

УДК 612.821

## ЯВЛЯЕТСЯ ЛИ ТРАНЗИТОРНЫЙ ЛЕВО-ПРАВОСТОРОННИЙ АНТАГОНИЗМ АРХАИЧНЫМ<sup>1</sup> ПРИЗНАКОМ НЕЗРЕЛОСТИ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ?

© 2021 г. Ч. Ньюкиктъен<sup>1</sup>, \*, В. ван Грюнсвен<sup>2</sup>, Э. Остербос<sup>3</sup>, Э. Нуйц<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Центр изучения дисфазии развития, Амстердам, Нидерланды

<sup>2</sup>Институт реабилитации трудностей обучения,  
Эйндховен, Нидерланды

<sup>3</sup>RXL Университет прикладных наук и искусств, Хасселт, Бельгия

<sup>4</sup>Университет Хассельта, Дипенбек, Бельгия

\*E-mail: cn@suyi.nl

Поступила в редакцию 05.01.2021 г.

После доработки 13.05.2021 г.

Принята к публикации 26.05.2021 г.

Цель данного исследования — продемонстрировать, что дети младшего возраста еще не способны к осуществлению синхронных билатеральных симметричных движений руками и ногами, а у меньшей части из них даже наблюдается тенденция к осуществлению двусторонних лево-правосторонних антагонистических движений, которые рассматриваются как архаичные “туловищные движения”, исчезающие с возрастом. В исследовании участвовали 97 детей (48 мальчиков и 49 девочек) с типичным развитием: 49 детей младшего возраста (ДМВ) (3 г. 0 мес.—3 г. 12 мес.) и 48 детей дошкольного возраста (ДДВ) (4 г. 0 мес.—4 г. 12 мес.), которых просили повторить два типа билатеральных движений после соответствующей демонстрации, в частности, медленные движения руками с проксимальной ротацией в сагиттальной плоскости и дистальной пронацией-супинацией с последующим ускорением по просьбе исследователя. Расчеты по различиям проводились с использованием логистического регрессионного анализа. Все дети были способны к осуществлению данных движений, однако у ДМВ наблюдалась менее выраженная проксимальная синхронизация рук по сравнению с ДДВ. Проксимальные антагонистические движения чаще наблюдались у ДМВ, чем у ДДВ, с уменьшением выраженности с возрастом, при этом различия чаще проявлялись после ускорения выполнения движений. Также отмечалось снижение выраженности различий по мере взросления для дистальных бимануальных движений, однако меньшее число отличий были оценены как значимые. У ДМВ еще не полностью достигли этапа, когда бимануальные движения становятся симметричными и синхронными, но при этом симметричность движений в конечностях проксимально развивается раньше, чем дистально. У небольшой части детей, главным образом, у ДДВ, наблюдается возврат к произвольному бимануальному антагонизму, что подтверждает гипотезу P. Mesker, называвшему их “туловищные движения”. В данной работе авторы обращают внимание на относительно неизвестный паттерн младенческих рефлексов, антагонистические движения, сохранение которых является признаком незрелости. Это может являться компонентом расстройства развития координации (DCD).

**Ключевые слова:** архаичные лево-правосторонние антагонизмы, принцип эволюционного развития, бимануальное/двустороннее моторное развитие, неврологическое созревание, движения туловища.

DOI: 10.31857/S0131164621050076

Еще в 50-е гг. XX века французские клиницисты обратили внимание и весьма тщательно изучили паттерны транзиторных рефлексов у новорожденных [1, 2]. В дальнейшем эти рефлексорные паттерны были включены в алгоритм полного об-

следования новорожденного [3], а также в алгоритмы обследования детей младшего и дошкольного возраста [4–6].

Персистирующие младенческие рефлексы и соответствующие движения (синкинезии) назывались “легкими”, “мягкими” или “скрытыми” неврологическими симптомами. Как предполага-

<sup>1</sup> Архаичный — эволюционно древний.



**Рис. 1.** Непроизвольная архаичная двигательная функция в первые несколько месяцев после рождения. *А* – бимануальная антагонистическая ротация предплечий. Четырехмесячный мальчик производит движения по типу пронации-супинации правым предплечьем, смотря на него, с одновременной пронацией левого предплечья. Это – произвольное антагонистическое туловищное движение; *Б* – бимануальные антагонистические сгибательно-разгибательные движения кистей и предплечий. 6-недельная девочка разгибает правое предплечье и кисть и одновременно она сгибает руку в суставах предплечья и кисти слева, в то время как голова повернута вправо. Одновременно представлено произвольное дорсовентральное антагонистическое туловищное движение и паттерн АШТР.

лось, их персистенция, которая могла отрицательно сказываться на моторной функции, отражала состояние неврологического развития ребенка. В других исследованиях, направленных на изучение проявлений отсутствия “неврологической целостности” с дошкольного возраста, такие проявления называли “минимальная неврологическая дисфункция” (МНД) [7–9].

В целом ряде алгоритмов неврологического обследования детей старшего возраста был включен элемент оценки синкинезий [7–14]. Хотя вышеупомянутые французские специалисты и описывали их у новорожденных, ни один из этих авторов не дал описание того, что мы называем (антагонистическими) архаичными туловищными движениями. Некоторые авторы отмечали наличие таких движений [15–17], однако ни классифицировали их как архаичные или каким-либо иным образом, ни придавали этому какой-либо клинической значимости. Опубликовано два экспериментальных исследования, в которых антагонистические произвольные движения у детей интерпретировались как туловищные движения [18, 19].

Синкинетические паттерны, рассматриваемые в настоящей публикации, называются архаичными туловищными движениями, поскольку они, как предполагается, являются филогенетическими отголосками аксиальных движений. Движения туловища по определению являются билатерально антагонистическими, поскольку их возникновение связано с антагонистическим взаимодействием гомологичных мышц левой и пра-

вой половины тела в случае вращения по оси позвоночника. Когда у приматов две конечности перемещаются одновременно вокруг собственной оси (как при пронации-супинации), но в противоположном друг другу направлении, такое перемещение равнозначно туловищным движениям (рис. 1, *А*).

Архаичные антагонистические движения конечностей впервые назвал “туловищными движениями” датский нейропсихиатр *P. Mesker* [20], который связывал их с вытянутым носом слона, обладающим хватательной функцией, как продолжением оси головы и тела. Он предложил следующую концепцию филогенетически древнего происхождения этих движений: онтогенез моторной функции руки человека имеет сходные черты с симметрично перемещающимися парными плавниками рыб и передними конечностями земноводных (более подробно см. раздел “Обсуждение результатов”). Функции конечностей земноводных, направленные на обеспечение локомоции, у приматов развились в две независимо функционирующие передние конечности, используемые для выполнения желаемых действий. У новорожденных детей наблюдаются архаичные симметричные движения верхних конечностей, а также остаточные антагонистические туловищные моторные движения (*P. Mesker* обращал внимание только на последние).

В первые месяцы после появления на свет моторная функция рук сохраняет признаки произвольных архаичных моторных действий. Это проявляется не только в архаичных симметрич-

ных движениях [21], но также и в произвольной дорсовентральной антагонистической флексии-экстензии, иногда напоминающей транзиторный так называемый асимметричный шейно-тонический рефлекс (АШТР) (рис. 1, Б), и, кроме того, в бимануальной произвольной антагонистической пронации-супинации (рис. 1, А). Кроме этого, лево-правосторонние антагонистические моторные паттерны наблюдаются у новорожденных как транзиторные лево-правосторонние локомоторные движения при удержании их вертикально [1, 6] и как транзиторное произвольное ползание в положении лежа на животе на наклонной плоскости [1].

Вторая часть концепции *P. Mesker* (тема настоящей работы) касается особенностей дальнейшего бимануального развития, которое можно разбить в широком смысле на три частично перекрывающихся этапа: 1) бимануальная моторная функция, исходно некоординированная и несинхронизированная у новорожденных, с симметричными, а также с туловищными движениями, развивается в асинхронную бимануальную функцию с остаточными туловищными движениями у ДМВ, а затем в 2) синхронную симметричную бимануальную функцию в возрастном диапазоне от 3 до 5 лет (тема настоящего исследования), и наконец в 3) стабильную независимую унимануальную функцию и оптимальное бимануальное взаимодействие без остаточных архаичных туловищных движений или прочих синкинезий. Этот этап развития наблюдается уже в старшем детском возрасте, после 9 лет, и был, вместе со 2 этапом, продемонстрирован в исследовании с участием 413 детей 3–10 лет [22]. На этом этапе в действиях также наблюдаются паттерны физиологических туловищных движений.

**Предмет исследования.** У младенцев наблюдается переход от одностороннего к двустороннему вытягиванию рук к предмету в течение первого года жизни [23], однако такое моторное поведение стабилизируется на этапе симметричности по *P. Mesker* только в возрасте от 3 до 5 лет. Бимануальный симметричный тип движений изучался, главным образом, у взрослых, особенно при пронации-супинации, так называемый “стандартный режим” [24, 25], хотя его исследования проводились и у детей [26, 27]. В начале этапа симметричного развития ДМВ начинают производить бимануальные симметричные движения при произвольных действиях и, более того, они могут демонстрировать их в ходе формализованного осмотра (рис. 2). Однако такие движения исходно далеки от синхронности и у ДМВ они легко возвращаются к произвольным антагонистическим движениям (туловищные движения). До сегодняшнего дня не проводилось систематического изучения этого явления или попыток его интерпретировать как архаичное.



**Рис. 2.** Схема движения рук. А – билатеральные круговые движения руками в сагиттальной плоскости (Задание 1). Б – бимануальные симметричные движения по типу пронации-супинации (Задание 2). (По рисункам Ганса де Бира).

Бимануальные туловищные движения кистей и предплечий (т.е. флексия/экстензия, рис. 1, Б), а также билатеральные вращательные туловищные движения предплечий (рис. 1, А) у детей первого года жизни являются транзиторными, их частотность снижается на симметричном этапе у ДДВ и в норме они впоследствии исчезают. Этот аспект не подвергался систематическому изучению и является темой настоящего исследования.

Существенное ускорение движений, повышение скорости которых производилось по команде, интерпретируется как стрессорное воздействие, которое приводит к тому, что моторная система теряет способность осуществлять движения подобного типа и возвращается к движениям, присущим более раннему этапу развития, в данном случае – к туловищным моторным предпочтениям.

Поскольку туловищные движения у ДМВ встречаются редко, возникает вопрос, вызывает ли их моторный стресс (ускорение), не ослабляется ли данная предрасположенность с возрастом и не исчезает ли она у ДДВ?

Если тенденция к возвращению туловищных движений под стрессорным воздействием фактора ускорения выполнения задания ослабляется с возрастом, имеются ли отличия для движений проксимального (задание 1) и дистального типов (задание 2)?

Для всех рассматриваемых параметров также изучался вопрос, зависели ли полученные данные измерений у детей от возраста, пола и/или доминантной руки.

Часто можно услышать, как говорят о бимануальных альтернирующих или асимметричных движениях, которые для мышц являются лево-

**Таблица 1.** Описательная статистика по возрасту, доминантной руке и полу

Возрастные классы (мес.)	Частота	Проценты
36–40	25	25.77
42–47	24	24.74
48–53	20	20.62
54–60	28	28.87
Все дети	97	100.00
Доминантная рука	Частота	Проценты
Правша	83	85.57
Левша	9	9.28
Со сменой рук	5	5.15
Пол	Частота	Проценты
Девочки	49	50.52
Мальчики	48	49.48

правосторонними антагонизмами. В этой статье не используются термины “альтернирующий” или “асимметричный”. Термин “туловищные движения” в настоящей работе всегда применяется в соответствии с концепцией *P. Mesker*.

## МЕТОДИКА

Модель развития, описанная в настоящей работе, относится, главным образом, к бимануальным движениям в алгоритме неврологического обследования.

Исследование и отбор проводили в трех детских садах г. Хассельт (Бельгия), посещаемых обычными детьми младшего (ДМВ) и дошкольного возраста (ДДВ). Все дети-воспитанники указанных детских садов (105) принимали участие в исследовании. Из 105 детей восемь не желали сотрудничать: полученные от них данные не включены в анализ (табл. 1). Данные описательной статистики по возрасту, доминантной руке и полу описаны далее.

Исследование проводили двое студентов, изучающих реабилитационную терапию. Им был известен только протокол исследования, по которому с ними был проведен соответствующий тренинг, но не гипотезы, лежащие в его основе. Стул первого исследователя помещали в углу пустой классной комнаты. Перед ним стоял стол с табуретом. Второй исследователь с камерой стоял сбоку за спиной первого.

Каждый ребенок находился в пределах лежащего на полу обруча, что позволяло в некоторой степени ограничить его/ее движения.

### План исследования:

1) Ребенка просили сесть на табурет (начало записи).

2) Первый исследователь записывал инициалы ребенка и номер участника исследования большими буквами на листе формата А4, и затем этот лист снимали на камеру. Лист переворачивали и использовали согласно описанию в Пункте 3.

3) Перед ребенком в центре стола лежал карандаш. Исследователь говорил: “Пожалуйста, нарисуй карандашом круг на листе”. Отмечалась доминантная рука при рисовании (левая или правая).

4) Затем стол отодвигали в сторону и исследователь говорил: “Пожалуйста, встань в обруч”.

5) После этого ребенка просили выполнить моторные задания 1 и 2 в обычной последовательности.

б) Вся сессия целиком фиксировалась посредством видеосъемки. Соответствующие оценки производили отдельно при просмотре полученных видеозаписей.

*Задание 1. Билатеральные круговые движения руками в сагиттальной плоскости* (рис. 2, А). Первый исследователь говорил: “Можешь повторить за мной?”, производя симметричные движения двумя руками в сагиттальной плоскости в течение примерно четырех секунд, выполняя это медленно, со скоростью примерно один полный цикл в секунду. Первый исследователь останавливался, как только ребенок начинал делать какие-то движения и повторял: “Продолжай...”, “Продолжай...”, а затем, после примерно пяти циклов спрашивал: “Ты можешь быстрее, ... еще быстрее?” Ребенка просили остановиться после пяти секунд быстрых движений. При выполнении всех задач ребенок производил движения так, как хотел, без попыток исправить.

*Задание 2. Бимануальная супинация-пронация* (рис. 2, Б). Ребенка просили производить бимануальные симметричные движения с пронацией-супинацией, после соответствующей демонстрации: предплечье согнуто под углом 90° к плечу. Инструкции и оценку производили таким же образом, как и при выполнении Задания 1.

В табл. 2 представлены параметры, по которым проводили оценку движений ребенка, применимые к заданиям 1 и 2.

*Присвоение оценочных баллов и критерии.* Результаты наблюдений оценивали в соответствии с протоколом в табл. 2. Баллы присваивали четыре наблюдателя, а именно, два студента, первый и третий авторы настоящей работы. Перед этим все они вместе просматривали три видеофрагмента для выработки общего подхода по оценке в баллах. Типы движений в задачах оценивали на основании следующего критерия – наблюдатель отметил, как минимум, один полный цикл движений

**Таблица 2.** Стандартная оценка наблюдений при выполнении двух заданий на бимануальную моторику

Пункт	Задание 1. Движения руками в сагиттальной плоскости. Ребенок ... (Пункты 1–7)	Ответ
1/8	Сразу же выполняет синхронные симметричные движения (практически синфазно)	Да/Нет
2/9	Продолжает выполнять симметричные движения в сагиттальной плоскости	Да/Нет
После просьбы ускориться и ее эффективного выполнения:		
3/10	Сразу же начинает проделывать другие движения	Да/Нет
4/11	После нескольких симметричных движений начинает проделывать другие движения	Да/Нет
5/12	Не выполняет симметричные движения (несколько не синхронно)	Да/Нет
6/13	Проделывает явные антагонистические лево-правосторонние движения	Да/Нет
7/14	Производит хаотичные движения (не распознаваемые как стабильно симметричные или билатеральные антагонистические)	Да/Нет
Задание 2. Супинация-пронация. Ребенок ... (пункты 8–14)		

*Примечание:* пронумерованные пункты такие же, как в табл. 4.

соответствующего типа (симметричное агонистическое или антагонистическое).

**Отказ от сотрудничества.** Если один из наблюдателей отмечал, что ребенок отказывается сотрудничать, то данные ребенка не учитывали в наборе данных для задания, которое он отказался выполнять, даже если у других наблюдателей сложилось впечатление, что ребенок сотрудничал.

**Консенсусное мнение.** Четыре наблюдателя не всегда давали одинаковый ответ. Считали, что ответ, данный большинством, является корректным. Если большинство отсутствовало, то ответ, данный первым и третьим авторами, использовали как корректный.

**Статистический анализ и извлечение данных.** Исходно детей делили на четыре возрастных группы – 36–41, 42–47, 48–53 и 54–60 мес. (табл. 1).

**Статистическая значимость используемых значений.** Граничное значение статистической значимости – 0.05. Однако, поскольку показатель  $p$  по полу был равен значению в диапазоне от 0.05 до 0.10 пять раз с различиями только в одном направлении, то у пола также присутствует тенденция быть значимым показателем. Таким образом, решили указывать результаты, являющиеся “практически статистически значимыми”, т.е. результаты с показателем  $p$  в диапазоне от 0.05 до 0.10.

Исследование было направлено, скорее, на выявление потенциальных предикторов, а не на проверку заранее выработанных гипотез. Важно было увидеть, появятся ли какие-либо повторяю-

щиеся комбинации предикторов для полного набора из 16 пунктов. Поэтому применяли более мягкое граничное значение уровня значимости, т.е.  $\alpha$ -уровня ( $p < 0.10$ ), вместо классического варианта ( $p < 0.05$ ). Чтобы понять, как возраст связан с 16 пунктами, также тестировали, какие диапазоны изменения возраста обладают максимальной прогностической мощностью. В случаях, когда бинарное представление возраста (показатель [моложе возраста  $Z$ ] по сравнению с показателем [старше возраста  $Z$ ]) обладает максимальной прогностической мощностью, можно предположить наличие “скачка” показателей выполнения задания в данном возрасте. Если возраст применялся как непрерывная переменная (т.е. возраст может быть любым числом в диапазоне от 36 до 60 мес.), то тогда возраст обладает максимальной прогностической мощностью, и это позволяет предположить наличие более медленного, более равномерного улучшения показателей выполнения задания.

Иногда невозможно адекватно произвести расчеты для логистической регрессии по причине квазипольного разделения измерительных точек. В настоящем исследовании это происходило тогда, когда только для небольшого числа детей была получена оценка “неоптимальное” или “плохое” при выполнении какого-либо пункта задания, при этом все эти дети относились к какой-либо одной группе. При возникновении данной проблемы применяли точный критерий Фишера.

**Таблица 3.** Подразделение детей на две равные возрастные группы, так называемая Возрастная классификация 1

Количество участников: 97	Оценено детей		Рейтинг	Проценты	Выбывшие
	мальчики	девочки			
ДМВ: 36–47 мес.	23	26	49	51	
ДДВ: 48–60 мес.	25	23	48	49	
Всего	48	49	97	100	8 отказов из 105

*Примечание:* ДМВ – дети младшего возраста; ДДВ – дети дошкольного возраста.

В логистической регрессии взаимоотношения между значениями  $X$  и значением  $Y$  являются нелинейными. Возрастание или снижение вероятности для  $Y$  – “оптимально” не может быть непосредственно определено по коэффициентам для переменных  $X$ . Это можно рассчитать, если имеется серьезная необходимость, однако это будет достаточно сложно, и в настоящем исследовании такой подход не приведет к улучшению понимания нами поведения ребенка. В случае представленного в настоящей работе исследования существенно, что положительный/отрицательный коэффициент для независимой переменной  $X_i$  означает, что вероятность зависимой переменной  $Y$  оказаться “оптимальной” увеличивается/уменьшается.

Поскольку продемонстрированные методы анализа показали, что такое разделение на четыре группы не дало статистически значимых результатов, детей разделили на две возрастные группы: 36–47 и 48–60 мес. (табл. 3).

При применении некоторых аналитических методов дихотомия [36–47 мес.] и [48–60 мес.], называемая Возрастная классификация 1, дала наиболее статистически значимые результаты. Тем не менее, некоторые из аналитических методов максимально четко указали на наличие статистически значимого тренда при расчетах на основании дихотомии [36–41 мес.] и [42–60 мес.], называемой Возрастная классификация 2, а некоторые аналитические методы яснее указывали на наличие тренда в случае, когда все возрастные группы объединяли без разделения на классы по возрасту (возраст мог быть любым числом в диапазоне от 36 до 60 мес.), что в данной работе называется Без возрастных отличий.

Для проведенных анализов указываются только компоненты с наиболее статистически значимыми результатами (табл. 4).

При помощи пошаговой логистической регрессии измеряли влияние возраста, пола и доми-

нантной руки (независимые переменные) по 14 рейтинговым оценкам для пунктов заданий 1 и 2, по которым проводили наблюдение (табл. 2) (зависимые переменные).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках статистического анализа оценивали различные виды группировки по возрасту и доминантной руке. В табл. 4 представлены группировки с наиболее статистически значимыми результатами.

*Общие выводы для заданий 1 и 2 (табл. 4):*

1) Доминантная рука ни в одном случае не была показана как фактор, позволяющий объяснить выявленные различия.

2) Пол часто демонстрировал всего лишь минимально статистически значимую связь с выполнением задач. В случаях, когда связь между полом и поведением присутствовала, результаты у мальчиков всегда были хуже.

3) В случаях, когда присутствовала связь между возрастом и поведением, результаты у детей старшего возраста всегда были лучше.

4) Имеется ли возрастное граничное значение для конкретного типа поведения (Возрастная классификация 1 vs. Возрастная классификация 2 – значимо), или улучшение представляется более постепенным (Без возрастных отличий – значимо), или поведение, которое оценивается как “выполнено хорошо”, не имеет статистически значимой связи с возрастом.

*Результаты выполнения каждого задания (по табл. 4):*

*Задание 1. Билатеральные движения руками в сагиттальной плоскости до ускорения* (табл. 2, пункты 1–7; результаты представлены в табл. 4). Согласно расчетам на основании Возрастной классификации 2 непосредственно после получения указаний ДМВ производили симметричные

**Таблица 4.** Результаты применения метода пошаговой логистической регрессии (и односторонний точный критерий Фишера)

Зависимые переменные	Замечания	Пол	Возраст	Дом. рука
<i>Пункты задания 1</i>				
1		Мальчики хуже ( $p < 0.10$ )	[42–60] лучше, чем [36–41] ( $p < 0.01$ )	н/з
2		н/з	ДДВ лучше (непрерывные данные, $p < 0.001$ )	н/з
После ускорения				
3		н/з	ДДВ лучше (непрерывные данные, $p < 0.001$ )	н/з
4		Мальчики хуже ( $p < 0.10$ )	[48–60] лучше, чем [36–47] ( $p < 0.05$ )	н/з
5		Мальчики хуже ( $p < 0.10$ )	[48–60] лучше, чем [36–47] ( $p < 0.05$ )	н/з
6		н/з	[42–60] лучше, чем [36–41] ( $p < 0.01$ )	н/з
7	Квазипольное разделение экспериментальных точек по полу	Мальчики хуже (точный критерий Фишера: $p < 0.05$ )	н/з	н/з
<i>Пункты задания 2</i>				
8		Мальчики хуже ( $p < 0.05$ )	[42–60] лучше, чем [36–41] ( $p < 0.05$ )	н/з
9		Мальчики хуже ( $p < 0.10$ )	[48–60] лучше, чем [36–47] ( $p < 0.05$ )	н/з
После ускорения				
10	Ничего значимого	н/з	н/з	н/з
11		Мальчики хуже ( $p < 0.10$ )	н/з	н/з
12	Ничего значимого	н/з	н/з	н/з
13	Ничего значимого	н/з	н/з	н/з
14	Ничего значимого	н/з	н/з	н/з

*Примечание:* ДДВ – 48–60 мес. или 42–60; ДМВ – 36–41 мес. Числовые переменные как в табл. 2. Возрастные группы, применяемые для расчетов, были либо непрерывными от младшего к старшему возрасту, либо дихотомизированными по Возрастной классификации 1, [36–47 мес.] и [48–60 мес.], или по Возрастной классификации 2, [36–41 мес.] и [42–60 мес.] – не значимо.

движения реже, чем ДДВ, начав выполнение движений в сагиттальной плоскости (Пункт 1), а затем, если взять возраст как непрерывный показатель (табл. 4), видно, что они реже продолжали производить симметричные движения (Пункт 2).

*Задание 1. Билатеральные круговые движения руками в сагиттальной плоскости после ускорения.*

Используя возраст как непрерывный показатель, можно отметить, что ДМВ сразу же выполняли движения, не являющиеся требуемыми симметричными, существенно чаще, чем ДДВ (Пункт 3), и такое отличие представляется дифференцирующим: Согласно Возрастной классификации 1 после нескольких симметричных движений ДМВ



**Рис 3.** Различия между проксимальными и дистальными билатеральными движениями у ДМВ и ДДВ до просьбы ускориться и после ускорения.

*А* – произвольные сагиттальные антагонистические движения у 38-месячного мальчика. После ускорения дети младшего возраста (ДМВ) проделывали антагонистические (туловищные) движения в сагиттальной плоскости; *Б* – произвольная антагонистическая пронация-супинация у мальчика. Произвольные антагонистические движения после нескольких симметричных движений пронации-супинации с низкой скоростью. Правая рука проделывает ипсилатеральные синкинетические движения в локте, которые называют “ипсилатеральная проксимальная синкинезия”; *В* – супинация-пронация с “потерей синхронизации” после ускорения у ДМВ (возраст – 39 мес.). После ускорения движения могут приобрести асинхронность без развития в полноценный туловищный цикл. При быстрой смене движений этих типов создается общее впечатление их хаотичности.

проделывали иные несимметричные движения (Пункт 4) или даже начинали выполнять антагонистические движения до некоторой степени и терять синхронность (Пункт 5) или, согласно Возрастной классификации 2, они чаще явно демонстрировали билатеральный антагонизм (Пункт 6, рис. 3, *А*) по сравнению с ДДВ.

*Задание 2. Бимануальная пронация-супинация* (табл. 2, Пункты 8–14). У ДМВ наблюдается меньше значимых отличий от ДДВ в целом при выполнении этого задания по сравнению с Задачей 1. По Возрастной классификации 2 ДМВ реже, чем ДДВ, начинают сразу же выполнять симметричные движения в начале циклов пронации-супинации (Пункт 8), а по Возрастной классификации 1 они несколько чаще выполняют движения, отличные от требуемых (Пункт 9).

*Задание 2. Бимануальная пронация-супинация после ускорения.* Эффект ускорения супинации-пронации не отличается для ДМВ и ДДВ. После ускорения некоторые дети теряют синхронность движений (Пункт 12, рис. 3, *В*).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

*Различия между проксимальными и дистальными билатеральными движениями у ДМВ и ДДВ до просьбы ускориться и после ускорения.* При выполнении Задания 1 наблюдаются следующие возрастные различия. С самого начала выполнения задачи на малой скорости ДМВ делают это с меньшей синхронностью по сравнению с ДДВ. После ускорения синхронность падает и профиль движений даже меняется на бимануальный антагонизм (туловищные движения), причем у ДМВ

больше, чем у ДДВ. Ускорение сразу нарушает движения у большего числа ДМВ, чем ДДВ (Пункт 3), как видно в случае нарушения синхронности симметричных движений (Пункт 5) и появления антагонистических движений (Пункт 6). Все это указывает на более развитые проксимальные движения с немногочисленными антагонистическими (туловищными) движениями у ДДВ. В совокупности, можно сказать, что наблюдается повышение стабильности проксимальных синхронных движений в плечевой части рук с возрастом и ослабление тенденции к возврату к антагонистическим движениям (рис. 3, А).

В Задании 2 результаты у ДМВ также были хуже на низкой скорости по сравнению с ДДВ. Стресс с ускорением приводил к нарушению дистальной пронации-супинации, но при этом не была показана его связь с возрастным фактором. Это позволяет предположить, что в случае более дистальных движений ДДВ все еще похожи на ДМВ, что может говорить о том, что развитие проксимально-аксиальных движений происходит раньше, чем дистальных ротационных движений предплечья.

Все дети выполняли задачу с сагиттальными движениями руками, однако их качество было хуже в целом у ДМВ по сравнению с ДДВ, в том числе после просьбы ускориться. Полученные данные соответствуют результатам, приведенным в работе *W. van Grunsven et al.* [22], указавшем на нарастающую синхронность в диапазоне от трех до пяти лет для сагиттальных движений и ослабление туловищных движений.

Подробный анализ данных указывает на индивидуальные различия исследуемых показателей: некоторые из ДМВ смогли продемонстрировать бимануальные синхронные движения хорошего качества, даже после ускорения, в то время как у других ДДВ моторные навыки не отличались от ДМВ. Пресимметричные и симметричные моторные стадии по *P. Mesker* связаны с процессами биологического созревания и накладываются друг на друга, если авторы настоящей работы использовали календарный возраст в качестве произвольного критерия.

Хотя движения часто оцениваются с “клинической точки зрения” как синхронные, в реальности истинная синхронность никогда не достигается, даже у взрослых. В лабораторных условиях не-доминирующая рука (как правило, левая) движется с некоторым отставанием от доминирующей [24, 28, 29].

Хаотичные движения проявляются, очевидно, после ускорения, без каких-либо отличий между ДМВ и ДДВ. Однако на видео с замедленной съемкой видно, что эти движения состоят из симметричных движений, которые неожиданно прерываются короткими периодами антагонизма

(один двигательный цикл или короче) либо асинхронности, когда одна из сторон отстает от другой, после чего ребенок возобновляет симметричные движения. Антагонистические (туловищные) движения произвольным образом оценивали после завершения цикла, однако иногда одна рука/кость отставала от другой, что выглядело как антагонизм или “потеря синхронности”; фактически, это напоминает незавершенный антагонистический цикл (рис. 3, В).

*В данной работе предложены стадии младенческая и пресимметричная.* Тенденции к произвольным симметричным движениям проявляются очень рано и перемежаются антагонистическими движениями [30]. *H. D'Souza et al.* [21] изучали “посторонние движения” в неактивной руке при хватании у 9–12-месячных детей: авторы рассматривали их как симметричные для 1/8 от всех действий, особенно если задания были сложными, и считали их “рудиментом прошедшей эволюции”. В 7/8 случаев всех действий наблюдались иные, безымянные посторонние движения. На рис. 1 в работе [21] у ребенка в эксперименте наблюдается такой же бимануальный антагонизм, что и в настоящей работе на рис. 1, Б.

Непроизвольный предшествующий симметричного самопроизвольного движения может наблюдаться как зеркальные движения при манипуляциях одной рукой у младенцев в возрасте от 4.5 до 7.5 мес. [31]. Однако в работе *K.C. Soska* [31] “абсолютное большинство избыточных движений были просто присоединенными незеркальными движениями, не очень точными. У некоторых младенцев отмечалось, что, если ребенок тряс запястьем в направлении слева направо, то второе запястье могло двигаться в противоположном направлении; это происходило редко, но, тем не менее, мы это наблюдали”.

*Филогенетические следы туловищных движений.* *G.E. Cogill* [32] писал: “В ходе развития конечностей земноводной саламандры *Amblystoma* они изначально использовались исключительно как часть мышечной системы туловища, без возможности независимых движений”. Новые исследования показали, что наши руки, скорее всего, действительно развились из плавников доисторических рыб [33], появившихся как продолжение их туловища. Парные плавники и, в итоге, конечности развивались из структуры, напоминающей жаберную дугу хрящекостных рыб. Предположение о развитии парных конечностей, в частности наших рук, из плавников рыб подтверждается открытием белковой молекулы, получившей название “сверхзвуковой ежик” (*sonic hedgehog*), кодируемой геном *SHH*. Эта сигнальная молекула играет ключевую роль в регуляции морфогенеза всех видов животных. Это указывает на то, что ко-

нечности человека на самом деле могли развиваться из акульих жабр [34].

**Клиническая значимость туловищных движений.** Клиническая и социальная значимость сохранения следов архаичных движений в форме произвольных синкинезий, включая туловищные движения, заключается в том, что при этом состоянии “оптимальной моторной функции” не достигается. Расстройства развития координации (*developmental coordination disorder – DCD*) определяются в *DSM-5* [35] как клиническая диагностическая нозология, состоящая из спектра функциональных нарушений, одним из которых является персистирование младенческих рефлекторных паттернов. Таким образом, туловищные движения могут быть компонентом спектра нарушений при *DCD*.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дети в возрасте от 3-х лет до 3-х лет 12 мес. (ДМВ) еще не полностью вышли на этап, когда бимануальные движения становятся симметричными и синхронными (стандартный тип движений у взрослых), но, тем не менее, у них симметричный синхронный этап в конечностях проксимально появляется ранее дистального. В условиях стресса с ускорением у небольшого числа детей, больше у ДМВ, чем ДДВ, наблюдается возврат к произвольному бимануальному антагонизму (туловищные движения). Это свойственно больше движениям в дистальных отделах конечностей по сравнению с проксимальными.

**Этические нормы.** Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом.

**Информированное согласие.** Родителей информировали о том, что в рамках настоящего исследования будет производиться видеосъемка и что полученные записи будут уничтожены после публикации исследования, и просили подписать информированное согласие на публикацию некоторых из полученных записей, с возможностью идентификации испытуемого ребенка. Данные фотографии представляют собой стоп-кадры из частной видеокolleкции *W. van Grunsven*, на их использование получено информированное согласие родителей.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность учителям, детям и их родителям, а также студентам-реабилитологам *Lieze Timmers* и *Yaëlle Cludts* (*PXL University*, г. Хасселт, Бельгия), проводившим видеосъемку и оценку результатов выполнения заданий. Авторы глубоко признательны за ценные комментарии по первой версии

статьи проф. *Meina Hadders-Algra* (Кафедра неврологии развития, Гронинген, Голландия) и за большое количество критических комментариев проф. *Brian Hopkins* (психолог-специалист в области возрастной психологии, *Emeritus Free University*, Амстердам, Голландия, и Университет Ланкастера, Великобритания).

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Thomas A., Saint Anne Dargassies S.* Etudes neurologiques sur le nouveau-né et le jeune nourrisson. Paris: Masson, 1952, 434 p.
2. *Saint Anne Dargassies, S. Van Bogaert L.J.* Le développement neurologique du nouveau-né à terme et prématuré. Paris: Masson, 1974, 337 p.
3. *Precht H.F.R.* The neurological examination of the full term newborn infant. Clinics in Developmental Medicine, 63. London, UK: William Heinemann Medical Books Ltd., 1977. 68 p.
4. *Touwen B.C.L.* Neurological development in infancy. Clinics in Developmental Medicine no. 75. SIMP, London, UK: Mac Keith Press, 1976. 150 p.
5. *Hempel M.S.* The neurological examination for toddler-age. Groningen, Netherlands: Thesis, 1993. 232 p.
6. *Gosselin J., Amiel-Tison C.* Neurological Assessment from Birth to 6. Canada: Éditions du CHU Sainte-Justine, 2011. 174 p.
7. *Touwen B.C.L.* Examination of the Child with Minor Neurological Dysfunction. Clinics in Developmental Medicine no. 71. SIMP, London, UK: Heinemann Medical Books, and Philadelphia, USA: Lippincott, 1979. 141 p.
8. *Hadders-Algra M.* Examination of the Child with Minor Neurological Dysfunction, 3rd ed. London, UK: Mac Keith Press, 2010. 168 p.
9. *Hadders-Algra M., Huisjes H.J., Touwen B.C.L.* Perinatal risk factors and minor neurological dysfunction, significance for behaviour and school achievement at nine years // Dev. Med. Child. Neurol. 1988. V. 30. № 4. P. 482.
10. *Paine R.S., Oppé T.E.* Neurological examination of children. (Clinics in Developmental Medicine Ser., Double V. 20/21), Spastics Soc. Med. Educ. and Inform. Unit in association with William Heinemann Medical Books, 1966. 279 p.
11. *Njiokiktjen C.* Developmental dyspraxias and related motor disorders / Neural substrates and assessment. Amsterdam, the Netherlands: Suyi Publications, 2007. 392 p.
12. *Ньюкиктъен Ч.* Детская поведенческая неврология. М.: Теревинф, 2009. 288 p. *Njiokiktjen C.* Detskaya povedencheskaya nevrologiya [Children's Behavioral Neuroscience]. М.: Теревинф, 2009. 288 p.
13. *Denckla M.B.* Revised neurological examination for subtle signs // Psychopharmacol. Bull. 1985. V. 21. № 4. P. 773.

14. *Largo R.H., Caflisch J.A., Hug F. et al.* Neuromotor development from 5 to 18 years. Part 2, Associated movements // *Dev. Med. Child Neurol.* 2001. V. 43. № 7. P. 444.
15. *Fog E., Fog M.* Cerebral inhibition examined by associated movements / *Minimal cérébral dysfunction* // Eds. MacKeith R., Bax M. London, UK, Spastics Society & Heinemann Medical Books, 1963. № 10. P. 52.
16. *Lazarus J.-A.C., Todor J.I.* Age differences in the magnitude of associated movements // *Dev. Med. Child Neurol.* 1987. V. 29. № 6. P. 726.
17. *Rutter M., Graham Ph., Yule W.* A Neuropsychiatric study in childhood. (Clinics in Developmental Medicine), London, UK: Mac Keith Press., 1991. 272 p.
18. *Custers H.* Slurfmotoriek en cognitieve structuren, Een onderzoek bij kinderen van 3 tot 10 jaar. Dissertation THL59926 in Dutch, KU Leuven. Campus Library Arenberg – Bus 2000 de Croylaan 6 B-3001 Heverlee, Belgium, 1982.
19. *Duchêne R., Njiokiktjien C., Vuylsteke-Wauters M. et al.* Sensory-motor development II, Kinesthetic aspects of bimanual movement interaction / *Pediatric behavioural neurology*. V. 3. The child's corpus callosum // Eds. Ramaekers G., Njiokiktjien C. Amsterdam, Netherlands: Suyi Publications, 1991. P. 111.
20. *Mesker P.* De menselijke hand [The human hand], Dutch Nijmegen: Dekker & van de Vegt, 1977, 226 p.
21. *D'Souza H., Cowie D., Karmiloff-Smith A., Bremner A.J.* Specialization of the motor system in infancy, from broad tuning to selectively specialized purposeful actions // *Dev. Sci.* 2017. V. 20. № 4. P. 1.
22. *Van Grunsven W., Njiokiktjien C., Vuylsteke-Wauters M., Vranken M.* Ontogenesis of laterality in 3- to 10-year-old children, increased unimanual independence grounded on improved bimanual motor function // *Percept. Mot. Skills.* 2009. V. 109. № 1. P. 3.
23. *Atun-Einy O., Berger S.E., Ducz J., Sher A.* Strength of Infants' bimanual reaching patterns is related to the onset of upright locomotion // *Infancy.* 2014. V. 19. № 1. P. 82.
24. *Swinnen S.P., Jardin K., Meulenbroek R.* Between-limb asynchronies during bimanual coordination, effects of manual dominance and attentional cueing // *Neuropsychologia.* 1996. V. 34. № 12. P. 1203.
25. *Swinnen S.P.* Intermanual coordination: from behavioural principles to neural-network interactions // *Nat. Rev. Neurosci.* 2002. V. 3. P. 348.
26. *Fagard J.* Changes in grasping skills and the emergence of bimanual coordination during the first year of life / *The Psychobiology of the hand, Clinics in Developmental Medicine* // Ed. Connolly K.J. London, UK: Mac Keith Press, 1998. 123 p.
27. *Njiokiktjien C., Driessen M., Habraken L.* Development of supination-pronation movements in normal children // *Hum. Neurobiol.* 1986. V. 5. № 3. P. 199.
28. *Njiokiktjien C., De Sonneville L., Hessels et al.* Unimanual and bimanual simultaneous finger tapping in schoolchildren, developmental aspects, and hand preference-related asymmetries // *Laterality.* 1997. V. 2. № 2. P. 117.
29. *Tallet J., Albaret V., Barral J.* Developmental changes in lateralized inhibition of symmetric movements in children with and without Developmental Coordination Disorder // *Res. Dev. Disabil.* 2013. V. 34. № 9. P. 2523.
30. *Corbetta D., Thelen E.* The developmental origins of bimanual coordination: a dynamic perspective // *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 1996. V. 22. № 2. P. 502.
31. *Soska K.C., Galeon M.A., Adolph K.E.* On the Other Hand, Overflow Movements of Infants' Hands and Legs During Unimanual Object Exploration // *Dev. Psychobiol.* 2012. V. 54. № 4. P. 372.
32. *Coghill G.E.* Anatomy and the problem of behaviour. London UK: Cambridge University Press, 2015. 126 p.
33. *Stewart T.A., Lemberg J.B., Taft N.K. et al.* Fin ray patterns at the fin-to-limb transition. // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2019. V. 117. № 3. P. 1612.
34. *Gillis A., Hall B.K.* A shared role for sonic hedgehog signalling in patterning chondrichthyan gill arch appendages and tetrapod limbs // *Development.* 2016. V. 143. № 8. P. 1313.
35. American Psychiatric Association. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (5th ed.) DSM-5. APA, Washington DC, 2013. 991 p.

## Involuntary Left-Right Antagonism: a Supposed Archaic Sign of Neural Immaturity?

C. Njiokiktjien<sup>a,\*</sup>, W. van Grunsven<sup>b</sup>, E. Oosterbosch<sup>c</sup>, E. Nuyts<sup>c,d</sup>

<sup>a</sup>*Developmental Dysphasia Foundation, Amsterdam, Netherlands*

<sup>b</sup>*Institute for Remediation of Learning Disabilities, Eindhoven, Netherlands*

<sup>c</sup>*PXL University of Applied Sciences and Arts, Hasselt, Belgium*

<sup>d</sup>*Hasselt University, Diepenbeek, Belgium*

\*E-mail: cn@suyi.nl

The aim of this study is to show that toddlers are not yet able to perform synchronous bilateral symmetrical hand and arm movements, and a minority even tends to perform involuntarily bimanual left-right antagonistic movements that are regarded as archaic 'trunk movements', which will disappear with age. Ninety-seven typical children, 49 toddlers (TD's) (3 yrs 0 months–3 yrs 12 months) and 48 preschoolers (PS's) (4 yrs 0 months–4 yrs 12 months), 48 boys and 49 girls, were asked to imitate two types of bilateral movements after a demonstration, namely proximal rotational movements of the arms in the sagittal plane and distal supination-pronation movements at low speed, followed by acceleration on request. The differences were calculated

using logistic regression analysis. All the children were able to perform the movements, but TD's displayed less proximal arm synchronicity than PS's. Proximal antagonistic movements were more common in TD's than PS's, decreasing with age, and differences occurred more often after acceleration. The differences were also indicative of a decrease in age in the case of distal bimanual movements, but fewer differences were found to be significant. TD's have not yet fully reached the stage where bimanual movements are symmetrical and synchronous, but they attain the symmetrical stage in the limbs proximally before distally. A minority of the children, mainly TD's, revert to involuntary bimanual antagonism, thus confirming the hypothesis of Mesker, who referred to them as 'trunk movements'. It draws the attention to a relatively unknown infantile reflex pattern, antagonistic movements, the retention of which is a sign of immaturity. This could contribute to developmental coordination disorder (DCD).

*Keywords:* archaic left-right antagonisms, evolution-development principle, bimanual/bilateral motor development, neural maturation, trunk movements.