

## Научная статья

УДК 159.9.072

<https://doi.org/10.21702/rpj.2023.1.5>

# Эффект числовой пропорции при оценке размеров и количества в разных форматах

Юлия В. Кузьмина<sup>1\*</sup> , Юлия А. Маракшина<sup>2</sup> , Марина М. Лобаскова<sup>2</sup> , Сергей Б. Малых<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Высшая школа экономики, г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Психологический институт РАО, г. Москва, Российская Федерация

\*Почта ответственного автора: [papushka7@gmail.com](mailto:papushka7@gmail.com)

---

## Аннотация

**Введение.** В исследовательской литературе обсуждается вопрос о наличии общей системы оценки количества и величин. Одним из доказательств наличия общей системы является эффект числовой пропорции, проявляющийся в увеличении времени ответа и снижении точности при возрастании числовой пропорции между сравниваемыми множествами или величинами, обнаруживаемый в заданиях на сравнение. Текущее исследование направлено на исследование взаимосвязей между системами оценки величин и оценки количества с помощью оценки эффектов числовой пропорции для разного типа тестов и форматов предъявления стимулов в тесте на сравнение количества. **Методы.** Выборку составили 83 студента (из них 20% мужчин, средний возраст 20,34 года). Участники исследования выполняли задания на несимволическое сравнение, сравнение площадей сложных фигур, сравнение количества и числа. В тесте на несимволическое сравнение использовано два формата предъявления стимулов: отдельный/гомогенный и смешанный/гетерогенный. Для каждого теста рассчитана точность и эффект пропорции. **Результаты.** Эффект пропорции был значим в тестах на несимволическое сравнение (в обоих форматах) и в тесте на оценку количества, но незначим в тесте на сравнение величин. Эффекты пропорции для разных тестов не коррелируют друг с другом. Также показано, что точность оценки величин коррелирует с результатами теста на несимволическое сравнение, причем эта связь была выше для смешанного/гетерогенного формата. **Обсуждение результатов.** Впервые получены данные о том, что связь между системами оценки величин и количества может варьироваться в разных условиях предъявления стимулов, что позволяет уточнить существующие теоретические модели работы систем оценки количества без использования символов. Полученные результаты не могут быть полностью объяснены теорией о единой системе оценки количества и величин. Однако показано, что система оценки величин также вовлечена в оценку количества.

**Ключевые слова:** оценка величин, оценка размеров, оценка количества, чувство числа, несимволическая репрезентация, эффект пропорции, эффект конгруэнтности, визуальные параметры, несимволическое сравнение, формат предъявления

**Финансирование:** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 22-18-00500 («Системы оценки величин и количества: индивидуальные различия и когнитивные механизмы»).

**Для цитирования:** Кузьмина, Ю. В., Маракшина, Ю. А., Лобаскова, М. М., Малых, С. Б. (2023). Эффект числовой пропорции при оценке размеров и количества в разных форматах. *Российский психологический журнал*, 20(1), 66–81. <https://doi.org/10.21702/rpj.2023.1.5>

---

## Введение

Человек, начиная с самого раннего возраста, способен воспринимать и обрабатывать «количественную» информацию. Например, мы можем оценивать и сравнивать расстояния от нас до окружающих объектов, можем сравнивать предметы по размеру (длине, ширине, высоте, площади) или сравнивать наборы объектов по количеству. Говоря об оценке и переработке «количественной» информации, можно выделить три основных вида «объектов», которые могут быть оценены: время (например, оценка временной протяженности), пространство (оценка размеров, длины, расстояний, площадей и т. п.) и количество (оценка количества дискретных объектов). Надо отметить, что, как правило, оценка количества относится к способности оценивать дискретные характеристики объектов, а оценка размеров или времени, обсуждается как оценка континуальных (протяженных) величин (Leibovich & Henik, 2014).

В исследовательской литературе обсуждается теория о наличии единой системы оценки количества и величин (Walsh, 2003). Эта система получила название «Общая система величин» (General magnitude System, GMS), а предложенная теория – *теория величин* (A Theory of Magnitude (ATOM)). В настоящее время существует достаточно большое количество исследований, подтверждающих наличие единой системы оценки величин и количества. Во-первых, большое количество нейрофизиологических исследований показало, что правая внутритеменная борозда активизируется при обработке информации о количестве, времени и размерах (например, Buetti & Walsh, 2009; Dormal & Pesenti, 2007; Dormal, Andres & Pesenti, 2012). Например, показано, что электростимуляция этой зоны приводит к изменениям в восприятии как количества, так и времени и оценки длины (Cappelletti et al., 2013; Dormal et al., 2012).

Во-вторых, в отношении оценки количества без использования символов (несимволического чувства числа) показано, что приблизительная и быстрая оценка количества происходит на основе оценки информации о континуальных визуальных параметрах, таких как размер объектов, совокупная площадь, периметр занимаемой поверхности (поверхностная оболочка), плотность расположения (Gebuis & Reynvoet, 2012; Hurewitz, Gelman, & Schnitze, 2006; Clayton, Gilmore & Inglis, 2015). Например, сравнивая два набора объектов по количеству, человек может сравнивать размеры объектов, поверхностную или совокупную площадь двух наборов. Вывод о количестве может быть сделан на основе обработки информации о нескольких визуальных параметрах (например, Gebuis, Kadosh, & Gevers, 2016; Leibovich, Katzin, Harel & Henik, 2017). Во многих исследованиях подтверждено, что в среднем оценка количества была более точной в случае, когда визуальные параметры давали корректную информацию о количестве (т. е. были конгруэнтны), например, когда набор, содержащий большее количество объектов, имел большую поверхностную или совокупную площадь по сравнению с неконгруэнтными условиями (например, Smets, Moors & Reynvoet, 2016; Clayton, Gilmore & Inglis, 2015). Различия между конгруэнтными и неконгруэнтными заданиями

(эффект конгруэнтности) отражают степень искажения оценки количества в связи с оценкой визуальных параметров.

Более того, некоторые авторы предположили, что отдельной способности (или системы) оценки количества без использования символов не существует, поскольку оценка количества каждый раз происходит через оценку континуальных визуальных параметров (например, Gebuis & Reynvoet, 2012). В некоторых исследованиях показано, что человек может идентифицировать количественные различия или изменения только в том случае, если они сопровождаются изменениями в визуальных параметрах (например, Gebuis, Kadosh & Gevers, 2016). Другие исследователи выдвигали более «мягкие» гипотезы, предполагая, что оценка количества может идти как через оценку визуальных параметров, так и непосредственно (например, Kuzmina & Malykh, 2022; Leibovich-Raveh, Stein, Henik & Salti, 2018). Также показано, что в свою очередь, оценка количественных параметров может также искажать оценку физических размеров (например, Leibovich, Henik, & Salti, 2015; Hendryckx, Guillaume, Beuel, Van Rinsveld & Content, 2021).

В пользу единства систем оценки количества и континуальных величин, таких как длина или площади, свидетельствует тот факт, что основные закономерности, выделяемые в заданиях на сравнение количества, также воспроизводятся в заданиях на сравнение физических размеров. В частности, эффект пропорции (увеличение времени ответов и снижение точности при уменьшении «пропорции» между сравниваемыми объектами) был обнаружен при сравнении длин отрезков (Dormal & Pesenti, 2007), количества объектов (Sasanguie, Defever, Van den Bussche & Reynvoet, 2011) и сравнении цифр (Lyons, Nuerk & Ansari, 2015). Эффект пропорции, по мнению многих исследователей, отражает существенные особенности репрезентации количества и величин и связан с перекрытием кривых, отражающих активацию нейронов при восприятии того или иного количества (Dehaene, 2003; Dietrich, Huber & Nuerk, 2015). Поэтому обнаружение эффекта пропорции в сравнениях дискретных и континуальных объектов может свидетельствовать о наличии общих механизмов, обеспечивающих оценку количества и величин.

В то же время есть и данные, которые не согласуются с теорией о том, что система оценки количества – лишь часть общей системы оценки величин. Во-первых, показано, что оценки визуальных и количественных параметров могут идти независимо друг от друга (Park, DeWind, Woldorff & Brannon, 2016; Odic & Halberda, 2015). В многочисленных исследованиях обнаружено, что человек способен непосредственно оценить множественность наряду с другими перцептивными свойствами, такими как объем, размер, форма объектов и т. п. (Ross & Burr, 2010; Sokolowski, Fias, Mousa & Ansari, 2017). Специфическая чувствительность к количественным характеристикам обеспечивается специальными «числовыми» нейронами в правой внутритеменной борозде (например, Nieder & Miller, 2003; Piazza, Pinel, Le Bihan & Dehaene, 2007; Nieder, 2016). Ряд исследований продемонстрировали, что «количественность» может независимо обрабатываться на ранней стадии восприятия в зрительной коре, подобно тому, как декодируются зрительные признаки низкого уровня (Fornaciai, Brannon, Woldorff & Pa, 2017; Van Rinsveld et al., 2020).

Во-вторых, последние данные психофизиологических исследований и симуляционных исследований с использованием нейросетей и моделей глубинного обучения показывают, что на ранних стадиях развития оценка количества и оценка визуальных параметров могут быть тесно связаны, но в дальнейшем оценка количества может происходить независимо

от оценки визуальных параметров (Testolin, Zou & McClelland, 2020; Creatore, Sabathiel & Solstad, 2021).

Было выдвинуто предположение о том, что количество может быть оценено как прямо, так и опосредовано, через оценку визуальных параметров (Kuzmina & Malykh, 2022; Кузьмина и др., 2019). При этом особенности оценки количества могут быть связаны с условиями предъявления множеств для сравнения и доступностью оценки их визуальных параметров. Было показано, что в условиях доступной оценки визуальных параметров, таких как поверхностная или совокупная площадь (например, в отдельном/гомогенном формате, когда два набора одинаковых фигур предъявляются вместе, но разделены в пространстве), оценка количества может быть искажена оценкой визуальных параметров, что проявляется в увеличении эффекта конгруэнтности (Kuzmina & Malykh, 2022; Кузьмина и др., 2019; Кузьмина и др., 2020). И наоборот, эффект конгруэнтности становится незначимым, а оценка количества становится независимой от оценки визуальных параметров в условиях затрудненной оценки визуальных параметров (например, когда надо сравнить два набора гетерогенных объектов, перемешанных в пространстве, т. е. в смешанном/гетерогенном формате предъявления).

Хотя в нескольких исследованиях было показано, что точность несимволического сравнения может варьироваться в зависимости от формата предъявления множеств объектов (например, Price, Palmer, Battista & Ansari, 2012) и что разные форматы различаются по эффекту конгруэнтности (Kuzmina & Malykh, 2022), остается неизвестным, в какой степени точность оценки визуальных параметров может определять точность несимволического сравнения в разных форматах предъявления стимулов.

Текущее исследование имеет несколько целей. Первая – оценить эффект пропорции в заданиях на сравнение визуальных параметров, сравнение количества и числа и в заданиях на несимволическое сравнение в двух форматах предъявления стимулов. Принимая во внимание тот факт, что эффект пропорции является ключевой характеристикой репрезентации количества в разных форматах, мы предполагаем, что в случае наличия общей системы оценки количества для континуальных и дискретных объектов между эффектами пропорции должна быть высокая корреляция независимо от формата предъявления стимулов в тесте на несимволическое сравнение.

Вторая цель – оценить вклад точности оценки визуальных параметров и оценки дискретных параметров в выполнение заданий на несимволическое сравнение в разных форматах. Мы предполагаем, что точность оценки визуальных параметров будет в большей степени связана с точностью несимволического сравнения в том формате, который продуцирует больший эффект конгруэнтности, в то время как точность оценки дискретных параметров в большей степени связана с точностью несимволического сравнения в формате, в котором эффект конгруэнтности и искажения при оценке количества минимальны.

## **Методы**

### **Выборка**

В исследовании приняли участие 92 студента (средний возраст 20,36 года, ст. отклонение 5,33 года, 20 % из них были мужчины). Девять респондентов не выполнили хотя бы один из тестов, поэтому были исключены из финального анализа. После исключения этих данных, демографические характеристики выборки не изменились. В финальной выборке – 83 человека (20 % мужчины, средний возраст составил 20,34 года).

### **Процедура и инструмент**

Исследование проходило в онлайн-формате на платформе pavlovia.org. Участникам предлагалось выполнить три теста: тест на несимволическое сравнение, тест на сравнение площадей и тест на оценку количества (сравнение количества и числа).

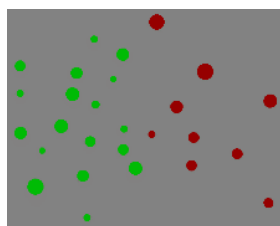
### **Тест несимволического сравнения**

Респонденту демонстрировалось два набора красных и зеленых фигур, и необходимо было выбрать, фигур какого цвета больше, нажимая кнопку с буквой, обозначающей соответствующий цвет: «к» – если больше красных фигур, «з» – если больше зеленых фигур. Каждый экран с двумя наборами фигур показывался в течение 400 мс, после чего изображение исчезало и сменялось экраном с напоминанием: «Нажмите «к», если больше красных фигур, нажмите «з», если больше зеленых фигур». После выбора и нажатия клавиши предьявлялся фиксационный крест (400 мс) и после него показывался следующий экран с двумя наборами фигур.

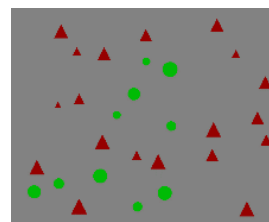
В тесте было использовано два формата предьявления стимулов: отдельный формат с гомогенными фигурами и смешанный формат с гетерогенными фигурами (рис. 1).

### **Рисунок 1**

Примеры форматов предьявления стимулов



А. Раздельный/гомогенный



Б. Смешанный/гетерогенный

Выбор этих двух форматов обусловлен данными предыдущих исследований, которые показали, что отдельный/гомогенный формат продуцирует наибольший эффект конгруэнтности, свидетельствующий о том, что оценка количества может быть искажена оценкой визуальных параметров. В смешанном/гетерогенном формате эффект конгруэнтности был незначим (Кузьмина и др., 2019; Кузьмина и др., 2020; Kuzmina & Malykh, 2022).

Для каждого формата предьявления были включены два типа пропорции между сравниваемыми множествами: простая и сложная. Для простой пропорции отношение меньшего количества к большему варьировалась от 0,47 до 0,53 (меньшее количество, разделенное на большее), для сложной пропорции – от 0,72 до 0,77. Такое соотношение выбрано, исходя из данных предыдущих исследований, в которых, например, показано, что при пропорции, равной 0,5, точность сравнения множеств в среднем приближается к 0,90, но при возрастании пропорции, точность значительно ухудшается. Для пропорции, равной 0,75, точность сравнения варьировалась от 0,72 до 0,80, в зависимости от формата (Price et al., 2012).

Для каждого формата и типа пропорции в половине случаев стимулы были конгруэнтны по двум визуальным параметрам: поверхностная оболочка (периметр фигуры, образованной линией, включающей все фигуры одного цвета) и совокупной площади (сумма площадей всех

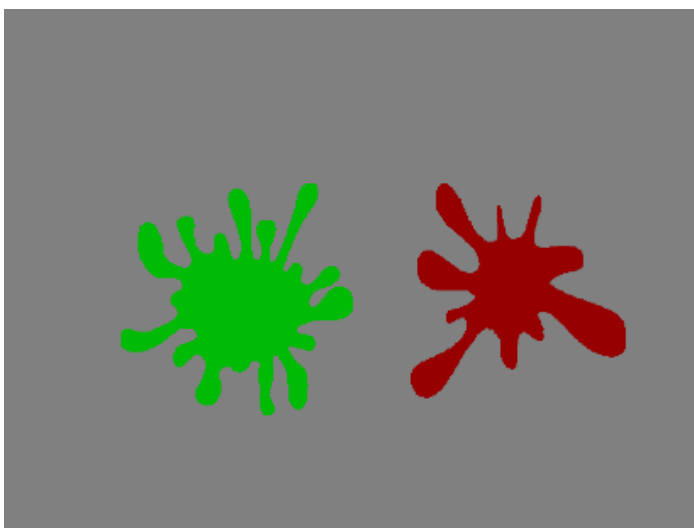
фигур одного цвета). В другой половине стимулы были неконгруэнтны по этим же параметрам. Всего предъявлялось 216 заданий. Стимулы из разных условий были перемешаны в случайном порядке, порядок предъявления был одним и тем же для всех респондентов.

### ***Тест на сравнение площадей***

Респонденту предъявлялся экран с двумя «кляксами» красного и зеленого цветов (рис. 2). Так же, как в тесте на несимволическое сравнение, экран с «кляксами» показывался 400 мс, после чего надо было выбрать, фигура какого цвета имеет большую площадь, нажав букву «к» (если больше красных) или букву «з» (если больше зеленых).

### **Рисунок 2**

*Пример стимула из теста на сравнение площадей*



В тест также было включено два условия: простая и сложная пропорция между площадями двух фигур. Для простой пропорции соотношение между фигурами варьировалось от 0,47 до 0,53, для сложной пропорции – от 0,72 до 0,77. Такое соотношение было выбрано для того, чтобы условия простой и сложной пропорции были сопоставимы с условиями в задании на несимволическое сравнение количества. Всего в тесте было 124 задания.

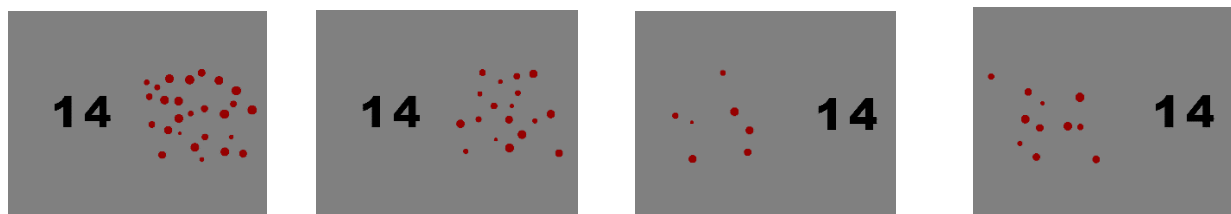
### ***Тест на оценку количества***

Респонденту показывался экран, на одной стороне которого было число, на другой – набор геометрических фигур (точек или треугольников) (рис. 3). Респондент должен был выбрать, что больше: число или количество фигур, нажав на клавишу «стрелка вправо», если считал, что большее количество находится на правой стороне экрана, или клавишу «стрелка влево», если большее количество находилось в левой стороне экрана.



### Рисунок 3

Пример стимульного материала из теста на оценку количества (сравнение числа и количества)



А. Простая пропорция, больше количество, чем число

Б. Сложная пропорция, больше количество, чем число

В. Простая пропорция, больше число, чем количество

Г. Сложная пропорция, больше число, чем количество

Для теста использовались двузначные числа от 10 до 16. Задания составлены таким образом, что в половине случаев было больше число, в другой половине – количество фигур. Задания также сбалансированы по стороне экрана, на которой демонстрировалось число и количество. Таким образом, в 25 % заданий больше было число, и оно было показано слева, в 25 % заданий число было меньше и оно было показано слева, в 25 % заданий было больше число и оно показано справа, в 25 % заданий число было меньше и оно было показано справа.

Так же, как в предыдущих тестах, пропорция между сравниваемым числом и количеством фигур могла быть простой (от 0,50 до 0,55) или сложной (от 0,70 до 0,78). Всего в тест было включено 56 заданий.

### **Статистический подход**

На первом этапе была рассчитана точность по каждому тесту (пропорция правильных ответов). На втором этапе рассчитан эффект пропорции для тестов на сравнение площадей и оценку количества и для двух условий теста на несимволическое сравнение. Эффект рассчитывался как разница в точности между заданиями с простой пропорцией и заданиями со сложной пропорцией. Эффекты пропорции были рассчитаны для каждого респондента, а затем была произведена оценка корреляций между эффектами.

На третьем этапе проведен регрессионный анализ для точности несимволического сравнения в двух форматах. В модель для каждой зависимой переменной (точность в раздельном/гомогенном и точность в смешанном/гетерогенном формате) включены в качестве предикторов точность оценки визуальных параметров и точность оценки количества (сравнение числа и количества). Для сравнения степени вовлеченности каждого предиктора произведено сравнение стандартизированных регрессионных коэффициентов.

### **Результаты**

#### **Описательная статистика**

В таблице 1 приведены показатели точности для тестов, показатели стандартного отклонения и размах.

**Таблица 1**

Описательная статистика для тестов на сравнение площадей, оценку количества и несимволическое сравнение

Тесты	Точность (пропорция правильных ответов)			
	Среднее (ст. ошибка)	Станд. отклон.	Минимум	Максимум
Сравнение площадей	0,82 (0,01)	0,12	0,48	0,94
Оценка количества	0,80 (0,01)	0,13	0,45	1
Несимволическое сравнение (раздельный/гомогенный формат)	0,84 (0,01)	0,10	0,54	0,97
Несимволическое сравнение (смешанный/гетерогенный формат)	0,83 (0,01)	0,10	0,49	0,96

В целом, надо отметить, что точность во всех тестах была достаточно высокая. Наименьшая точность зафиксирована в тесте на оценку количества, в котором надо было сравнивать количество и число.

Далее был проведен анализ различий в точности между простой и сложной пропорцией в каждом тесте. Средние различия и оценка значимости различий приведены в таблице 2.

**Таблица 2**

Анализ различий в точности между простой и сложной пропорцией в тестах на сравнение площадей, оценку количества и несимволическое сравнение

Тест	Простая пропорция	Сложная пропорция	Эффект пропорции [95% ДИ]	t-test
Сравнение площадей	0,81	0,82	-0,01 [-0,02; 0,002]	-1,69
Оценка количества	0,84	0,81	0,03 [0,01; 0,05]	3,05**
Несимволическое сравнение (раздельный формат)	0,89	0,72	0,17 [0,15; 0,19]	18,07***
Несимволическое сравнение (смешанный формат)	0,91	0,74	0,17 [0,15; 0,18]	22,20***

Примечание. \*\*\* $p < ,001$ , \*\* $p < ,01$

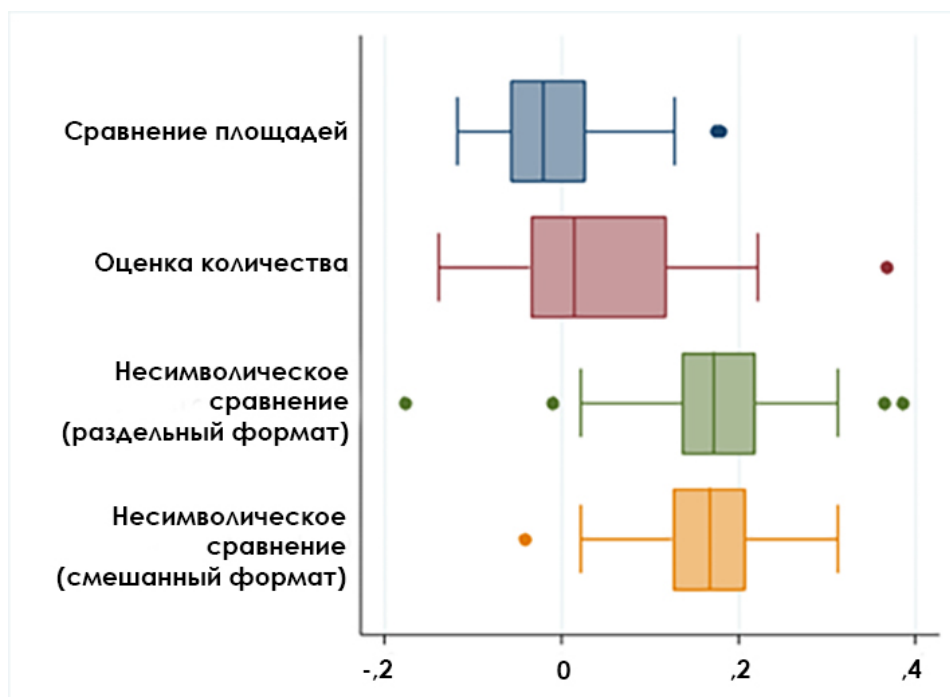


Анализ среднего эффекта пропорции по каждому тесту показал, что в тесте на сравнение площадей средний эффект пропорции был незначим. В тесте на оценку количества эффект пропорции был значимым, но небольшим. Для обоих форматов теста на несимволическое сравнение эффект пропорции выражен и размер эффекта значительный (Cohen's  $d = 1,62$  для смешанного формата и  $1,66$  для отдельного формата).

Далее для анализа связи между эффектами пропорции рассчитаны эффекты пропорции для каждого респондента. Ниже приведены данные о распределении значений эффектов пропорции (рис. 4).

#### Рисунок 4

Эффект пропорции (разница между простой и сложной пропорцией) для тестов и условий



На следующем шаге проведен анализ корреляций между эффектами пропорции для разных тестов. Анализ показал, что эффекты пропорции не коррелируют друг с другом, за одним исключением. Обнаружена значимая отрицательная корреляция между эффектом пропорции в тесте на сравнение площадей и эффектом пропорции в тесте несимволического сравнения в раздельном/гомогенном формате ( $r = -0,31$ ,  $p = 0,005$ ). Это свидетельствует о том, что более высокие показатели эффекта пропорции в тесте несимволического сравнения связаны с более низкими показателями эффекта пропорции в тесте на сравнение площадей.

На заключительном этапе анализа проведен регрессионный анализ для точности несимволического сравнения в каждом формате. Результаты регрессионного анализа представлены в таблице 3.

**Таблица 3**

Результаты регрессионного анализа для оценки связи между точностью в тесте несимволического сравнения и точностью в тесте на оценку количества и сравнение площадей

Переменные	ЗП – точность в раздельном формате		ЗП – точность в смешанном формате	
	В (ст. ошибка)	Станд. коэфф.	В (ст. ошибка)	Станд. коэфф.
Константа	0,41*** (0,06)		0,35*** (0,06)	
Точность сравнения площадей	0,30** (0,09)	0,37	0,43*** (0,08)	0,52
Точность оценки количества	0,23** (0,07)	0,33	0,16* (0,07)	0,22
F-test	23,73		30,25	
R-squared	0,36		0,42	

Примечание. \*\*\* $p < ,001$ , \*\*  $p < ,01$ , \*  $p < ,05$

Результаты анализа показывают, что точность сравнения площадей значимо связана с точностью несимволического сравнения в обоих форматах. При этом связь с точностью несимволического сравнения в смешанном формате была выше, чем связь с точностью сравнения в раздельном формате. Точность оценки количества также связана с точностью несимволического сравнения, но эта связь меньше, чем для сравнения площадей. Полученные результаты отчасти противоречат ранее выдвинутым гипотезам, что будет обсуждаться ниже в разделе «Обсуждение результатов».

### Обсуждение результатов

В данном исследовании мы рассматривали точность и эффект пропорции для трех тестов, направленных на оценку способности оценивать количественную информацию. В исследовательской литературе обсуждается вопрос о том, в какой степени могут быть связаны оценка дискретных объектов (количества) и оценка континуальных объектов (размеров). Ранее было выдвинуто предположение, что оценка количества без использования символов может осуществляться как прямо (прямая оценка количества), так и опосредованно, через оценку визуальных параметров (Кузьмина и др., 2019; Kuzmina & Malukh, 2022). При этом способ оценки может быть обусловлен форматом предъявления стимулов: раздельным или смешанным.

В текущем исследовании проверялась гипотеза о том, что точность несимволического сравнения в раздельном формате предъявления в большей степени коррелирует с точностью

сравнения визуальных параметров, которая оценивалась с помощью теста на сравнение площадей, в то время как точность оценки количества, которая измерялась тестом на сравнение количества и числа, будет больше коррелировать с точностью несимволического сравнения в смешанном формате. Кроме того, была произведена оценка эффекта пропорции во всех тестах и произведена оценка корреляции эффектов пропорции для разных тестов и форматов.

Полученные результаты показывают, что эффект пропорции в большей степени выражен в тесте несимволического сравнения и незначим в тесте на сравнение для оценки величин (например, Leibovich & Henik, 2014). Однако, детальное сравнение площадей. Эти данные отчасти противоречат ранее полученным данным о том, что эффект пропорции существует для сравнения визуальных континуальных параметров. Рассмотрение предыдущих исследований позволяет понять причину таких расхождений. В исследовании Leibovich & Henik (2014) было использовано задание на сравнение площадей квадратов, в то время как в нашем исследовании использовалось сравнение площадей «клякс». Представляется, что в целом сравнение площадей сложных фигур является более сложным процессом, чем сравнение площадей квадрата, для которого достаточно сравнить только две стороны. Во-вторых, в нашем исследовании использовались только два типа пропорции (условно простая, от 0,47 до 0,53 и условно сложная, от 0,72 до 0,75), в то время как в других исследованиях использовались больше типов пропорций и были более сложные пропорции (например, от 0,80 до 0,95). В исследовании Leibovich & Henik было показано, что уменьшение точности при увеличении пропорции в заданиях на сравнение площадей проявляется только для самых сложных пропорций, больше 0,85, до этой пропорции уменьшение точности не наблюдается. Если принимать во внимание эту особенность, то можно сделать вывод, что при сравнении континуальных параметров эффект пропорции появляется только при существенной большей пропорции, чем было использовано в нашем исследовании.

В нашем исследовании мы получили данные о том, что между эффектами пропорций для разных тестов, с одним исключением, нет значимых корреляций. С одной стороны, это может быть свидетельством того, что системы репрезентации количества и репрезентации континуальных величин – отдельные системы, что подтверждается и в предыдущих исследованиях (например, Odic, 2018; Leibovich & Henik, 2014). С другой стороны, отсутствие корреляций может быть объяснено спецификой расчета эффекта пропорции. Эффект пропорции рассчитывался как разница в точности между сложной и простой пропорцией. Ранее в некоторых исследованиях было показано, что эффект числовой пропорции имеет низкую надежность и низкую дисперсию (например, Lyons et al., 2015; Maloney, Risko, Preston, Ansari & Fugelsang, 2010; Chesney, 2018). Кроме того, показано, что любые показатели, рассчитанные как разница между двумя условиями, имеют более низкую надежность, чем показатели в любом из отдельных условий (Caruso, 2004).

Результаты регрессионного анализа не подтвердили выдвинутой гипотезы. С одной стороны, точность сравнения площадей значимо связана с точностью несимволического сравнения в обоих форматах. Более того, она имеет больший вклад в несимволическое сравнение в смешанном формате, что противоречит выдвинутой гипотезе. С одной стороны, полученные результаты могут свидетельствовать о том, что оценка визуальных параметров вовлечена в оценку количества независимо от формата. С другой стороны, ранее было показано, что в смешанном формате предъявления участники в меньшей степени ориентируются на оценку поверхностной площади или периметра, а в большей степени ориентированы на оценку

совокупной площади (суммы площадей всех занимаемых объектов). Эффект совокупной площади проявлялся даже для гетерогенных объектов, хотя в целом для них совокупные площади оценить сложнее (Кузьмина и др., 2020; Kuzmina & Malykh, 2022). Возможно, что в использованном варианте заданий, сравнение площадей в большей степени происходило с опорой на оценку совокупной площади, а не периметра. Сравнимые фигуры были сложной формы, для них оценка и сравнение периметров могут быть затруднены. В отдельном же формате предъявления, как было показано в предыдущих исследованиях, респонденты в большей степени ориентируются на оценку периметра или поверхностной оболочки (то, что в зарубежных исследованиях называется *convex hull*), оценка которого была в тесте на сравнение площадей не востребована в связи с особенностью сравниваемых фигур. Соответственно, в будущих исследованиях необходимо будет внести некоторые правки в задания на сравнение площадей. Во-первых, будет необходимо использовать более сложные типы пропорций для заданий на сравнение визуальных параметров. Во-вторых, необходимо будет использовать разные типы фигур, чтобы оценивать способность сравнивать не только совокупные площади, но и поверхностную оболочку.

Также сложно объяснить, почему точность теста на оценку количества (сравнение количества и числа) слабо коррелирует с точностью несимволического сравнения. Одно из возможных объяснений – это то, что данное задание предполагает способность мэппинга – соотнесения несимволической репрезентации количества с символическими обозначениями и вовлеченности системы символической репрезентации количества. По данным некоторых исследований, системы символической репрезентации количества и системы несимволической репрезентации – две разные системы, связь между которыми ослабевает по мере развития (например, Lyons, Nuerk, & Ansari, 2015; Sasanguie, De Smedt, & Reynvoet, 2017; Goffin & Ansari, 2019). Так как в нашем исследовании участвовали студенты, можно предположить, что в этом возрасте связь между символической и несимволической репрезентацией количества ослабевает, что отражается в низкой вовлеченности символической системы в несимволическое сравнение. Иными словами, для респондентов при сравнении двух наборов объектов нет необходимости переводить несимволическое количество в символическое обозначение, они могут сравнить наборы на основе либо визуальных параметров, либо прямо.

Также надо отметить, что одним из ограничений нашего исследования является небольшой размер выборки, что может приводить к снижению статистической мощности исследования и возрастанию вероятности ошибки 1 рода (Schönbrodt & Perugini, 2013; Akobeng, 2016). Поэтому полученные результаты необходимо проверить на более обширной выборке с учетом возможных исправлений дизайна тестов.

### **Заключение**

- Эффект пропорции в большей степени выражен в тесте несимволического сравнения и незначим в тесте на сравнение площадей.
- Между эффектами пропорций для тестов на сравнение площадей, оценку количества и несимволическое сравнение нет значимых корреляций, что противоречит идее общей системы оценки количества и величин.
- Точность сравнения визуальных параметров коррелирует с точностью несимволического сравнения и эта связь выше для смешанного/гетерогенного формата предъявления стимулов.

## Литература

- Кузьмина, Ю. В., Захаров, И. М., Исмагуллина, В. И., Лобаскова, М. М., Лысенкова, И. А., Маракшина, Ю. А., & Малых, С. Б. (2019). Интуитивное чувство числа: две системы оценки количества. *Теоретическая и экспериментальная психология*, 12(2), 19–38.
- Кузьмина, Ю. В., Лобаскова, М. М., Маракшина, Ю. А., Захаров, И. М., Исмагуллина, В. И., & Малых, С. Б. (2020). Связь точности несимволической репрезентации количества с оценкой визуальных параметров в разных условиях предъявления стимулов. *Теоретическая и экспериментальная психология*, 13(3), 6–21.
- Akobeng, A. K. (2016). Understanding type I and type II errors, statistical power and sample size. *Acta Paediatrica*, 105(6), 605–609. <https://doi.org/10.1111/apa.13384>
- Bueti, D., & Walsh, V. (2009). The parietal cortex and the representation of time, space, number and other magnitudes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1525), 1831–1840. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0028>
- Cappelletti, M., Gessaroli, E., Hithersay, R., Mitolo, M., Didino, D., Kanai, R., Cohen Kadosh, R., & Walsh, V. (2013). Transfer of Cognitive Training across Magnitude Dimensions Achieved with Concurrent Brain Stimulation of the Parietal Lobe. *Journal of Neuroscience*, 33(37), 14899–14907. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1692-13.2013>
- Caruso, J. C. (2004). A Comparison of the Reliabilities of Four Types of Difference Scores for Five Cognitive Assessment Batteries. *European Journal of Psychological Assessment*, 20(3), 166–171. <https://doi.org/10.1027/1015-5759.20.3.166>
- Chesney, D. (2018). Numerical distance effect size is a poor metric of approximate number system acuity. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 80(5), 1057–1063.
- Clayton, S., Gilmore, C., & Inglis, M. (2015). Dot comparison stimuli are not all alike: The effect of different visual controls on ANS measurement. *Acta Psychologica*, 161, 177–184. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2015.09.007>
- Creator, C., Sabathiel, S., & Solstad, T. (2021). Learning exact enumeration and approximate estimation in deep neural network models. *Cognition*, 215, 104815. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2021.104815>
- Dehaene, S. (2003). The neural basis of the Weber–Fechner law: A logarithmic mental number line. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(4), 145–147. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00055-X](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00055-X)
- Dietrich, J. F., Huber, S., & Nuerk, H.-C. (2015). Methodological aspects to be considered when measuring the approximate number system (ANS) – a research review. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00295>
- Dormal, V., & Pesenti, M. (2007). Numerosity-Length Interference: A Stroop Experiment. *Experimental Psychology*, 54(4), 289–297. <https://doi.org/10.1027/1618-3169.54.4.289>
- Dormal, V., Andres, M., & Pesenti, M. (2012). Contribution of the right intraparietal sulcus to numerosity and length processing: An fMRI-guided TMS study. *Cortex*, 48(5), 623–629. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.05.019>
- Fornaciai, M., Brannon, E. M., Woldorff, M. G., & Park, J. (2017). Numerosity processing in early visual cortex. *NeuroImage*, 157, 429–438. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.05.069>
- Gebuis, T., & Reynvoet, B. (2012). The Role of Visual Information in Numerosity Estimation. *PLoS ONE*, 7(5), e37426. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037426>
- Gebuis, T., Cohen Kadosh, R., & Gevers, W. (2016). Sensory-integration system rather than

- approximate number system underlies numerosity processing: A critical review. *Acta Psychologica*, 171, 17–35. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2016.09.003>
- Goffin, C., & Ansari, D. (2019). How Are Symbols and Nonsymbolic Numerical Magnitudes Related? Exploring Bidirectional Relationships in Early Numeracy: Bidirectionality in Early Numeracy. *Mind, Brain, and Education*, 13(3), 143–156. <https://doi.org/10.1111/mbe.12206>
- Hendryckx, C., Guillaume, M., Beuel, A., Van Rinsveld, A., & Content, A. (2021). Mutual influences between numerical and non-numerical quantities in comparison tasks. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 74(5), 843–852. <https://doi.org/10.1177/1747021820981876>
- Hurewitz, F., Gelman, R., & Schnitzer, B. (2006). Sometimes area counts more than number. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(51), 19599–19604. <https://doi.org/10.1073/pnas.0609485103>
- Kuzmina, Y., & Malykh, S. (2022). The effect of visual parameters on nonsymbolic numerosity estimation varies depending on the format of stimulus presentation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 224, 105514.
- Leibovich, T., & Henik, A. (2014). Comparing Performance in Discrete and Continuous Comparison Tasks. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67(5), 899–917. <https://doi.org/10.1080/17470218.2013.837940>
- Leibovich, T., Katzin, N., Harel, M., & Henik, A. (2017). From «sense of number» to «sense of magnitude»: The role of continuous magnitudes in numerical cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, 40, e164. <https://doi.org/10.1017/S0140525X16000960>
- Leibovich-Raveh, T., Stein, I., Henik, A., & Salti, M. (2018). Number and Continuous Magnitude Processing Depends on Task Goals and Numerosity Ratio. *Journal of Cognition*, 1(1), 19. <https://doi.org/10.5334/joc.22>
- Lyons, I. M., Nuerk, H.-C., & Ansari, D. (2015). Rethinking the implications of numerical ratio effects for understanding the development of representational precision and numerical processing across formats. *Journal of Experimental Psychology: General*, 144(5), 1021–1035. <https://doi.org/10.1037/xge0000094>
- Maloney, E. A., Risko, E. F., Preston, F., Ansari, D., & Fugelsang, J. (2010). Challenging the reliability and validity of cognitive measures: The case of the numerical distance effect. *Acta Psychologica*, 134(2), 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.01.006>
- Nieder, A. (2016). The neuronal code for number. *Nature Reviews Neuroscience*, 17(6), 366–382. <https://doi.org/10.1038/nrn.2016.40>
- Nieder, A., & Miller, E. K. (2003). Coding of Cognitive Magnitude. *Neuron*, 37(1), 149–157. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(02\)01144-3](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(02)01144-3)
- Odic, D. (2018). Children’s intuitive sense of number develops independently of their perception of area, density, length, and time. *Developmental Science*, 21(2), e12533. <https://doi.org/10.1111/desc.12533>
- Odic, D., & Halberda, J. (2015). Eye movements reveal distinct encoding patterns for number and cumulative surface area in random dot arrays. *Journal of Vision*, 15(15), 5. <https://doi.org/10.1167/15.15.5>
- Park, J., DeWind, N. K., Woldorff, M. G., & Brannon, E. M. (2016). Rapid and Direct Encoding of Numerosity in the Visual Stream. *Cerebral Cortex*, bhv017. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhv017>
- Piazza, M., Pinel, P., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2007). A Magnitude Code Common to Numerosities and Number Symbols in Human Intraparietal Cortex. *Neuron*, 53(2), 293–305. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2006.11.022>



- Price, G. R., Palmer, D., Battista, C., & Ansari, D. (2012). Nonsymbolic numerical magnitude comparison: Reliability and validity of different task variants and outcome measures, and their relationship to arithmetic achievement in adults. *Acta Psychologica*, 140(1), 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2012.02.008>
- Ross, J., & Burr, D. C. (2010). Vision senses number directly. *Journal of vision*, 10(2), 1–8.
- Sasanguie, D., De Smedt, B., & Reynvoet, B. (2017). Evidence for distinct magnitude systems for symbolic and non-symbolic number. *Psychological Research*, 81(1), 231–242.
- Sasanguie, D., Defever, E., Van den Bussche, E., & Reynvoet, B. (2011). The reliability of and the relation between non-symbolic numerical distance effects in comparison, same-different judgments and priming. *Acta Psychologica*, 136(1), 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.10.004>
- Schönbrodt, F. D., & Perugini, M. (2013). At what sample size do correlations stabilize? *Journal of Research in Personality*, 47(5), 609–612. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2013.05.009>
- Smets, K., Moors, P., & Reynvoet, B. (2016). Effects of Presentation Type and Visual Control in Numerosity Discrimination: Implications for Number Processing? *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00066>
- Sokolowski, H. M., Fias, W., Mousa, A., & Ansari, D. (2017). Common and distinct brain regions in both parietal and frontal cortex support symbolic and nonsymbolic number processing in humans: A functional neuroimaging meta-analysis. *NeuroImage*, 146, 376–394. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.10.028>
- Testolin, A., Zou, W. Y., & McClelland, J. L. (2020). Numerosity discrimination in deep neural networks: Initial competence, developmental refinement and experience statistics. *Developmental Science*, 23(5). <https://doi.org/10.1111/desc.12940>
- Van Rinsveld, A., Guillaume, M., Kohler, P. J., Schiltz, C., Gevers, W., & Content, A. (2020). The neural signature of numerosity by separating numerical and continuous magnitude extraction in visual cortex with frequency-tagged EEG. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(11), 5726–5732. <https://doi.org/10.1073/pnas.1917849117>
- Walsh, V. (2003). A theory of magnitude: Common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(11), 483–488. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.09.002>

Поступила в редакцию: 02.12.2022

Поступила после рецензирования: 21.03.2023

Принята к публикации: 23.03.2023

#### Заявленный вклад авторов

**Юлия Владимировна Кузьмина** – определение методологии, анализ полученных данных, подготовка драфта рукописи.

**Юлия Александровна Маракшина** – определение методологии, сбор данных и их первичная подготовка.

**Марина Михайловна Лобаскова** – сбор и анализ данных.

**Сергей Борисович Малых** – концептуализация, обратная связь, общее руководство подготовкой рукописи.

### Информация об авторах

**Юлия Владимировна Кузьмина** – кандидат психологических наук, старший научный сотрудник Центра психометрики и измерений в образовании Института образования, НИУ «Высшая школа экономики», старший научный сотрудник Лаборатории возрастной психогенетики, ФГБНУ «Психологический институт РАО», г. Москва, Российская Федерация; WOS ResearcherID: I-3187-2015; Scopus AuthorID: 57193276706; SPIN-код РИНЦ: 9995-0240; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4243-8313>; e-mail: [papushka7@gmail.com](mailto:papushka7@gmail.com)

**Юлия Александровна Маракшина** – кандидат психологических наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Психологический институт РАО», г. Москва, Российская Федерация, WOS ResearcherID: R-6453-2016; Scopus Author ID: 57221745880; SPIN-код РИНЦ: 8829-3771; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7559-9148>; e-mail: [retalika@yandex.ru](mailto:retalika@yandex.ru)

**Марина Михайловна Лобаскова** – кандидат психологических наук, старший научный сотрудник ФГБНУ «Психологический институт РАО», г. Москва, Российская Федерация; Scopus Author ID: 15044892100; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0318-6480>; e-mail: [lobaskovamm@gmail.com](mailto:lobaskovamm@gmail.com)

**Сергей Борисович Малых** – профессор, доктор психологических наук, академик РАО, Руководитель лаборатории возрастной психогенетики, ФГБНУ «Психологический институт РАО», г. Москва, Российская Федерация; WOS ResearcherID: I-3697-2013; Scopus Author ID: 6701707734; SPIN-код РИНЦ: 1396-8088; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3786-7447>; e-mail: [malykhsb@mail.ru](mailto:malykhsb@mail.ru)

### Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.