слова.

Движения глаз: длительность фиксации

- ~~First fixation duration~~
- Gaze duration
- Rereading
- Total reading times

(4) Римма одевала малышку *писательницы*, лепечущей непонятные слова.

Gaze duration (& Rereading)

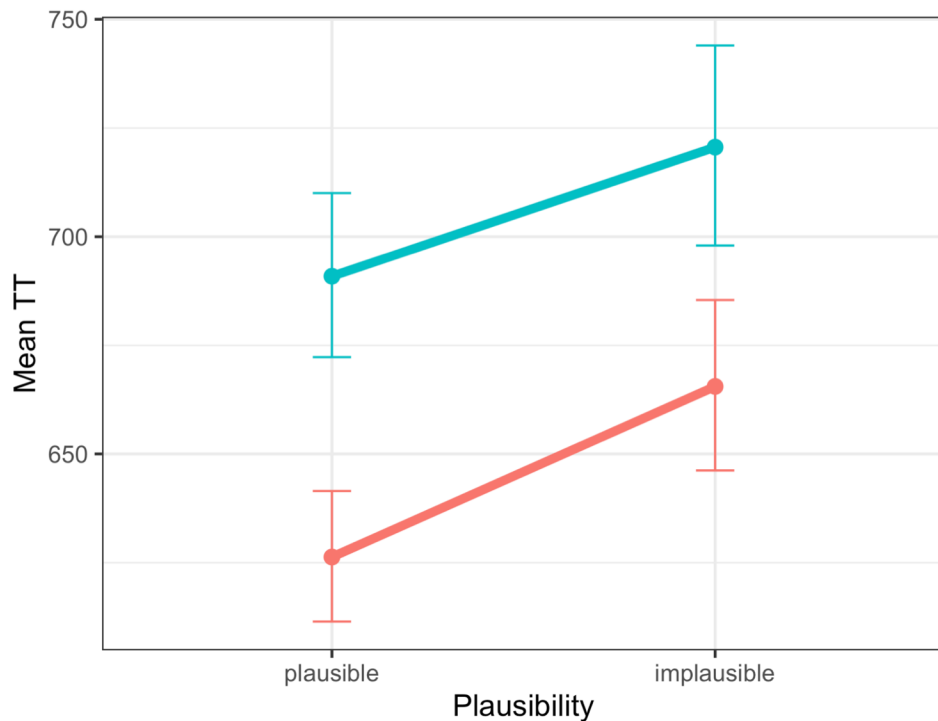


**В шуме предложения
читаются быстрее**

Нет эффекта
семантической связности

Нет взаимодействия
семантической связности
и шума

Total reading times

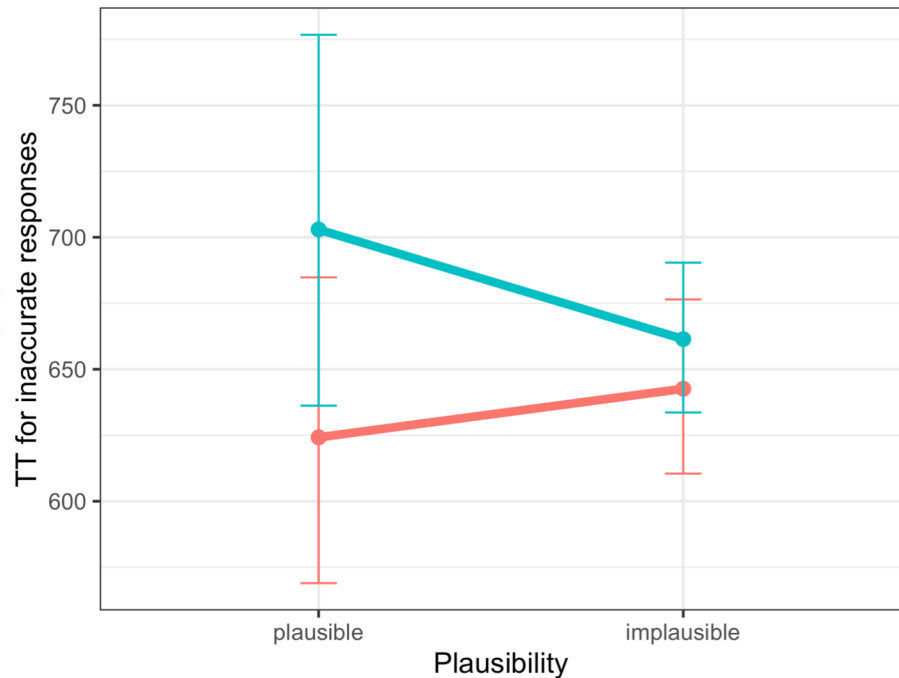
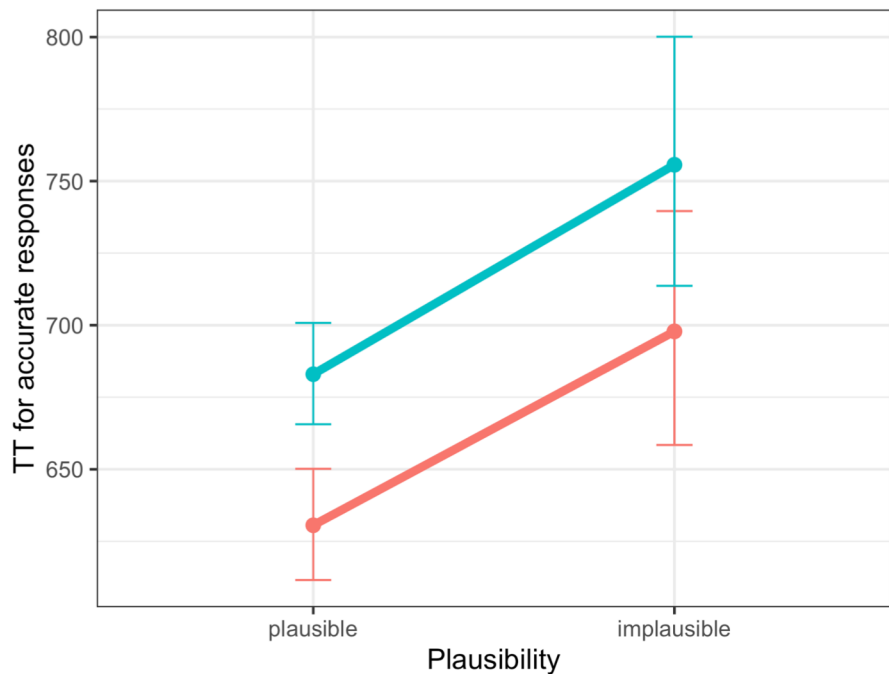


**В шуме предложения
читаются быстрее**

**Семантически
связанные предложения
читаются быстрее, чем
несвязанные**

Нет взаимодействия
семантической связности
и шума

Правильные ответы VS неправильные ответы



Правильные ответы VS неправильные ответы

**Семантически несвязанные >
семантически связанные**

→ больше внимания причастию в более сложных для интерпретации предложениях

→ **алгоритмическая обработка**

→ правильное представление предложения

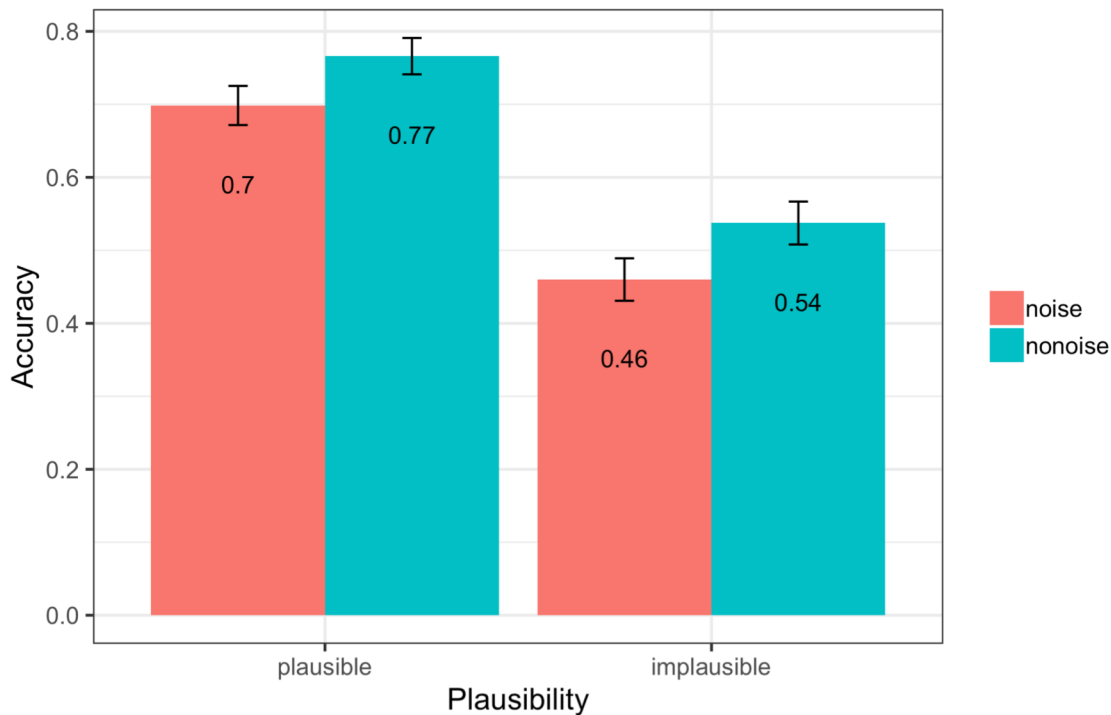
**Семантически несвязанные =
семантически связанные**

→ нет дополнительного внимания причастию в более сложных для интерпретации предложениях

→ **поверхностная обработка**

→ неправильное представление предложения

Звуковой шум: правильность ответов на вопросы



Семантически связанные предложения интерпретируются правильнее, чем несвязанные

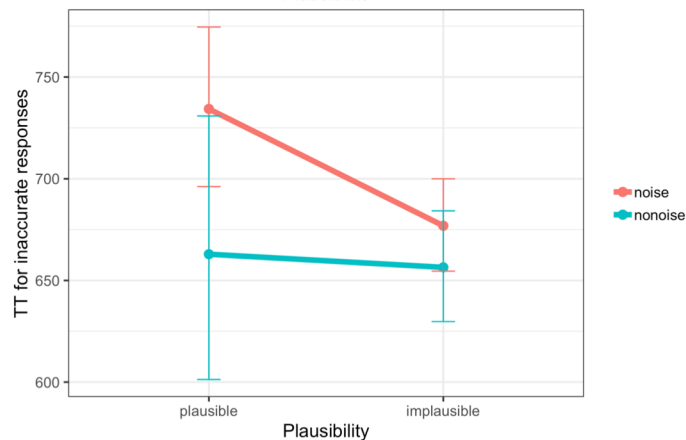
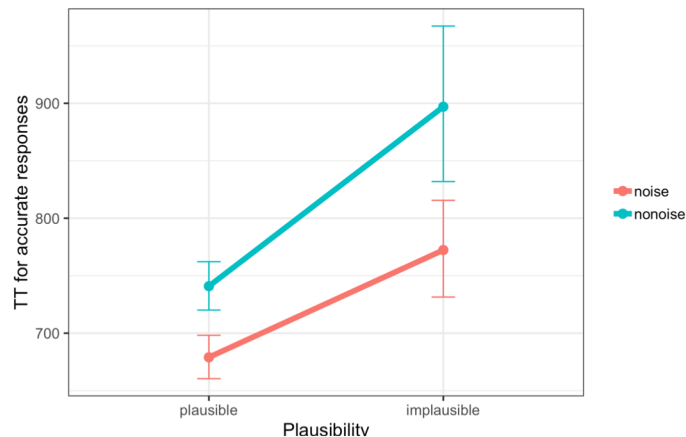
В шуме больше неправильных интерпретаций

Нет взаимодействия семантической связанности и шума

Звуковой шум: фиксации

Gaze duration: **В шуме предложения читаются быстрее**

Rereading: **семантически связанные предложения читаются быстрее, чем несвязанные**



алгоритмическая vs поверхностная обработка

Выводы: поверхностная обработка языка

- Взрослые опираются на поверхностную обработку языка.
 - правильность ответов: связанные > несвязанные
- Длительность фиксаций во время алгоритмической обработки длиннее, чем во время поверхностной → **GE advantage** (эвристики и поверхностная обработка языка позволяют достичь цели быстрее, чем алгоритмическая обработка)

Выводы: эффект шума

- Визуальный шум ускоряет обработку (GD, TT, ReR) и не влияет на правильность ответов.

→ слабый фоновый шум (или визуальный шум при чтении) помогает сфокусироваться на стимулах

- Звуковой шум голосов ускоряет обработку (GD) и снижает количество правильных ответов.

→ более сильный фоновый шум (или звуковой шум при чтении) мешает языковой обработке

Выводы: влияние шума на поверхностную обработку

- Мы не нашли подтверждения тому, что в шуме люди опираются на поверхностную обработку языка больше, чем без шума (нет взаимодействия семантической связанности и шума)

→ наши визуальный и звуковой шумы не влияли на сигнал настолько, чтобы помешать его восприятию и заставить человека опираться на семантические подсказки.

Эксперимент 3

- исследует опору на поверхностную обработку у людей в разном возрасте:
 - подростки (13-17 лет),
 - молодые взрослые (20-40 лет),
 - пожилые участники (55+ лет);

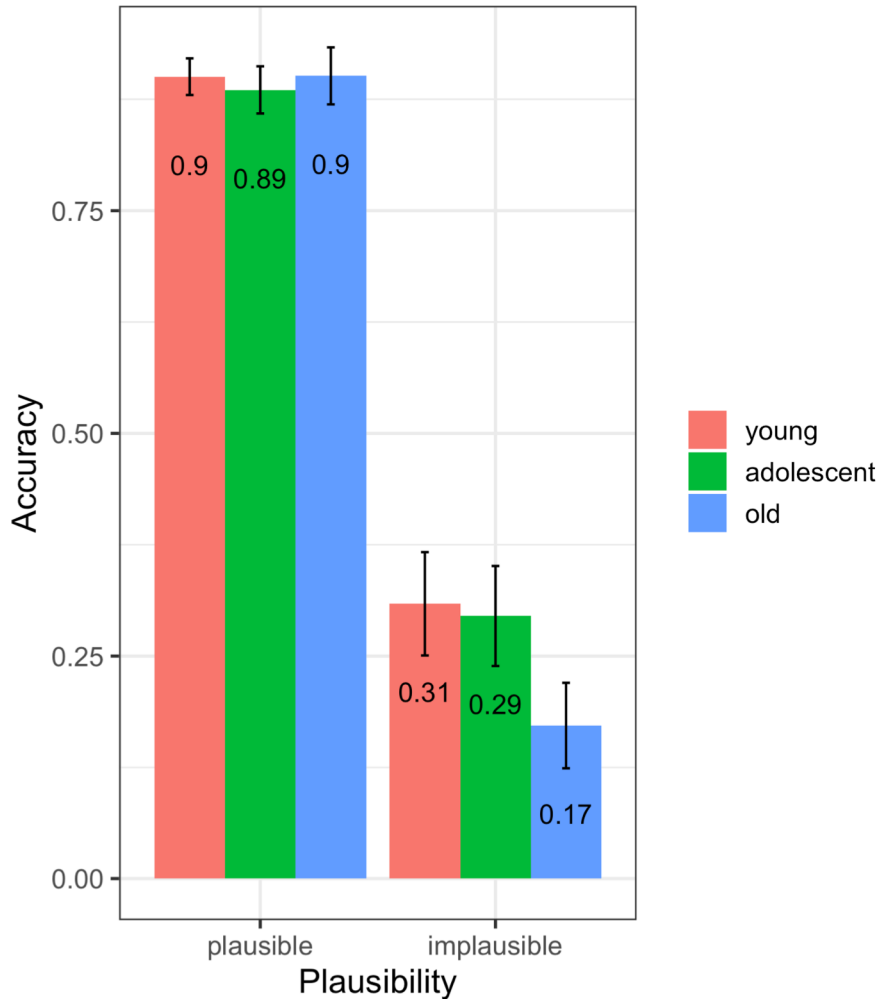
- использует методику чтения с саморегуляцией скорости.

Участники

- 108 подростков; 63 жен; средний возраст = 15 лет
- 137 молодых взрослых; 97 жен; средний возраст = 25 лет
- 76 пожилых; 53 жен; средний возраст = 65 лет;
- все не лингвисты

Анализ данных: независимые переменные

Семантическая связанность	Опираемся ли мы на поверхностную обработку языка?
Возраст	Изменяется ли языковая обработка с возрастом?
Семантическая связанность x Возраст	<p>Опираются ли подростки <u>меньше</u>, чем молодые взрослые на поверхностную обработку языка?</p> <p>Опираются ли пожилые <u>больше</u>, чем молодые взрослые на поверхностную обработку языка?</p>



Правильность

Участники всех возрастных групп опираются на поверхностную обработку языка.

Пожилые опираются на ПО больше, чем молодые.

Подростки и молодые взрослые не различаются в степени опоры на ПО.

Стимулы

ранее
закрытие

(1) Римма одевала *малышку* писательницы, лепечущую непонятные слова.

(2) Римма одевала малышку *писательницы*, опубликовавшей интересный роман.

(3) Римма одевала *малышку* писательницы, опубликовавшую интересный роман.

(4) Римма одевала малышку *писательницы*, лепечущей непонятные слова.

позднее
закрытие

Кто лепетал непонятные слова? Малышка — Писательница

Кто опубликовал интересный роман? Малышка — Писательница

Раннее и позднее закрытие в русском

Дарья Чернова и коллеги (Chernova and Slioussar, 2014, 2016; Чернова, 2015, 2016), тж работы О. Федоровой и И. Секериной

Конверт предназначался для помощника детектива, следившего за директором.

→

Конверт предназначался помощнику детектива, следившего за директором.

→

Раннее и позднее закрытие в русском

Дарья Чернова и коллеги (Chernova and Slioussar, 2014, 2016; Чернова, 2015, 2016), тж работы О. Федоровой и И. Секериной

*Конверт предназначался для **помощника детектива, следившего за директором.***

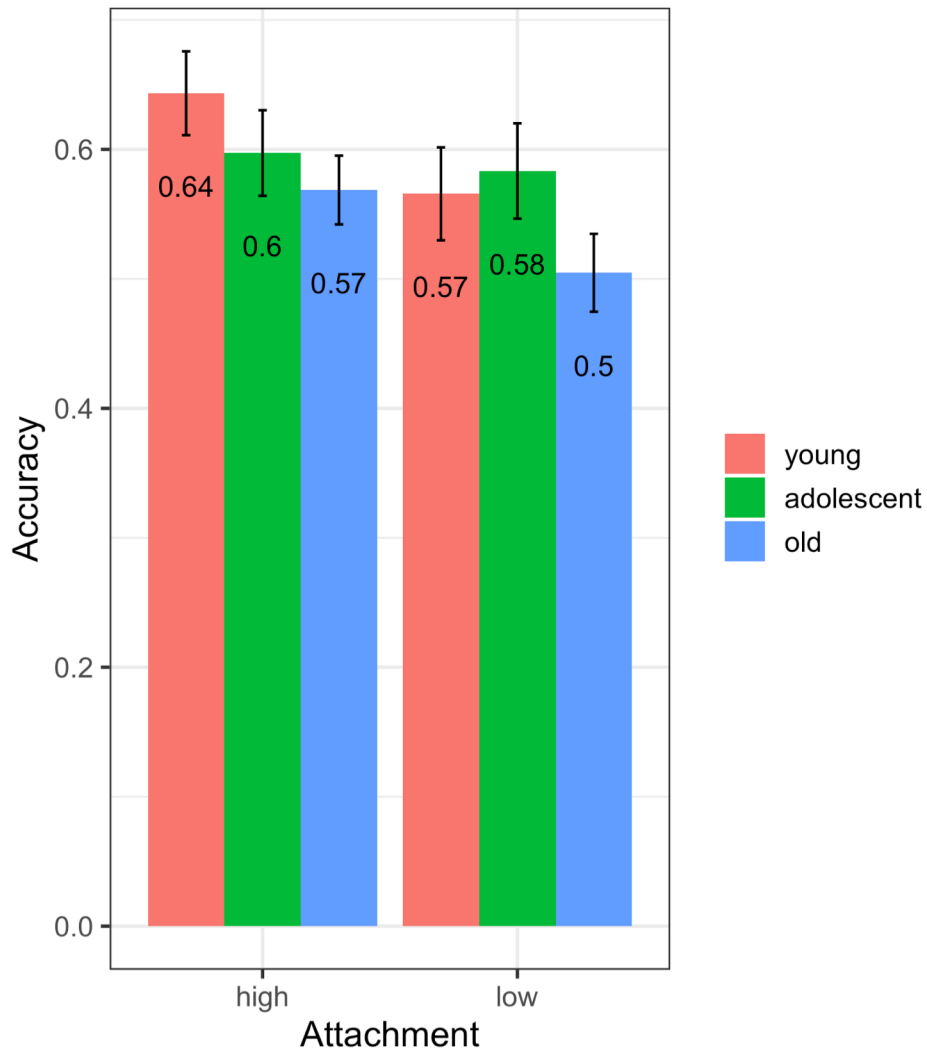
→ *Помощник (~ 60%)*

*Конверт предназначался помощнику **детектива, следившего за директором.***

→ *Помощник (~ **50%**)*

Эксплораторный анализ данных

Закрытие	Опираемся ли мы на синтаксическую эвристику раннего закрытия?
Закрытие x Возраст	<p>Опираются ли подростки <u>в той же степени</u>, что и молодые взрослые, на эвристику раннего закрытия?</p> <p>Опираются ли пожилые <u>в той же степени</u>, что и молодые взрослые, на эвристику раннего закрытия?</p>



Правильность

Взрослые (и молодые, и пожилые) используют эвристику раннего закрытия.

Подростки **не** используют эвристику раннего закрытия.

Выводы

- Молодые взрослые, подростки и пожилые опираются на **семантические** эвристики и используют стратегию поверхностной обработки языка.
- Пожилые участники (от 55 лет) используют семантические эвристики чаще, чем более молодые участники (от 15 лет).

- Молодые и пожилые взрослые используют **синтаксическую** эвристику раннего закрытия. А подростки нет.

Выводы

- **Семантические** эвристики более простые: уже к 15 годам подростки успешно используют их и не отличаются в этом аспекте от взрослых.
- **Синтаксические** эвристики более сложные: они формируются примерно к 25 годам и отсутствуют (присутствуют в малой степени) у подростков.

Для формирования синтаксических эвристик нужно больше языкового опыта?

Наши результаты противоречат результатам Traxler (2002): pre-adolescent children applied a syntactic heuristic of minimal attachment and did not use semantic plausibility information to avoid misanalysis.

Эксперименты 4 и 5

- исследуют влияние визуального шума и шума голосов на языковую обработку у людей в разном возрасте:
 - подростки (13-17 лет),
 - молодые взрослые (20-40 лет),
 - пожилые участники (55+ лет);
- исследуют влияние шума на степень опоры на поверхностную обработку языка у людей в разном возрасте.

ВАЖНО: пока проанализирована только часть данных.

Предварительные результаты

В визуальном шуме у всех трех возрастных групп участников снижается количество правильных ответов.

Визуальный шум не провоцирует большую опору на поверхностную обработку.

Звуковой шум голосов не снижает правильность ответов у подростков и взрослых (данные пожилых не анализировались).

Звуковой шум не провоцирует большую опору на поверхностную обработку.

Эксперимент 6

- исследует опору на поверхностную обработку у людей в разном возрасте при восприятии предложений на слух.
- 26 подростков; 20 жен; средний возраст = 15 лет
- 31 молодой взрослый; 16 жен; средний возраст = 27 лет
- 47 пожилых; 34 жен; средний возраст = 63 лет;
- все не лингвисты

Модальность восприятия

- результаты в одинаковых заданиях на восприятие оказываются разными в зависимости от модальности, в которой предъявлялись задания;
- умение быстро делать логические выводы и использовать свои знания о мире важнее при восприятии на слух, чем при чтении;

(Diakidoy et al., 2005; McNamara & Magliano, 2009; Wolf et al., 2019)

→ модальность восприятия может влиять на то, как и в какой степени мы используем стратегии языковой обработки

Визуальный шум и пример аудиостимула

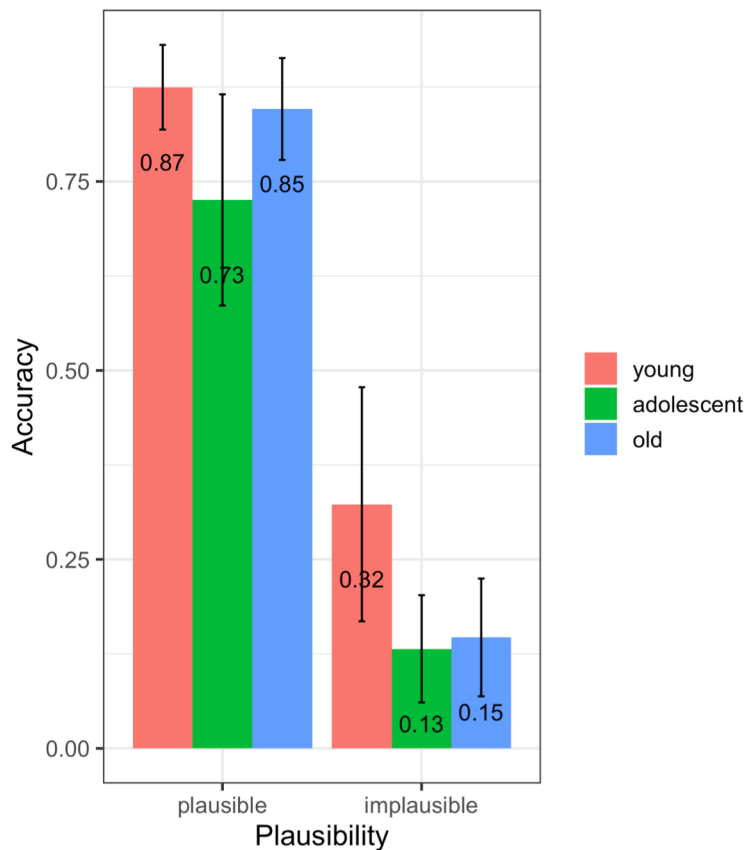


In the first of these studies, neural activities were recorded from cyclovertical motoneurons of the oculomotor and trochlear nerves. Cyclovertical motoneurons carry the appropriate motor drive to generate vertical and torsional eye velocities during pitch and roll VOR (referred to as 'sensory-driven torsion'). In contrast, during saccades and smooth pursuit, the stimulus constitutes a 2D retinal signal, where only the horizontal and vertical components of eye velocity are directly driven by the sensory stimulus. Thus, the torsional eye velocity necessary for the half-angle rule is not sensory-driven but a direct result of non-commutativity. Whether motoneurons carry the appropriate motor drive to generate this 'non-commutative-driven torsion' is fundamental to the differing predictions between the neural versus mechanical (active pulley hypothesis, APH) hypotheses. Specifically, if the non-commutative-driven torsion is neurally-generated (neural hypothesis), the firing rates of all cyclovertical (А Васька слушает, да ест) neurons should change proportionally to both sensory-driven and non-commutative-driven torsion. In contrast, the APH hypothesis predicts no correlation between firing rates and non-commutative-driven torsion, because the latter is simply added on at the level of the oculomotor plant, due to eye position-dependent changes in the pulling direction of the rectus muscles.

The experiment illustrated in Fig. 8.2 examined these two alternative hypotheses in macaques during horizontal and vertical pursuit eye movements at different vertical and horizontal eccentricities, respectively. The small torsional velocity elicited during eccentric pursuit reflects the non-commutative-driven torsion. Unlike the sensory-driven torsion generated during roll head movements, the torsional eye velocity elicited during horizontal and vertical smooth pursuit (Angelaki et al., 2003; Tweed et al., 1992) is not in response to a sensory stimulus, but reflects the rather unintuitive consequences of the non-commutative mathematics of rotations. When eye velocity is plotted in head coordinates (see insets; A: side view; B: top view), eye velocity tilts in the same direction as gaze, by approximately half as much (accounting for the 'half-angle rule'; Fig. 8.1B). This torsional component of eye velocity is necessary to keep eye position in Listing's plane (Hübner et al., 1991; Tweed and Vilis, 1987, 1990; Tweed et al., 1992). According to the APH hypothesis, cyclovertical motoneurons should not change their activity to reflect the added torsional velocity during eccentric pursuit. In contrast, the neural hypothesis predicts that cyclovertical motoneurons would exhibit the same sensitivity to this non-commutative-driven torsion as they do for the roll head movement-driven torsion. As a result, their firing rates should systematically change as the ratio of torsional versus horizontal or vertical velocity changes at different ocular eccentricities.

By recording from oculomotor and trochlear nerve fibers, Ghasia and Angelaki (2005) showed

Предварительные результаты

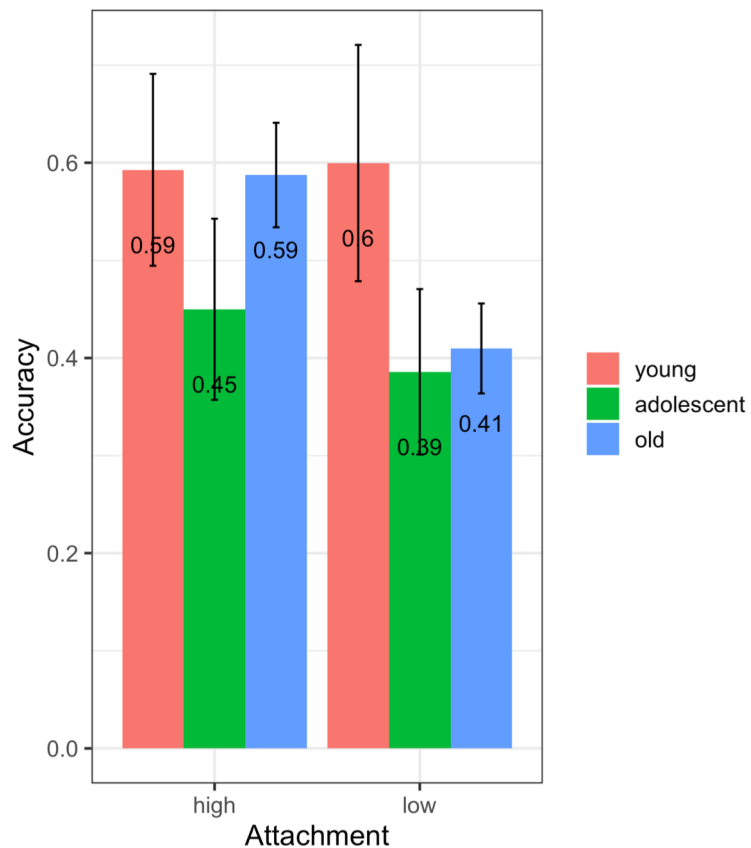


Участники всех возрастных групп опираются на поверхностную обработку языка.

Пожилые опираются на ПО больше, чем молодые.

Подростки опираются на ПО больше, чем молодые.

Предварительные результаты



Пожилые используют эвристику раннего закрытия.

Молодые и подростки, возможно, **не** используют эвристику раннего закрытия.

Общие выводы

(1) При восприятии предложений мы активно используем семантические и синтаксические эвристики, а также наши знания о мире. Вместе с алгоритмической обработкой (или вместо нее?).

Обычно эти “быстрые и грубые” эвристики хорошо работают и позволяют быстрее интерпретировать предложения.

Общие выводы

(2) Использование эвристик увеличивается с возрастом:

- опора на **семантические** эвристики появляется рано (до подросткового возраста) и увеличивается в пожилом возрасте → больше интерпретационных ошибок у пожилых. Сдвиг от синтаксиса к семантике (Beese et al., 2018).
- опора на **синтаксическую** эвристику раннего закрытия формируется достаточно поздно (~ к 25 годам или позже).

Общие выводы

(3) Внешний языковой шум **не** подталкивает людей к большей опоре на поверхностную обработку языка.

Эти результаты не поддерживают предсказания модели “зашумленного канала” (noisy-channel approach) (Gibson et al., 2013; Levy, 2011).

- шум недостаточно мешал (соотношение сигнал-шум было в пользу сигнала)
- предсказания модели работают только в случае повреждения самого сигнала, но не в случае фонового шума

Общие выводы

(4) Предварительные свидетельства того, что модальность восприятия речи (чтение или восприятие на слух) влияет на то, как люди задействуют семантические и синтаксические эвристики.

- Анна Лауринавичюте
- Светлана Малютина
- Александра Никифорова
- Наталия Слюсарь



- Александра Симдянова
- Елена Савинова
- Галина Рязанская
- Анастасия Антонова
- Зоя Евдаева
- Анна Мохова
- Ольга Тужик
- Никита Беклемишев
- Алина Лобанова
- Василиса Солянова
- Анастасия Березина
- Александра Савченко
- Анастасия Каприелова
- Анастасия Кромина
- Нина Здорова
- София Гольдина
- Кирилл Конча
- Яна Шишкина

Проект поддержан грантом РФФИ #18-012-00640 на 2018-2020 гг.