DOI 10.24249/2309-9917-2025-74-6-89-95

А.А. Вагапова (Казань, Россия)

Магноцеллюлярная теория патогенеза дислексии: трудности восприятия движения или слабость М-клеток?

Аннотация: Патогенез дислексии имеет многофакторную природу. На сегодняшний день среди ученых нет единого мнения о роли магноцелюллярного потока в развитии трудностей освоения навыка чтения. Разрозненность аргументов может быть вызвана неверным выбором дифференцирующего признака или методологии. Данное айтрекинговое исследование подтверждает гипотезу об ошибочном смешении М-пути, отвечающего за восприятие стимула как целостного объекта, и дорсального потока как индикатора движения. Задачи, селективно направленные на определение функционирования М- и Р-клеток, хотя и не показали значимой корреляции с чтением, не исключают взаимосвязи при учете корректировок, полученных в результате проведения пилотного эксперимента. Продуктивными оказались поиски корреляции между состоянием зрительного гнозиса и окулографическими характеристиками, а также показателями понимания прочитанного.

Ключевые слова: дислексия, магноцеллюлярная теория, окулография

A.A. Vagapova (Kazan, Russia)

Magnocellular Theory of Dyslexia Pathogenesis: Difficulty Perceiving Movement or Weakness Of M-Cells?

Abstract: The pathogenesis of dyslexia is multifactorial. Nowadays, there is no consensus among scientists about the magnocellular pathway in the development of reading difficulties. The disparity of arguments may be caused by the incorrect choice of the differentiating feature of the theory or methodology. This eye-tracking study confirms the hypothesis of an erroneous confusion between the M-pathway, responsible for perceiving a stimulus as a holistic object, and the dorsal stream as an indicator of movement. Tasks selectively targeting M- and P-cell function, although not showing a significant correlation with reading, do not rule out a connection when taking into account the adjustments obtained during the pilot experiment. The search for a correlation between the state of visual gnosis and oculographic characteristics, as well as reading comprehension indicators, turned out to be productive.

Key words: dyslexia, magnocellular theory, oculography, M- and P-cells, dorsal stream

Классическое определение дислексии, данное А.Н. Корневым, звучит так: «стойкая избирательная неспособность овладеть навыком чтения, несмотря на достаточный для этого уровень интеллектуального и речевого развития, отсутствие нарушений слухового и зрительного анализаторов и оптимальные условия обучения» [Корнев 1997: 36].

Современная наука рассматривает дислексию как нарушение с многофакторной природой. Нейробиологические исследования выявляют структурные аномалии в развитии коры головного мозга, в частности в перисильвиевых зонах и левом полушарии [Livingstone 1991]. Специфические изменения, такие как дезорганизация и уменьшение размеров магноцеллюлярных клеток в латеральном коленчатом теле, также связывают с дислексией [Livingstone 1991]. Данные фМРТ указывают на пониженную активность в височно-теменных областях левого полушария у людей с дислексией [Richlan 2009]. Методы воксельной морфометрии и магнитоэнцефалографии подтверждают сокращение объема серого вещества в левой височной и височно-затылочной долях, а также в лобной доле, хвостатом ядре и мозжечке, демонстрируя заметные различия в активации височно-теменных зон [Gabrieli 2009].

Генетические исследования идентифицировали 9 участков генома (DYX1–DYX9), потенциально связанных с дислексией, однако вопрос о конкретных механизмах наследуемости остается открытым [Григоренко 2010].

Патогенез дислексии также объясняется через призму когнитивных дефицитов: фонологический [Vellutino 2004, Melby-Lervag 2021], быстрой аудиторной переработки, зачастую рассматриваемый как часть расширенной магноцеллюлярной теории, включающей слуховую, зрительную и кинестетическую модальности [Ahissar 2000]; мозжечковая теория: [Pernet 2009, Nicolson 2011]; теория двойного дефицита [Nelson 2015, Araújo 2019]; магноцеллюлярная теория.

Зрительный анализ осуществляется на трех уровнях: подкорковом (сетчатка, подкорковые ядра), первично-корковом и высшем корковом. На подкорковом уровне происходит предварительная обработка и перекодирование сигнала, который затем поступает в латеральное коленчатое тело (ЛКТ). Нейроны с рецептивными полями выделяют локальные признаки изображения, а высшие корковые центры обеспечивают окончательное распознавание объектов.

От сетчатки к коре идут два основных параллельных пути, четко разделяющихся на уровне ЛКТ: магноцеллюлярный (М-путь, через крупные клетки) и парвоцеллюлярный (П-путь, через мелкие клетки). В коре М-путь проецируется преимущественно в теменную долю, а П-путь – в височную [Левашов 2009]. М-путь отвечает за управление вниманием, координацию движений глаз, пространственную ориентацию и идентификацию объектов на периферии. П-путь анализирует форму, детали, цвет и объекты в центре поля зрения, обеспечивая их узнаваемость. Таким образом, М-путь («путь “как”» или дорсальный) отвечает за анализ динамических сцен и зрительный контроль действий, а П-путь («путь “что”» или вентральный) – за создание перцептивных образов и опознание объектов. Также существует кониоцеллюлярный путь, передающий информацию от «синих» ганглиозных клеток сетчатки.

Таким образом, сенсорный вход в первичную зрительную кору обеспечивается тремя каналами (магно-, парво- и кониоцеллюлярным), клетки которых различаются по физиологическим свойствам и способностям к восприятию контраста, цвета, яркости и пространственно-временны́х частот.

Изначально магноцеллюлярная теория (также известная как теория транзиторного системного дефицита) предполагала, что в процессе чтения при саккадических движениях глаз М-система временно подавляет П-систему, чтобы избежать зрительной «путаницы». Считалось, что у людей с дислексией этот подавляющий механизм нарушен. Позже было установлено, что именно парвоцеллюлярная система подавляет магноцеллюлярную, что привело к модификации теории. Некоторые исследователи теперь видят причину не в нарушении подавления, а в первичном дефиците самих магноцеллюлярных клеток или дорсального потока.

В пользу магноцеллюлярной теории свидетельствуют многочисленные данные: пониженная контрастная чувствительность на низких пространственных частотах [Левашов 2009], анатомические данные о дезорганизации и уменьшении размеров М-клеток в ЛКТ [Giraldo-Chica 2015], сниженная способность к восприятию мельканий, движущихся стимулов и когерентного движения [Cornelissen 1995, Pammer 2001], а также более низкие показатели критической частоты слияния мельканий и скорости дрейфа [Manning 2022]. Дополнительными аргументами являются меньшая чувствительность к иллюзии частоты удвоения [Pammer 2001], нарушения функций мультимодального внимания [Johnston 2017] и низкие результаты в тестах на фовеальное динамическое зрение [Fischer 2012]. Эффективность специализированных тренингов, нацеленных на М-путь, также рассматривается как подтверждение теории [Gori 2016]. Исследователи преимущественно связывают дефицит М-пути с трудностями в восприятии движения, что, по их мнению, лежит в основе проблем с чтением.

Критики же данной теории условно можно разделить на три группы.

Одни полагают, что дисфункция М-пути является не причиной, а следствием малого опыта чтения. Этим они объясняют меньшую активность в области V5/MT [White 2006] и данные о размерах М-клеток, которые не всегда находят подтверждение [Olulade 2013].

Другие утверждают, что методы, используемые для подтверждения теории, часто не являются селективными для М-клеток, так как дорсальный поток интегрирует информацию от всех трех каналов. Они подчеркивают, что для изолированной проверки М-клеток должны использоваться стимулы с низкой пространственной и высокой временно́й частотой, а многие эксперименты не соответствуют этим критериям [Merigan 1999, Skottun 2015].

Третьи не обнаруживают значимой связи между чувствительностью М-клеток и трудностями зрительного внимания [Wright 2009], а также между показателями работы М-системы и когнитивными или читательскими навыками даже при широкой трактовке теории [Rasmus 2003, Piotrowska 2019]

В прошлых работах наши экспериментальные данные показали, что дети с дислексией не отличались по скорости чтения подвижного текста (бегущей строки) от нормотипичных школьников, однако качество восприятия информации в группе нарушения было ниже, чем в контроле. Мы также выявили корреляцию техники чтения с состоянием зрительного и зрительно-пространственного гнозиса, что ставит под сомнение теорию об отождествлении дорсального потока и М-пути [Вагапова 2025].

Однако эти данные не могли послужить доказательством дефицита М-клеток. Поэтому был проведен дополнительный эксперимент для раздельной оценки состояния М- и П-клеток.

Респондентам предъявлялись стимулы с пространственным и временны́м зазором для тестирования П- и М-клеток соответственно, по аналогии с исследованием W.S. Bush [Bush 2014]. Дети младшего школьного возраста должны были определить наличие или отсутствие зазора (эксперимент 1) и его ориентацию 0,04° (эксперимент 2) в окружностях диаметром 4 см, 4,5 см и 5 см при контрасте 100 %, стимул демонстрировался 80 мс. Также использовалась задача на выявление временно́го зазора 16 мс между стимулами длительностью 32 мс тех же окружностей, но со сниженным контрастом – 10 % (эксперимент 3). Ориентация стимулов строго соотвествовала центру экрана. Разный диаметр окружностей был выбран для предотвращения преобладания М-системы при оценке П-клеток, а изменение контраста – для их активации [Edwards 2021: 1043].

Оценивались точность и скорость ответов. Значимых корреляций обнаружено не было. Например, корреляция ответов с состоянием зрительного гнозиса составила: в первом эксперименте (П-клетки) –0,466, во втором –0,155, а для М-клеток 0,113 ($p = 0,05$). Таким образом, предварительные результаты на небольшой, но статистически значимой выборке показали отсутствие существенного влияния М-клеток на процесс чтения. GLM-анализ также не выявил значимых корреляций между пониманием текста и состоянием М- и П-клеток. Модель представлена на рисунке 1 с указанием p-значений.

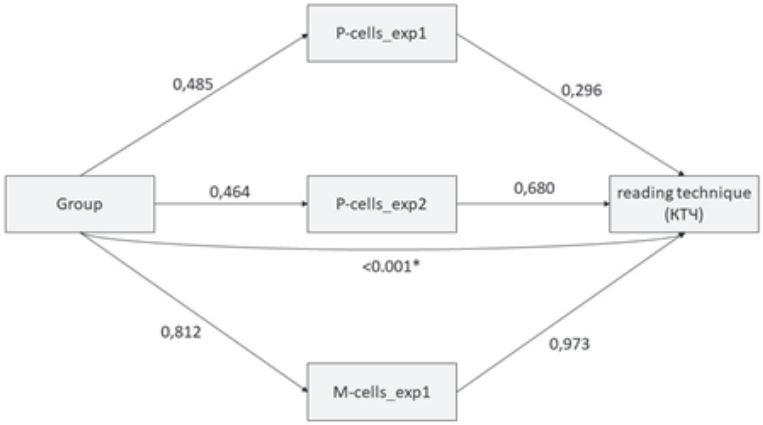

Рисунок 1. Модель взаимосвязи предикторов

Можно заметить, что значимость эксперимента снижается, но этот разброс может объясняться внешними факторами – утомлением участников из-за большой нагрузки на лобные доли. Это указывает на необходимость рандомизации экспериментов и сокращения числа проб.

Таким образом, статистический анализ окулографических данных при восприятии динамических и статических стимулов, а также задач на временно́й и пространственный разрыв, ставит под сомнение валидность магноцеллюлярной теории патогенеза дислексии как в отношении дорсального потока, так и М-клеток.

Результаты исследования свидетельствуют о сохранности способности детей с дислексией распознавать движущиеся объекты. Однако выявлена корреляция с состоянием зрительного и зрительно-пространственного гнозиса, что ставит

под сомнение теорию отождествления дорсального потока и магноцеллюлярного пути. Статистический анализ позволяет предложить две гипотезы.

Во-первых, анализ окулографических данных по динамическим и статическим сценам в рамках теории дефицита М-пути нерепрезентативен, так как не отражает реальное состояние магноцеллюлярных клеток испытуемых.

Во-вторых, связь между зрительным гнозисом и пониманием текста указывает на его роль в процессе чтения. Также обнаружена слабая корреляция между КТЧ и состоянием М- и П-клеток, которая может усилиться при увеличении выборки, что требует дальнейшего расширения исследования.

ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

Вагапова А.А. Теория дефицита М-пути при дислексии // Психолингвистические аспекты изучения речевой деятельности: труды Уральского психолингвистического общества. Екатеринбург, 2025. С. 153–165. / Vagapova A.A. Theory of M-Pathway Deficiency in Dyslexia. In: Psycholinguistic Aspects of the Study of Speech Activity: Works of the Ural Psycholinguistic Society. Ekaterinburg. 2025, pp. 153–165.

Григоренко Е.Л. Биологическая природа дислексии: краткий обзор литературы и примеры исследований // Психология. Журнал Высшей школы экономики. 2010. Т. 7. № 4. С. 20–44. / Grigorenko E.L. Biological Nature of Dyslexia: A Brief Review of the Literature and Research Examples. *Psychology. Journal of the Higher School of Economics*. 2010. Vol. 7. No 4. pp. 20–44.

Корнев А.Н. Нарушения чтения и письма у детей: Учебно-методическое пособие. СПб.: МиМ, 1997. 286 с. / Kornev A.N. (1997) Reading and Writing Disorders in Children: A Teaching Aid. St. Petersburg. MiM Publ. 286 p.

Левашов О.В. Функциональная асимметрия магно- и парвоцеллюлярной систем (м и п) (фазической и тонической) при локальных поражения мозга и при дислексии: нейробиологический подход // Асимметрия. 2009. Т. 3. № 2. С. 73–98. / Levashov O.V. Functional Asymmetry of the Magno- And Parvocellular Systems (m and p) (phasic and tonic) in Local Brain Damage and in Dyslexia: A Neurobiological Approach. *Asymmetry*. 2009. Vol. 3. No 2, pp. 73–98.

Садовникова И.Н. Нарушения письменной речи и их преодоление у младших школьников. М.: Владос, 1997. 184 с. / Sadovnikova I.N. (1997) Disorders of Written Speech and Their Overcoming in Primary School Students. Moscow. Vlados Publ. 184 p.

Ahissar M. Auditory Processing Parallels Reading Abilities in Adults / M. Ahissar, A. Protopapas, M. Reid, M.M. Merzenich. In: Proceedings of the National Academy of Sciences. 2000. Vol. 97. Issue 12, pp. 6832–6837.

Araújo S. A Meta-Analytic Review of Naming-Speed Deficits in Developmental Dyslexia / S. Araújo, L. Faísca. *Scientific Studies of Reading*. 2019. Vol. 23. Issue 5, pp. 349–368.

Bush W. S Differential Effect of One Versus Two Hands on Visual Processing / W.S. Bush, S.P. Vecera. *Cognition*. 2014. Vol. 133. Issue 1, pp. 232–237.

Cornelissen P. Contrast Sensitivity and Coherent Motion Detection Measured at Photopic Luminance Levels in Dyslexics and Controls / P. Cornelissen, A. Richardson, A. Mason, S. Fowler, J. Stein. *Vision Research*. 1995. Vol. 35. Issue 10, pp. 1483–1494.

Edwards M. Using Perceptual Tasks to Selectively Measure Magnocellular and Parvocellular Performance: Rationale and a User's Guide / M. Edwards, S.C. Goodhew, D.R. Badcock. *Psychon Bull Rev*. 2021. Vol. 28. Issue 4, pp. 1029–1050.

Fischer B. Subitizing, Dynamic Vision, Saccade and Fixation Control in Dyslexia. In: Visual Aspects of Dyslexia. Oxford University Press. 2012, pp. 15–44.

Gabrieli J.D.E. Dyslexia: A New Synergy Between Education and Cognitive Neuroscience. *Science*. 2009. Vol. 325, pp. 280–283.

Giraldo-Chica M. Morphological Differences in the Lateral Geniculate Nucleus Associated With Dyslexia / M. Giraldo-Chica, J. P. Hegarty, K.A. Schneider. *Neuroimage Clin.* 2015. Vol. 7, pp. 830–836.

Gori S. Multiple Causal Links Between Magnocellular-Dorsal Pathway Deficit, Developmental Dyslexia / S. Gori, A. R. Seitz, L. Ronconi, S. Franceschini, A. Facoetti. *Cerebral Cortex.* 2016. Vol. 26. Issue 11, pp. 4356–4369.

Johnston R. Visual Perception in Dyslexia is Limited by Sub-Optimal Scale Selection / R. Johnston, N. J. Pitchford, N. W. Roach, T. Ledgeway. In: Scientific Reports. 2017. Vol. 7, pp. 1–11.

Livingstone M.S. Physiological and Anatomical Evidence for a Magnocellular Defect in Developmental Dyslexia / M. S. Livingstone, G. D. Rosen, F. W. Drislane, A. M. Galaburda. In: PNAS. Vol. 88. USA. 1991, pp. 7943–7947.

Manning C. Visual Motion and Decision-Making in Dyslexia: Reduced Accumulation of Sensory Evidence and Related Neural Dynamics / C. Manning, C.D. Hassall, L.T. Hunt, A.M. Norcia, E.-J. Wagenmakers, M.J. Snowling, G.S. Evans, N.J. Evans. *Journal of Neuroscience*. 2022. Vol. 42. Issue 1, pp. 121–134.

Melby-Lervag M. Phonological Skills and Their Role in Learning to Read: A Meta-Analytic Review / M. Melby-Lervag, S.A.H. Lyster, C. Hulme. *Psychological Bulletin*. 2012. Vol. 138. No 2, pp. 322–352.

Merigan W. H. Does Primate Motion Perception Depend on the Magnocellular Pathway? / W.H. Merigan, C.E. Byrne, J.H. Maunsell. *Journal of Neuroscience*. 1991. Vol. 11. Issue 11, pp. 3422–3429.

Nelson J.M. Examination of the Double-Deficit Hypothesis with Adolescents and Young Adults With Dyslexia. *Annals of Dyslexia*. 2015. Vol. 65. Issue 3, pp. 159–177.

Nicolson R.I. Dyslexia, Dysgraphia, Procedural Learning and the Cerebellum / R.I. Nicolson, A.J. Fawcett. Cortex. 2011. Vol. 47. No 1, pp. 117–127.

Olulade O.A. Abnormal Visual Motion Processing is not a Cause of Dyslexia / O.A. Olulade, E.M. Napoliello, G.F. Eden. *Neuoron*. 2013. Vol. 79. Issue 1, pp. 180–190.

Pammer K. Isolating the M (y)-cell Response in Dyslexia Using the Spatial Frequency Doubling Illusion / K. Pammer, C. Wheatley. *Vision Res.* 2001. Vol. 41. Issue 16, pp. 2139–2147.

Pernet C. R. Brain Classification Reveals the Right Cerebellum as the Best Biomarker of Dyslexia / C.R. Pernet, J.B. Poline, J.F. Demonet, G.A. Rousselet. *BMC Neuroscience*. 2009. Vol. 10. Issue 67, pp. 1–19.

Piotrowska B. Beyond the Global Motion Deficit Hypothesis of Developmental Dyslexia: A Cross-Sectional Study of Visual, Cognitive, and Socio-Economic Factors Influencing Reading Ability in Children / B. Piotrowska, A. Willis. In: Vision Research. 2019. Vol. 159. pp. 48–60.

Ramus F. Theories of Developmental Dyslexia: Insights from a Multiple Case Study of Dyslexic Adults / F. Ramus, S. Rosen, S.C. Dakin, B.L. Day, J.M. Castellote, S. White, U. Frith. *Brain*. 2003. Vol. 126. Issue 4, pp. 841–865.

Richlan F. Functional Abnormalities in the Dyslexic Brain: A Quantitative Meta-Analysis Of Neuroimaging Studies / F. Richlan, M. Kronbichler, H. Wimmer. *Human Brain Mapping.* 2009. Vol. 30. Issue 10, pp. 3299–3308.

Skottun C. The Need to Differentiate the Magnocellular System from the Dorsal Stream in Connection with Dyslexia. In: Brain and Cognition. 2015. Vol. 95, pp. 62–66.

Vellutino F.R. Specific Reading Disability (dyslexia): What Have We Learned in the Past Four Decades? / F.R. Vellutino, J.M. Fletcher, M.J. Snowling, D.M. Scanlon. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*. 2004. Vol. 45. №. 1. pp.2-40.

White S. The Role of Sensorimotor Impairments in Dyslexia: A Multiple Case Study of Dyslexic Children / S. White, E. Milne, S. Rosen, P. Hansen, J. Swettenham, U. Frith, F. Ramus. *Developmental Science*. 2006. Vol. 9. Issue 3, pp. 237–255.

Wright C.M. Auditory and Visual Processing in Children with Dyslexia / C.M. Wright, E.G. Conlon. *Developmental Neuropsychology*. 2009. Vol. 34. Issue 3, pp. 330–355.

Сведения об авторе:

Алсу Азатовна Вагапова,
Магистр
Институт филологии
и межкультурной коммуникации
Казанский федеральный университет
лаборант-исследовать
НИЛ «Нейрокогнитивные исследования»

Alsu Azatovna Vagapova,
Master's student
Institute of Philology
and Intercultural Communication
Kazan Federal University
Research Lab Assistant,
SRL "Neurocognitive Research"

Al_vagapova@mail.ru