

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕЙРОДИНАМИКИ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ В СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИХ И МОНОКУЛЯРНЫХ СРЕДАХ: ВИЗУАЛЬНО-КОГНИТИВНЫЕ ФЕНОТИПЫ «ЦИФРОВОГО ПОКОЛЕНИЯ»

¹Е. И. Першина*, ²Д. Н. Савин, ²Е. С. Епифановский, ¹Д. Ю. Трухина

¹ Центр промышленной и морской медицины Северо-Западного окружного научно-клинического центра имени Л. Г. Соколова Федерального медико-биологического агентства России,

Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Научно-технологическая компания «Спортивное новаторство», Москва, Российская Федерация

ВВЕДЕНИЕ. Массовая ранняя цифровизация формирует новую экологическую нишу, в которой зрительно-когнитивная система человека развивается в условиях доминирования плоскостных (2D) стимулов.

ЦЕЛЬ. В исследовании проверяется гипотеза «экранного импринтинга» (Screen Imprinting Hypothesis), согласно которой интенсивный визуальный опыт взаимодействия с экранами может приводить к специфической функциональной адаптации зрительно-когнитивной системы, подавляющей естественные механизмы стереоскопического восприятия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В исследовании приняли участие 63 студента-первокурсника технического университета в возрасте от 18 лет. Был использован метод отслеживания множественных объектов (МОТ) в двух режимах: стереоскопическом (3D-МОТ) и монокулярном (2D-МОТ). Зарегистрированы три ключевых показателя: интегральный показатель МОТ (баллы), скоростные лимиты трекинга (средняя и максимальная скорости, м/сек) и время выбора объектов (сек).

РЕЗУЛЬТАТЫ. Сравнительный анализ выявил парадокс: при достоверном росте интегрального показателя МОТ в 3D-режиме ($p < 0,01$) не отмечены значимые различия средних скоростных лимитов по всей выборке ($p > 0,05$). Стратификация выборки по величине относительного прироста эффективности (Δ %) позволила разрешить это противоречие и выделить три дискретных фенотипа: 1) «Стереонорма» (40 % выборки) — демонстрирует эффект фасилитации (рост скорости в 3D); 2) «Нейтральные» (40 % выборки) — демонстрируют кинематическую инвариантность; 3) «Цифровая деформация» (20 % выборки) — характеризуется эффектом ингибции (снижение скорости в 3D) и критическим увеличением времени выбора (когнитивной стоимости) при переходе к объемному восприятию.

ОБСУЖДЕНИЕ. Полученные данные вскрывают социобиологический парадокс: эволюционное преимущество стереоскопического зрения утратило доминантную роль для 20,6 % выборки («Цифровая деформация»), чей ранний онтогенез совпал с экспансией 2D-интерфейсов. Это позволяет говорить в пользу гипотезы «экранного импринтинга» — закрепления монокулярных стратегий в качестве базового нейронного паттерна. Если у группы «Стереонорма» бинокулярная диспаратность выступает фасилитатором, увеличивая скорость трекинга на 23 %, то у группы «Цифровая деформация» наблюдается стереоскопическая ингибция: погружение в 3D-среду порождает сенсорный конфликт, превращающий бинокулярный сигнал в «шум» и снижающий скорость обработки информации на 20 %. Критически важным при этом является универсальное увеличение времени визуального поиска в монокулярном режиме (на 36–40 %), независимо от фенотипа, что свидетельствует о высокой когнитивной стоимости плоского восприятия: адаптация к экранам позволяет сохранять точность, но ограничивает темпоральную эффективность, создавая риски в профессиональной деятельности операторов сложных систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Результаты подтверждают существование устойчивых паттернов сенсорного конфликта у части цифрового поколения. Метод 3D-МОТ валидизирован как интегральный маркер нейродинамики и высокоточный инструмент выявления рисков профессиональной дезадаптации, позволяющий оценивать скрытую когнитивную стоимость переключения между 2D- и 3D-средами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, экранный импринтинг, 3D-МОТ, стереоскопическое зрение, нейродинамика, когнитивная стоимость, визуальные фенотипы, сенсорный конфликт, отслеживание множественных объектов, «Цифровая деформация»

*Для корреспонденции: Першина Елена Игоревна, e-mail: pershina.ei@inbox.ru

*For correspondence: Elena I. Pershina, e-mail: pershina.ei@inbox.ru

© Авторы, 2026. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины» Федерального медико-биологического агентства. Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает ее неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при указании автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru>

Для цитирования: Першина Е. И., Савин Д. Н., Епифановский Е. С., Трухина Д. Ю. Сравнительный анализ нейродинамики зрительного восприятия в стереоскопических и монокулярных средах: визуально-когнитивные фенотипы «цифрового поколения» // *Морская медицина*. 2026. Т. 12, № 3. С. 112–124, <https://dx.doi.org/10.67821/2413-5747-2026-12-3-112-124>; EDN: <https://elibrary.ru/VEUKIE>

For citation: Pershina E. I., Savin D. N., Epifanovsky E. S., Trukhina D. Yu. Comparative analysis of neurodynamics of visual perception in stereoscopic and monocular environment: visual-cognitive phenotype of “digital generation” // *Marine Medicine*. 2026. Vol. 12, No. 3. P. 112–124, <https://dx.doi.org/10.67821/2413-5747-2026-12-3-112-124>; EDN: <https://elibrary.ru/VEUKIE>

COMPARATIVE ANALYSIS OF NEURODYNAMICS OF VISUAL PERCEPTION IN STEREOSCOPIC AND MONOCULAR ENVIRONMENT: VISUAL-COGNITIVE PHENOTYPE OF “DIGITAL GENERATION”

¹Elena I. Pershina*, ²Dmitry N. Savin, ²Evgeny S. Epifanovsky, ¹Daria Yu. Trukhina

¹ Center for Industrial and Marine Medicine of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation

² Sports Innovation Research and Technology Company, Moscow, Russian Federation

INTRODUCTION. Mass early digitalization is creating a new ecological niche in which the human visual-cognitive system develops under conditions of dominance of two-dimensional (2D) stimuli.

OBJECTIVE. The study tests the Screen Imprinting Hypothesis, which suggests that intense visual experience with screens may lead to specific functional adaptations of the visual-cognitive system that suppress natural stereoscopic perception mechanisms.

MATERIALS AND METHODS. The study involved 63 first-year technical university students aged 18 years and older. The multiple object tracking (MOT) method was used in two modes: stereoscopic (3D-MOT) and monocular (2D-MOT). Three key metrics were recorded: the integrated MOT score, tracking speed limits (average and maximum speeds, m/sec), and object selection time (sec).

RESULTS. The comparative analysis revealed a paradox: despite a significant increase in the integral MOT indicator in 3D mode ($p < 0.01$), there were no significant differences in average speed limits across the entire sample ($p > 0.05$). Stratifying the sample according to the relative increase in efficiency ($\Delta\%$) made it possible to resolve this contradiction and identify three discrete phenotypes: 1) “Stereonorm” (40% of the sample) - demonstrates the effect of facilitation (increase in speed in 3D); 2) “Neutral” (40% of the sample) - demonstrate kinematic invariance; 3) “Digital deformation” (20% of the sample) - characterized by an inhibition effect (reduced speed in 3D) and a critical increase in choice time (cognitive cost) during the transition to volumetric perception.

DISCUSSION. The obtained data reveal a sociobiological paradox: the evolutionary advantage of stereoscopic vision lost its dominant role for 20.6% of the sample (“Digital Deformation”), whose early ontogenesis coincided with the expansion of 2D interfaces. This supports the “screen imprinting” hypothesis—the consolidation of monocular strategies as a basic neural pattern. While binocular disparity acts as a facilitator in the “Stereonorm” group, increasing tracking speed by 23%, the “Digital Deformation” group exhibits stereoscopic inhibition: immersion in a 3D environment generates sensory conflict, transforming the binocular signal into “noise” and reducing information processing speed by 20%. Critically important here is the universal increase in visual search time in monocular mode (by 36–40%), regardless of phenotype, which indicates a high cognitive cost of flat perception: adaptation to screens allows maintaining accuracy, but limits temporal efficiency, creating risks in the professional activities of operators of complex systems.

CONCLUSION. The results confirm the existence of stable patterns of sensory conflict in some of the digital generation. The 3D-MOT method has been validated as an integral marker of neurodynamics and a highly accurate tool for identifying risks of professional maladjustment, allowing for the assessment of the hidden cognitive costs of switching between 2D and 3D environments.

KEYWORDS: marine medicine, maritime medicine, screen imprinting, 3D-MOT, stereoscopic vision, neurodynamics, cognitive cost, visual phenotypes, sensory conflict, multiple object tracking, digital deformation

Введение. Бинокулярное стереоскопическое зрение, закрепившееся в филогенезе *Homo sapiens*, является фундаментальным адаптационным механизмом. Эволюционное преимущество, обеспечиваемое способностью мгновенно оценивать глубину сцены и прогнозировать траектории объектов в трехмерном пространстве, стало критическим фактором выживания,

оптимизируя визуомоторные реакции и точность манипуляций в физической среде.

Современный этап антропогенеза характеризуется беспрецедентной трансформацией визуальной среды. Отечественные исследователи [1] отмечают феномен ранней цифровизации, когда гаджеты, выполняя функцию «цифровой соски» (digital pacifier), замещают физическую

активность и сенсомоторное взаимодействие с реальными трехмерными объектами уже в возрасте до 4 лет.

Данные международной статистики подтверждают глобальный характер этого тренда. Согласно *Common Sense Census* [2], в США около 40% детей начинают активное взаимодействие с дисплеями в возрасте 2–3 лет — в критический период нейропластичности, когда формирование бинокулярных нейронных ансамблей еще не завершено. Исследования в странах Латинской Америки [3] также выявили значимую корреляцию между ранней экспозицией экранного времени и отклонениями в когнитивном развитии.

Согласно данным М. Plourde и соавт. [4], в детском и подростковом возрасте наблюдается статистически менее выраженная разница между эффективностью трекинга в стереоскопических (3D) и монокулярных (2D) условиях по сравнению со взрослыми, что связано с незавершенностью созревания интегративных механизмов зрительной коры. Подобная динамика является возрастной нормой и отражает процесс постепенного становления способности извлекать перцептивное преимущество из бинокулярной диспаратности в задачах с высокой динамической нагрузкой.

Однако необходимо учитывать контекст глобальных технологических сдвигов. Начиная с 2010 г., когда портативные сенсорные устройства стали массово доступны, структура визуального опыта претерпела радикальную трансформацию. Когорту детей и подростков, рожденных после 2007 г., можно определить как первое поколение, чей зрительный анализатор проходит онтогенез в условиях доминирования плоскостных цифровых стимулов с самых первых лет жизни.

Мы полагаем, что в новой цифровой экологической нише естественная возрастная нейропластичность становится фактором риска. Если в норме временная толерантность к монокулярному восприятию преодолевается по мере созревания коры, то агрессивная ранняя экспансия экранного опыта может закрепить эту «временную меру» как устойчивый нейронный паттерн. На основании этого мы выдвигаем гипотезу «экранного импринтинга» (*Screen Imprinting Hypothesis*): интенсивное взаимодействие с 2D-дисплеями в сенситивные периоды развития приводит к функциональной ре-

организации зрительной коры (зон V3A и V5/MT), формируя специфическую адаптацию — приоритетную обработку динамики на основе монокулярных признаков при подавлении естественного стереоскопического восприятия.

Цель. В исследовании проверена гипотеза «экранного импринтинга», согласно которой интенсивный визуальный опыт взаимодействия с экранами может приводить к специфической функциональной адаптации зрительно-когнитивной системы, подавляющей естественные механизмы стереоскопического восприятия.

Материалы и методы. Участники исследования и характеристика выборки.

Исследование выполнено в дизайне одномерного (поперечного) сравнительного анализа (*cross-sectional comparative study*).

Формирование выборки: набор участников осуществлялся методом сплошной выборки (*consecutive sampling*) среди студентов первого курса технического университета (Санкт-Петербург), соответствующих критериям включения:

- возрастной диапазон 18–19 лет (2006–2005 гг. рождения), что соответствует периоду завершения позднего подросткового онтогенеза;
- наличие медицинского допуска к обучению (форма 086/y);
- отсутствие офтальмологических патологий, препятствующих бинокулярному слиянию (фузии) и работе с дисплейными системами.

Структура выборки по гендерному признаку была изоморфна половой структуре генеральной совокупности первокурсников технического университета: 74 % — юноши, 26 % — девушки.

Обоснование объема выборки: финальный объем выборки составил $n = 63$. Априорный расчет статистической мощности (*a priori power analysis*) для обнаружения среднего размера эффекта ($\text{Cohen's } d = 0,5$) при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и мощности $(1-\beta) = 0,80$ показал минимально необходимый объем $n = 54$. Таким образом, выборка ($n \geq 60$) является достаточной для обеспечения валидности статистических выводов и минимизации вероятности ошибок второго рода.

Аппаратура и параметры стимуляции. Стимуляцию осуществляли посредством программно-аппаратного комплекса «Сила внимания». Аппаратная часть реализована на базе автономной VR-гарнитуры Pico 4 Ultra™. Про-

граммная среда — специализированное ПО «VR Сила внимания™» (свидетельство о госрегистрации № 2025660637).

Методической основой комплекса является парадигма 3D-MOT (Three-Dimensional Multiple Object Tracking), описанная Pylyshyn & Storm [5]. Данный метод признан «золотым стандартом» для оценки ресурсов рабочей памяти и динамического визуального внимания [6] и активно применяется в спорте высших достижений, образовании, программах когнитивного долголетия и нейрореабилитации.

Характеристики виртуальной среды:

рабочее пространство: прозрачный параллелепипед с метрическими параметрами 3,5 м (ширина) × 2,2 м (высота) × 1,5 м (глубина);

- стимульный материал: 4 целевых объекта и 4 дистрактора (сферы диаметром 0,3 м), перемещающиеся в условиях виртуальной невесомости;

- дистанция обзора: 3,8 м от точки наблюдения до центра сцены;

- угловые параметры (FOV): поле зрения охватывает ~49° по горизонтали и ~32° по вертикали;

- угловой размер объектов составляет ~4,5°, что обеспечивает их устойчивую детекцию как центральным, так и периферическим зрением.

Технические характеристики дисплеев VR-гарнитуры Pico 4 Ultra™: разрешение 2160 × 2160 пикселей на глаз, частота обновления 90 Гц, общий угол обзора по горизонтали 105°.

Перед каждой сессией проводили индивидуальную калибровку межзрачкового расстояния (IPD) для обеспечения корректной стереоскопической фузии.

Экспериментальные условия. Для экспериментальной верификации гипотезы был разработан протокол «глубокой сенсорной диссоциации», реализуемый через два контрастных режима визуализации:

А. Режим «3D-MOT» (стереоскопический): стандартный VR-режим. На левый и правый глаз подаются изображения с угловым смещением (бинокулярный параллакс), соответствующим индивидуальному IPD испытуемого. Зрительная кора использует бинокулярную диспаратность для автоматического расчета глубины динамической сцены.

Б. Режим «2D-MOT» (псевдообъемная среда): реализован принцип бинокулярного предъявления — на оба глаза подается идентичное изобра-

жение (нулевой параллакс). При этом полностью сохранены монокулярные признаки глубины: линейная перспектива, относительные размеры, окклюзия (взаимное перекрытие), текстурный градиент и динамические тени.

Для исключения артефактов сравнения использовали унифицированную модель цифровой визуализации (рендеринга). В 2D-режиме объекты формально являются плоскими фигурами (т. н. «спрайтами»), однако благодаря высококачественным текстурам, а также динамическому освещению и масштабированию (изменению угловых размеров при движении по оси Z) они визуально неотличимы от полигональных 3D-сфер.

Критическим аспектом валидности сравнения является использование единого программного модуля физической симуляции. Система рассчитывает движение и столкновения объектов на основе модели многослойной сферической аппроксимации (stack of discs) с учетом мнимого радиуса. Это обеспечивает полную кинематическую идентичность процессов в обеих средах (параметры упругого отскока, сохранение импульса, траектории), исключая влияние на вычисление результатов MOT-тестов и позволяя испытуемому при выполнении задачи опираться исключительно на монокулярные признаки глубины.

Программная архитектура тестов MOT (комплекс «Сила внимания™») базируется на стохастической модели генерации стимулов, включающей квазислучайную инициализацию стартовых позиций и квазихаотичную динамику траекторий движения объектов. Расчет сложности выходит за рамки линейного анализа скорости и базируется на непрерывном мониторинге пространственно-временной конфигурации целей (включая анализ попарных дистанций и плотности перекрытий в каждый момент времени), что обеспечивает высокую чувствительность метода. Несмотря на то что стохастическая природа движения (вариативность траекторий) исключает абсолютную идентичность весовых коэффициентов сложности в единичных раундах, на репрезентативных выборках метод демонстрирует устойчивую статистическую эквивалентность. Это обеспечивает высокую ретестовую надежность и корректную сопоставимость психометрических данных, полученных в 2D- и 3D-модальностях.

Экспериментальный дизайн и процедура тестирования. В исследовании применялся сбалансированный внутрисубъектный дизайн (within-subject design). Все участники ($n = 63$) проходили тестирование в обоих режимах. Для контроля эффектов последовательности (научения и утомления) порядок предъявления тестов был рандомизирован: 50 % выборки начинали сессию с 3D-MOT, 50 % — с 2D-MOT.

Общая продолжительность одного теста составляла 7 мин. Между тестами был предусмотрен фиксированный интервал отдыха длительностью 60 сек.

Протокол: каждый тест включал 2 пробных и 20 зачетных раундов. Стартовая скорость движения объектов в первых раундах была стандартизирована на уровне 0,7 м/сек. Для регуляции нагрузки использовали алгоритм «когнитивной обратной связи» — адаптивную процедуру лестничного типа (staircase method), основанную на психофизических принципах [7]. При безошибочном ответе скорость в следующем раунде увеличивалась, при ошибке — снижалась. Это позволяло удерживать сложность задачи на уровне индивидуального порога максимальных возможностей испытуемого.

Фазовая динамика: каждый раунд представлял собой дискретную последовательность четырех когнитивных фаз (рис. 1), реализующих классическую парадигму MOT [5]:

Фаза кодирования и пространственной индексации (4 сек). В виртуальном пространстве генерируется массив из 8 идентичных по размеру сферических объектов, движущихся по квазихаотичным траекториям. Для инициализации задачи 4 целевых объекта маркируют цветовым кодом (красный цвет), остальные 4 выступают в роли дистракторов (желтый цвет). В течение этого временного интервала испытуемый должен сфокусировать визуальное внимание одновременно на всех целевых объектах.

Фаза динамического трекинга (8 сек). Целевые объекты меняют цвет на нейтральный желтый, становясь визуально неотличимыми от дистракторов. Все 8 объектов продолжают движение по стохастическим траекториям с заданной в раунде скоростью, испытывая окклюзии и упругие соударения друг с другом и со стенками параллелепипеда, ограничивающего рабочее пространство. Задача испытуемого — удерживать целевые объекты в фокусе визуального внимания.

Фаза ответа и верификации. Движение всех объектов останавливается. Испытуемый должен идентифицировать четыре целевых объекта (изначально красные сферы) посредством контроллера VR-гарнитуры. Время на принятие решения не ограничено, что позволяет минимизировать моторные ошибки.

Фаза обратной связи и подкрепления. После завершения выбора система осуществляет мгновенную визуализацию точности ответов (visual feedback). Истинные целевые объекты демаскируются (возвращают исходный цветовой маркер), позволяя оператору сопоставить свой перцептивный прогноз с реальностью.

Корректно идентифицированные цели подсвечиваются позитивным стимулом (зеленый ореол). Ошибочно выбранные дистракторы или пропущенные цели маркируются негативным стимулом (красный ореол). Данный этап обеспечивает активацию нейрокогнитивных механизмов мониторинга ошибок и является необходимым условием для калибровки внутренних прогностических моделей испытуемого. Результат этой фазы (успех/неудача) служит триггером для адаптивного алгоритма (staircase procedure), который автоматически повышает или понижает скорость движения объектов в следующем раунде.

Регистрируемые показатели. Сбор данных осуществляли автоматически с дискретностью 90 Гц. Для анализа были использованы следующие метрики:

- интегральный показатель MOT (баллы) — условная композитная величина, рассчитываемая по валидированному запатентованному алгоритму. Представляет собой взвешенную сумму параметров динамической сложности сцены (учитывающей скорость, плотность окклюзий и траекторную энтропию) и результативности оператора. Показатель позволяет оценить комплексную количественную эффективность выполнения перцептивно-когнитивной задачи мультиобъектного слежения;

- скоростные лимиты (м/сек) — кинематические характеристики, отражающие предельную скорость движения объектов, при которой испытуемый способен успешно выполнять задачу мультиобъектного слежения с заданной точностью. Регистрировались средняя скорость трекинга за 20 раундов теста и максимальная скорость, достигнутая в ходе адаптивной лестничной процедуры;

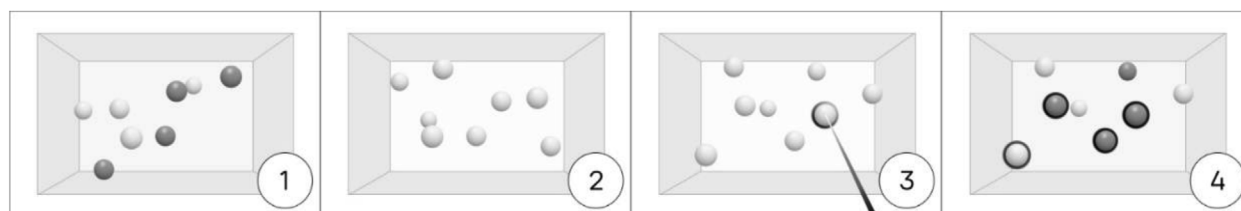


Рис. 1. Фазы MOT-теста (комплекс «Сила внимания™»), пояснения в тексте
Fig. 1. Phases of the MOT test (Power of Attention™ complex), explanations in the text

- время выбора (сек) — хронометрический показатель, включающий латентный период идентификации целевых объектов после остановки движения и моторный компонент выбора целей. Система также фиксировала время когнитивной коррекции (феномен «изменения решения» при отмене выбора), что отражает уровень уверенности испытуемого.

Методы математической статистики. Статистическую обработку данных, очистку и разведочный анализ (EDA) проводили с использованием программной среды Python 3.10 (библиотеки *Pandas*, *NumPy*, *SciPy*). Визуализация результатов выполнена с применением библиотек *Matplotlib* и *Seaborn*.

Препроцессинг и описательная статистика. Перед выбором статистических критериев осуществляли проверку нормальности распределения количественных переменных с использованием критерия Шапиро–Уилка (Shapiro–Wilk test).

Для переменных с нормальным распределением данные представлены в формате $M \pm SD$, где M — среднее арифметическое, SD — стандартное отклонение. Для показателей, распределение которых достоверно отличалось от нормального, использовали медиану и интерквартильный размах (Me [Q1; Q3]).

Для нивелирования индивидуальных различий в базовом уровне подготовки и стратификации выборки рассчитывался показатель относительного прироста эффективности (Δ , %):

$$\Delta, \% = \frac{MOT_{3D} - MOT_{2D}}{MOT_{2D}} \cdot 100 \%,$$

где MOT_{3D} — значение интегрального показателя в 3D-реде;

MOT_{2D} — значение интегрального показателя в 2D-реде.

Проверка статистических гипотез. Для оценки достоверности различий применяли следующие критерии.

Сравнительный анализ зависимых выборок: сопоставление показателей эффективности и кинематики между 3D- и 2D-режимами (внутрисубъектный дизайн) проводили с помощью парного t -критерия Стьюдента для параметрических данных. В случаях нарушения нормальности распределения использовали T -критерий знаковых рангов Вилкоксона.

Корреляционный анализ: линейную связь между баллами интегрального показателя MOT и скоростными лимитами оценивали с расчетом коэффициента корреляции Пирсона (r).

Анализ асимметрии адаптации: для сравнения выраженности физиологического сдвига между полярными фенотипическими группами (дихотомия «Стереонорма» — «Цифровая деформация») сопоставляли магнитуды (абсолютные значения модуля) эффекта (Δ , %) с использованием t -критерия Стьюдента для независимых выборок.

Визуализация и уровень значимости: критический уровень значимости при проверке нулевых гипотез принимали равным $p < 0,05$. Для графического представления индивидуальных профилей адаптации использовали каскадные диаграммы, для анализа дисперсии показателей внутри групп — диаграммы размаха.

Организация исследования и этические аспекты. Сбор эмпирических данных был проведен на базе Центра промышленной и морской медицины (ФГБУ СЗОНКЦ им. Л. Г. Соколова ФМБА России) в рамках пилотного внедрения виртуальной когнитивной лаборатории «Сила внимания».

Исследование выполнено в ходе планового первичного медицинского осмотра студентов. Все процедуры соответствовали этическим стандартам Хельсинкской декларации. Все участники подписали информированное согласие; данные были деперсонифицированы (анонимизированы) перед статистической обработкой.

Результаты. *Общий анализ и эффект маскировки.* Первичный сравнительный анализ, проведенный на уровне генеральной совокупности ($n = 63$), выявил статистически достоверное преимущество стереоскопического режима восприятия по интегральному показателю MOT — комплексной количественной оценке эффективности выполнения перцептивно-когнитивной задачи мультиобъектного слежения. Среднее значение в 3D-среде составило $228,4 \pm 68,1$ балла против $212,4 \pm 59,2$ балла в 2D-среде (парный t -критерий; $p = 0,0015$). Данный факт подтверждает базовую гипотезу об эволюционной детерминированности бинокулярного зрения как оптимального механизма для обработки динамических пространственных сцен. Однако анализ кинематических параметров (скоростных лимитов трекинга) выявил парадоксальную картину (табл. 1). Несмотря на различие в интегральных баллах MOT, усредненные показатели скорости движения объектов не продемонстрировали статистически значимых различий между условиями:

максимальная скорость: 1,65 м/сек (3D)
и 1,60 м/сек (2D) ($p = 0,222$);
средняя скорость: 1,21 м/сек (3D)
и 1,16 м/сек (2D) ($p = 0,078$).

Наблюдаемая диссоциация между ростом интегрального показателя MOT и отсутствием значимого прироста скорости на популяционном уровне свидетельствует о наличии феномена статистической маскировки. Мы полагаем, что отсутствие различий в средних величинах является статистическим артефактом, возникающим вследствие взаимного погашения двух мощных, но разнонаправленных физиологических векторов внутри выборки: выраженной фасилитации

(ускорения) трекинга у одной части респондентов и его ингибции (замедления) у другой.

При этом выявлен универсальный эффект повышения «когнитивной стоимости» деятельности в монокулярной среде. Вне зависимости от успешности выполнения задачи время, затрачиваемое на поиск и выбор целей в 2D-режиме, достоверно увеличилось на 38,3 % (с 64,8 сек до 89,7 сек; $p < 0,001$). Это указывает на то, что в условиях отсутствия бинокулярной диспаратности зрительная система вынуждена компенсировать дефицит пространственной информации за счет более длительной верификации объектов, реализуя стратегию «скоростно-временного компромисса».

Таким образом, анализ усредненных данных по выборке скрывает (маскирует) истинную нейродинамическую картину, что диктует необходимость перехода от популяционного анализа к стратифицированному рассмотрению фенотипических групп.

Феноменология профилей восприятия: асимметрия адаптации и стратификация. Детальный анализ индивидуальных траекторий изменения интегрального показателя MOT (Δ %) позволил выявить фундаментальную асимметрию физиологических лимитов при смене визуальных сред. Нами установлено, что потенциал позитивной нейропластичности (усиление функций в 3D) существенно превышает глубину негативной дезадаптации (снижение функций).

Магнитуда максимального положительного прироста интегрального показателя MOT в выборке достигает +59,3 %, тогда как максимальное снижение ограничено пределом -35,2 %. Аналогичная диспропорция наблюдается и в средних

Таблица 1

Сравнительная статистика показателей интегрального показателя MOT и нейродинамики трекинга в стереоскопической (3D) и монокулярной (2D) средах (общая выборка, $n = 63$)

Table 1

Comparative statistics of the integral MOT and neurodynamics tracking indicators in stereoscopic (3D) and monocular (2D) environments (total sample, $n = 63$)

Параметр	3D-режим ($M \pm SD$)	2D-режим ($M \pm SD$)	Значимость (p, t -test)
Интегральный показатель эффективности MOT (баллы)	$228,3 \pm 65,3$	$212,4 \pm 55,5$	0,0015
Максимальная скорость (м/сек)	$1,65 \pm 0,48$	$1,60 \pm 0,40$	0,222 (ns)
Средняя скорость (м/с)	$1,21 \pm 0,34$	$1,16 \pm 0,30$	0,078 (ns)
Время выбора (сек)	$64,8 \pm 10,0$	$89,7 \pm 16,9$	< 0,001

величинах эффекта: средний прирост в группе фасилитации (+ 26,7 %) почти в 1,7 раза превышает модуль среднего спада в группе ингибции |-15,9 %). Данная асимметрия подтверждает, что стереоскопическое зрение является эволюционно детерминированным оптимумом с широким диапазоном потолка адаптации, в то время как доминирование плоскостного восприятия — субоптимальной стратегией с жестким функциональным пределом (рис. 2).

Выявленная асимметрия, а также учет стандартной ошибки измерения (SEM) определили необходимость введения нелинейной зоны то-

лерантности (шумового коридора).
Диапазон значений Δ от -5 до +10 % был квалифицирован как область функциональной инвариантности. Сдвиг вправо (до +10 %) в данном контексте интерпретируется как физиологическая норма (несущественное улучшение, не выходящее за пределы флуктуаций внимания), тогда как даже незначительный сдвиг влево (ниже -5 %) является маркером начала сенсорного конфликта.
На основании данных критериев была произведена стратификация выборки на три устойчивых фенотипических кластера (рис. 3).

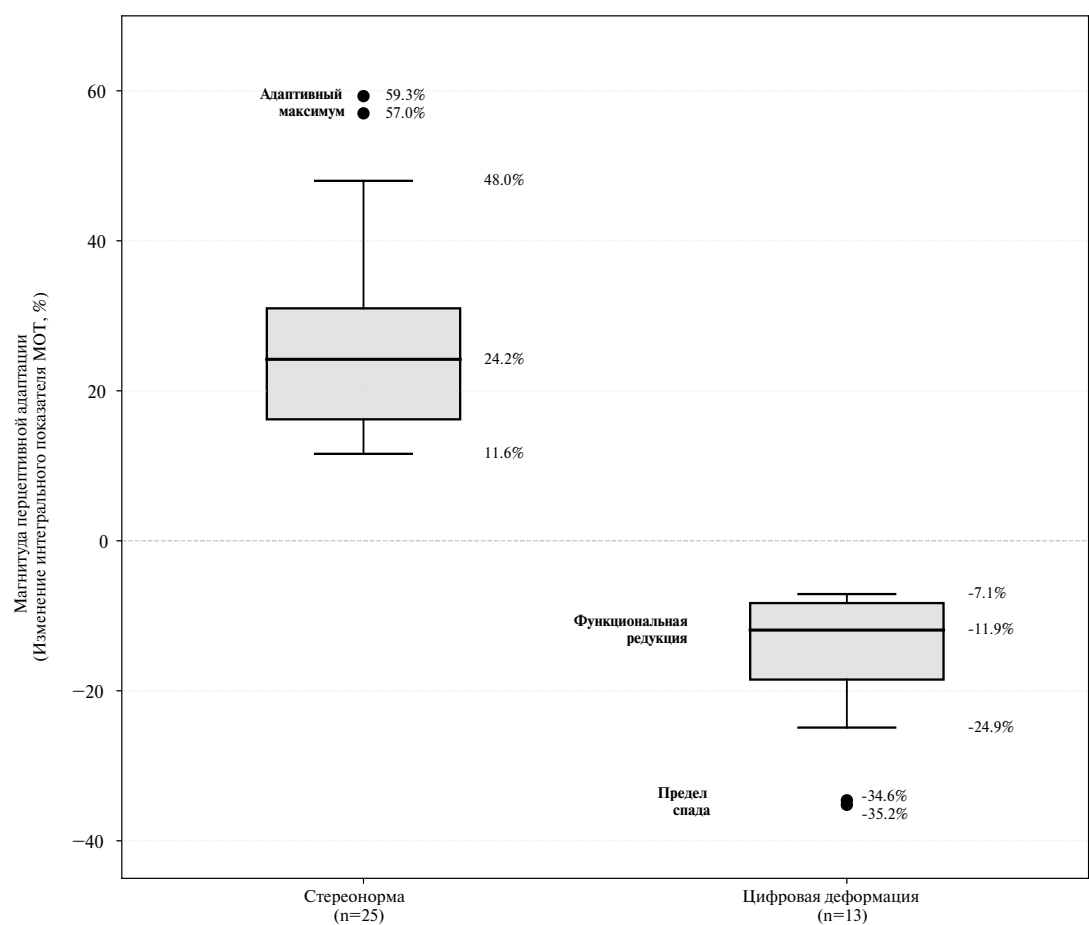


Рис. 2. Размах асимметрии адаптационных лимитов в полярных фенотипических группах. Визуализация сравнительного анализа магнитуды физиологического отклика в группах «Стереонорма» ($n = 25$) и «Цифровая деформация» ($n = 13$). Центральная линия — медиана (Me); границы «ящика» — интерквартильный размах [Q1; Q3]; «усы» — диапазон значений, не выходящих за пределы $1.5 \times \text{IQR}$; черные точки — индивидуальные статистические выбросы, отражающие экстремальные пределы перцептивной адаптации

Fig. 2. Boxplot of the asymmetry of adaptation limits in polar phenotypic groups. Visualization of a comparative analysis of the magnitude of the physiological response in the “Stereonorm” ($n = 25$) and “Digital Deformation” ($n = 13$) groups. The central line is the median (Me); the boundaries of the “box” are the interquartile range [Q1; Q3]; the “whiskers” are the range of values that do not exceed $1.5 \times \text{IQR}$; the black dots represent individual statistical outliers reflecting extreme limits of perceptual adaptation.

Группа «Стереонорма» / Стереодоминантные ($\Delta > +10\%$; $n = 25$; 39,7 % выборки). Испытуемые, демонстрирующие выраженный эффект стереоскопической фасилитации. Выполнение перцептивно-когнитивных задач в 3D-среде вызывает у них качественный скачок эффективности, выходящий за пределы случайной вариативности.

Группа «Нейтральные» / Универсалы ($-5\% < \Delta < +10\%$; $n = 25$; 39,7 % выборки). Когорта с высокой перцептивной ригидностью или сформированной амбивалентностью. Их перцептивно-когнитивная система демонстрирует инвариантность к типу стимуляции, не извлекая значимого преимущества из объема, но и не испытывая конфликта.

Группа «Цифровая деформация» / 2D-доминантные ($\Delta < -5\%$; $n = 13$, 20,6 % выборки). Испытуемые, характеризующиеся инвертированной реакцией. Погружение в естественную для человека стереоскопическую среду вызывает достоверное снижение эффективности, что сви-

детельствует о закрепленной адаптации к плоскостным стимулам («экранный импринтинг»).

Такая структура выборки доказывает, что способность эффективно оперировать в трехмерном виртуальном пространстве не является универсальной константой для современной популяции, а зависит от специфического профиля нейропластичности.

Сравнительный анализ кинематики трекинга и когнитивной стоимости. Проведенный стратифицированный анализ позволил выявить фундаментальные различия в нейродинамике обработки визуальной информации между выделенными фенотипическими группами. Результаты сравнения максимальных скоростных лимитов и времени принятия решения представлены в табл. 2.

Анализ данных демонстрирует два ключевых нейрофизиологических паттерна:

1. Феномен кинематической дивергенции.

Скоростные лимиты трекинга демонстрируют разнонаправленную динамику, подтверж-

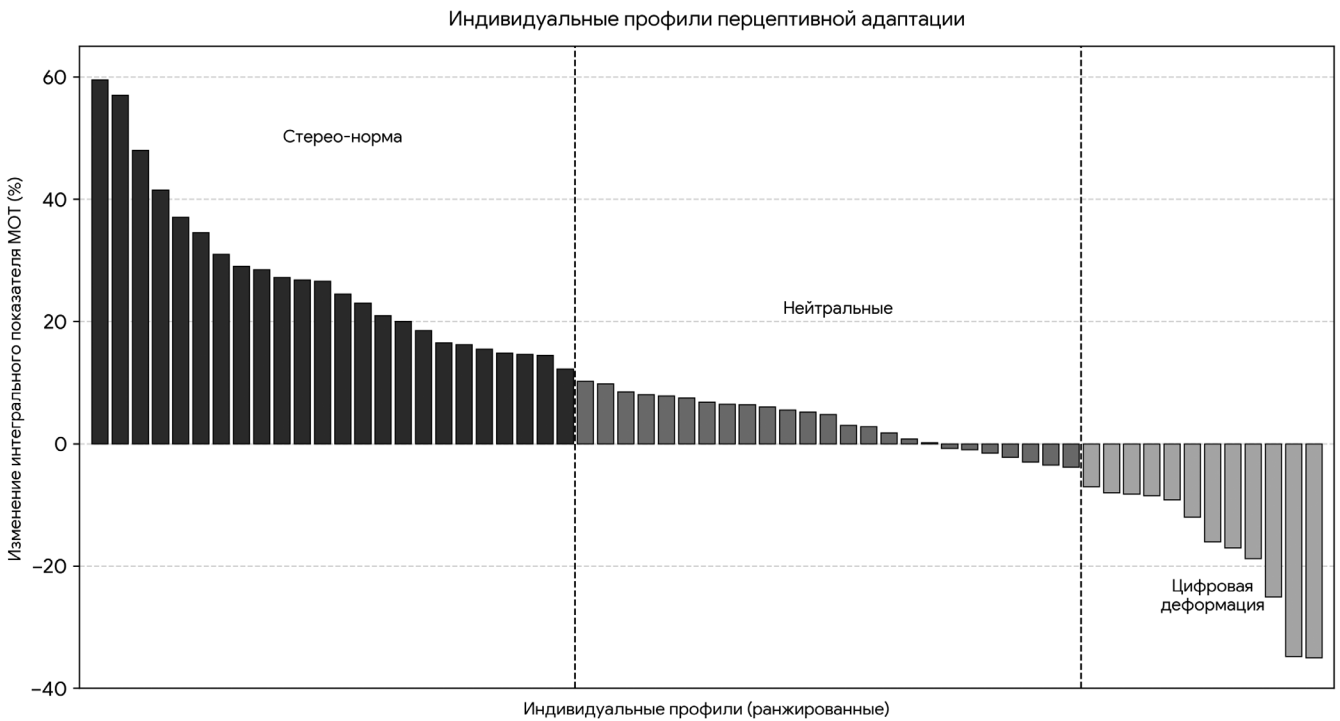


Рис. 3. Каскадная диаграмма распределения индивидуальных профилей перцептивной адаптации. Цветовая кодировка и пунктирные линии маркируют границы фенотипических кластеров: черная зона (слева) — группа «Стереонорма»; темно-серая зона (середина) — группа «Нейтральные»; светло-серая зона (справа) — группа «Цифровая деформация» (пояснения в тексте).

Fig. 3. Cascade diagram of the distribution of individual profiles of perceptual adaptation. Color coding and dotted lines mark the boundaries of the phenotypic clusters: the black zone (left) is the “Stereo-Norm” group; the dark gray zone (middle) is the “Neutral” group; the light gray zone (right) is the “Digital Deformation” group (see text for explanation).

дая гипотезу о противоположном влиянии стереоскопии на разные фенотипы:

В группе «Стереонорма» бинокулярная среда выступает мощным фасилитатором, обеспечивая прирост предельной скорости обработки динамической сцены на 23,4 % ($p < 0,001$).

В группе «Цифровая деформация», напротив, наблюдается ингибция: переход в 3D вызывает достоверное снижение скоростного порога на 20,3 % ($p < 0,001$).

Группа «Нейтральные» демонстрирует кинематическую инвариантность ($p > 0,05$), что указывает на устойчивость механизмов трекинга к смене модальности, однако без получения преимуществ от объема.

2. Универсальность повышения когнитивной стоимости.

В отличие от скоростных показателей, хронометрические метрики демонстрируют однонаправленный тренд для всей выборки. В 2D-режиме зафиксировано статистически значимое увеличение времени поиска и выбора целей во всех трех группах ($p < 0,001$): на + 36,7 % — у «Стереонормы» и на + 39,8 % — у «Нейтральных».

Особого внимания заслуживает тот факт, что даже представители группы «Цифровая деформация», которые кинематически успеш-

нее справляются с задачей в 2D (поддерживают более высокую скорость — 1,48 м/с против 1,18 м/с), тратят на верификацию ответов на плоскости значительно больше времени ($\Delta + 25,9$ с). Это позволяет сделать вывод о высокой когнитивной стоимости монокулярного восприятия. Независимо от сформированного паттерна адаптации, отсутствие прямой информации о глубине (бинокулярной диспаратности) вынуждает мозг задействовать ресурсоемкие компенсаторные механизмы реконструкции пространства (анализ линейной перспективы, относительных размеров объектов, теней и перекрытий), что неизбежно приводит к временным задержкам на этапе принятия решения. Таким образом, даже при успешной адаптации к 2D («цифровой фенотип»), эффективность достигается ценой истощения временного ресурса.

Обсуждение. Социобиологический парадокс: феномен инвертированного восприятия. Полученные нами данные вскрывают фундаментальный социобиологический парадокс. Эволюционная теория постулирует, что стереоскопическое зрение, обеспечивающее мгновенную экстракцию информации о глубине, является безусловным адаптивным преимуществом Homo sapiens. Однако результаты нашего исследования демонстрируют, что для

Таблица 2

Динамика кинематических параметров и времени выбора объектов в зависимости от условий предъявления ($M \pm SD$)

Table 2 Dynamics of kinematic parameters and object selection time depending on the presentation conditions ($M \pm SD$)					
Фенотипическая группа	Параметр	3D-режим (стерео)	2D-режим (монокуляр)	$\Delta (\frac{M_{3D}}{M_{2D}} - \frac{T_{3D}}{T_{2D}})$	p
Стерео-норма ($n = 25$)	Макс. скорость (м/сек)	$1,90 \pm 0,48$	$1,54 \pm 0,42$	+ 0,36	< 0,001
	Время выбора (с)	$63,9 \pm 9,7$	$87,3 \pm 15,6$	+ 23,4	< 0,001
Нейтральные ($n = 25$)	Макс. скорость (м/сек)	$1,64 \pm 0,40$	$1,71 \pm 0,43$	- 0,07	0,134
	Время выбора (сек)	$64,6 \pm 9,2$	$90,3 \pm 19,0$	+ 25,7	< 0,001
Цифровая деформация ($n = 13$)	Макс. скорость (м/сек)	$1,18 \pm 0,25$	1.48 ± 0.26	- 0,30	< 0,001
	Время выбора (сек)	$67,1 \pm 12,3$	$93,0 \pm 15,7$	+ 25,9	< 0,001

20,6 % выборки (группа «Цифровая деформация») этот эволюционный механизм утратил свою доминантную роль.

Мы наблюдаем эффект нейропластической адаптации на популяционном уровне: когорта респондентов, чей ранний (2–3 года) онтогенез совпал с массовой экспансией сенсорных 2D-интерфейсов (2009–2010 гг.), демонстрирует устойчивую инверсию перцептивного преимущества. Для каждого пятого студента технического вуза естественная трехмерная среда является менее комфортной и продуктивной, чем ее плоская проекция. Это позволяет нам формализовать гипотезу «экранного импринтинга»: интенсивная ранняя стимуляция плоскими динамическими образами приводит к закреплению монокулярных стратегий обработки движения (*structure-from-motion*) в качестве базового нейронного паттерна, функционально подавляя стереоскопические механизмы.

Нейрокогнитивные механизмы. Дивергенция кинематических показателей (см. табл. 2) позволяет реконструировать нейрофизиологическую природу выявленного дефицита.

У группы «Стереонорма» бинокулярная диспаратность действует как фасилитатор, предоставляя зрительной коре дополнительную пространственную координату (ось Z — глубина визуальной сцены). Это снижает эффект «скупченности» (*crowding effect*) на сетчатке и позволяет эффективно сегрегировать цели, увеличивая предельную скорость трекинга на 23 %.

В группе «Цифровая деформация» наблюдается обратный процесс — стереоскопическая ингибция. Мы полагаем, что при погружении в 3D-среду зрительная система данных испытуемых сталкивается с сенсорным конфликтом (вергенционно-аккомодационным несоответствием или конкуренцией между монокулярными и бинокулярными сигналами). Обработка конфликтующей информации о глубине требует дополнительных ресурсов внимания, отвлекая их от основной задачи трекинга. В терминах теории когнитивной нагрузки (*cognitive load theory*) бинокулярный сигнал становится для них не «полезным сигналом», а «шумом», что вынуждает мозг снижать скорость обработки информации на 20 % для сохранения контроля над ситуацией.

Группа «Нейтральные», несмотря на отсутствие выраженного сенсорного конфликта, характеризуется ригидностью адаптивных

механизмов. Отсутствие значимого прироста эффективности в 3D-среде в сочетании с тенденцией к снижению абсолютных показателей результативности (на 11,7 % ниже группы «Стереонорма») не позволяет отнести данный фенотип к физиологическому оптимуму, сближая его с проявлениями скрытой цифровой деформации.

Когнитивная стоимость адаптации. Критически важным является обнаруженный нами факт универсального повышения времени визуального поиска и выбора объектов в монокулярном режиме. Независимо от фенотипа, переход в 2D-среду приводит к увеличению латентного периода выбора целей на 36–40 % (в среднем на 25 сек).

Даже представители «цифрового фенотипа», которые демонстрируют высокую кинематическую эффективность на плоскости (поддерживают скорость 1,48 м/сек), платят за этот результат высокую когнитивную цену. Это свидетельствует о том, что монокулярное восприятие глубины, основанное на вторичных признаках (тени, окклюзия, параллакс движения), является нейронально более затратным процессом, чем прямая стереоскопическая перцепция. Мозг вынужден выполнять постоянную «реконструкцию» объема, что неизбежно замедляет цикл принятия решений.

Следовательно, адаптация к плоским экранам является субоптимальной стратегией: она позволяет сохранять точность, но критически ограничивает темпоральную эффективность (время визуального поиска и скорость реакции), что представляет потенциальный риск в профессиональной деятельности операторов сложных систем.

Заключение. Проведенное исследование позволило экспериментально верифицировать гипотезу «экранного импринтинга» и продемонстрировать, что массовый ранний опыт взаимодействия с цифровыми интерфейсами приводит к функциональной гетерогенности современной популяции. Полученные данные опровергают представление об универсальности перцептивных реакций на виртуальные среды и доказывают наличие глубоких нейропластических изменений в механизмах обработки динамических сцен у поколения Digital Natives («Цифровые аборигены»).

На основании анализа эмпирических данных сформулированы следующие выводы:

1. Валидизация метода 3D-MOT как интегрального маркера зрительно-когнитивной нейродинамики.

В ходе исследования подтверждена высокая конструктивная валидность метода. Установленная жесткая линейная детерминация между эффективностью выполнения задачи и скоростными лимитами трекинга ($r > 0,95$) позволяет квалифицировать 3D-MOT как высокоточный инструмент измерения пропускной способности зрительного канала. При этом мультикомпонентная структура задачи (включающая фазы индексации, распределения внимания и верификации) дает основания рассматривать полученный интегральный показатель как комплексный маркер состояния зрительно-когнитивной системы в целом, диагностический потенциал которого в отношении других когнитивных функций (рабочая память, устойчивость к интерференции) будет детализирован в последующих исследованиях.

2. Идентификация устойчивых фенотипов восприятия.

Доказано существование трех дискретных фенотипических кластеров, характеризующихся дивергентными адаптационными стратегиями:

«Стереонорма» (40 % выборки): характеризуется эффектом *стереоскопической фасилитации* (прирост скорости трекинга на 23 % в 3D).

«Цифровая деформация» (20 % выборки): характеризуется эффектом *стереоскопической*

ингибции (снижение скорости на 20 % в 3D вследствие сенсорного конфликта).

«Нейтральные» (40 % выборки): характеризуется кинематической инвариантностью.

Выявление данной структуры доказывает, что способность эффективно оперировать в трехмерном пространстве более не является универсальной популяционной константой.

3. Обоснование необходимости когнитивной коррекции в инженерном образовании.

Установлено, что даже успешная адаптация к 2D-среде («цифровой фенотип») достигается ценой высокой когнитивной стоимости — увеличения времени визуального поиска и принятия решений на 38 %. Для профессиональной деятельности инженеров высокотехнологичных промышленных производств, объектов энергетики и транспортной инфраструктуры, летного состава и экипажей судов, диспетчеров управления воздушным движением, операторов беспилотных и роботизированных систем такая задержка является критическим фактором риска.

В связи с этим обоснована необходимость внедрения технологий типа 3D-MOT в образовательные программы технических вузов. Они должны применяться не только как диагностический инструмент (профессиональный отбор), но и как средство компенсаторного нейротренинга, направленного на восстановление механизмов стереоскопического зрения, снижение сенсорного конфликта и повышение скорости оперативного реагирования в реальных и виртуальных трехмерных средах.

Сведения об авторах

Першина Елена Игоревна — кандидат медицинских наук, главный врач Центра промышленной и морской медицины Федерального государственного бюджетного учреждения «Северо-Западный окружной научно-клинический центр имени Л. Г. Соколова» Федерального медико-биологического агентства России; Россия, 194291, Санкт-Петербург, пр-т Культуры, д. 4, литер а; ORCID: 0000-0003-1899-5192; SPIN: 1458-3530; e-mail: pershina.ei@inbox.ru.

Савин Дмитрий Николаевич — кандидат педагогических наук, главный эксперт, Спортивное новаторство; Россия, 127473, Москва, Селезневская ул, д. 22, помещ. 4/т; ORCID: 0009-0000-5075-3543; SPIN: 9164-5221; e-mail: savin.dn@sportnovators.ru.

Епифановский Евгений Сергеевич — генеральный директор, Спортивное новаторство; Россия, 127473, Москва, Селезневская ул., д. 22, помещ. 4/т; ORCID: 0009-0004-2885-2173; e-mail: epifanovsky.es@sportnovators.ru.

Трухина Дарья Юрьевна — заведующая отделением реабилитации Центра промышленной и морской медицины, «Северо-Западный окружной научно-клинический центр имени Л. Г. Соколова» Федерального медико-биологического агентства России; Россия, 194291, Санкт-Петербург, пр-т Культуры, д. 4, литер а; ORCID: 0009-0009-2924-5283; e-mail: dutruhina@mail.ru.

Горяинов Владислав Дмитриевич — техник сектора по сопровождению работы АРМ пользователей Центра промышленной и морской медицины, «Северо-Западный окружной научно-клинический центра имени Л. Г. Соколова» Федерального медико-биологического агентства России; Россия, 194291, Санкт-Петербург, пр-т Культуры, д. 4, литер а; ORCID: 0009-0004-0684-3866; e-mail: bvd24.01.2006@mail.ru.

Information about the authors

Elena I. Pershina — Cand. of Sci. (Med.), Chief Physician of the Center for Industrial and Marine Medicine of the Federal State Budgetary Institution of the North-Western District Scientific and Clinical Center named after L.G. Sokolov of the Federal Medical and Biological Agency of Russia; Russia, 194291, Saint Petersburg, Kultury Ave., 4, Liter a; ORCID: 0000-0003-1899-5192; SPIN: 1458-3530; e-mail: pershina.ei@inbox.ru.

Dmitry N. Savin — Cand. of Sci. (Pedagog.), Chief Expert of LLC Sportivnoye Innovatsiy; Russia, 127473, Moscow, Seleznevskaya Str., 22, room. 4/t; ORCID: 0009-0000-5075-3543; SPIN: 9164-5221; e-mail: savin.dn@sportnovators.ru.

Evgeny S. Epifanovskiy — General Director of Sportivnoye Innovatsiy; Russia, 127473, Moscow, Seleznevskaya Str., 22, room. 4/t; ORCID: 0009-0004-2885-2173; e-mail: epifanovsky.es@sportnovators.ru.

Daria Yu. Trukhina — Head of the Rehabilitation Department of the Center for Industrial and Marine Medicine of the Federal State Budgetary Institution of the North-Western District Research and Clinical Center named after L. G. Sokolov of the Federal Medical and Biological Agency of Russia; Russia, 194291, Saint Petersburg, Kultury Ave., 4, Liter a; ORCID: 0009-0009-2924-5283; e-mail: dutruhina@mail.ru.

Vladislav D. Goryainov — Technician of the User Workstation Support Sector at the Center for Industrial and Marine Medicine of the Federal State Budgetary Institution of the North-Western District Research and Clinical Center named after L.G. Sokolov of the Federal Medical and Biological Agency of Russia; Russia, 194291, Saint Petersburg, Kultury Ave., 4, Liter a; ORCID: 0009-0004-0684-3866; e-mail: bvd24.01.2006@mail.ru

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и дизайн исследования — Е. И. Першина, Д. Н. Савин; сбор первичных материалов и математический анализ данных — Е. С. Епифановский, Д. Ю. Трухина; подготовка рукописи — Е. И. Першина, Д. Н. Савин.

Contribution of the authors. All authors confirm that their authorship complies with the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, the conduct of the research, and the preparation of the article, and have read and approved the final version before publication).

Special contribution: EIP, DNS study concept and design. ESE, DYuT primary data collection and mathematical analysis. EIP, DNS manuscript preparation.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Благодарности: Авторы выражают искреннюю благодарность Владиславу Горьяинову за помощь в сборе данных.

Acknowledgements: The authors express their sincere gratitude to Vladislav Goryainov for his assistance in data collection.

Финансирование: исследование проведено без дополнительного финансирования.

Funding: the study was carried out without additional funding

Поступила/Received: 19.04.2026

Принята к печати/Accepted: 15.09.2026

Опубликована/Published: 30.09.2026

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Николаева Е. И., Исаченкова М. Л. Предикторы использования гаджетов детьми дошкольного возраста // *Теоретическая и экспериментальная психология*. 2022. Т. 15, № 4. С. 55–69 [Nikolaeva E. I., Isachenkova M. L. Predictors of Gadget Use by Preschool Children. *Theoretical and Experimental Psychology*, 2022, Vol. 15, No. 4, pp. 55–69 (In Russ.)].
2. Common Sense Media. *The Common Sense census: Media use by kids and tweens*, 2025.
3. Gago-Galvagno L. G., Elgier A. M., Tabullo A. J., Huairé-Inacio E. J., Herrera-Alvarez A. M., Zambrano-Villalba C., et al. Use of screens, books and adults' interactions on toddler's language and motor skills: A cross-cultural study among 19 Latin American countries from different SES. *PLoS ONE*, 2025, 20(2), e0314569. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0314569>.
4. Plourde M., Corbeil M.-E., Faubert, J. Effect of age and stereopsis on a multiple-object tracking task. *PLOS ONE*, 2017, 12(12), e0188373. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188373>.
5. Pylyshyn Z. W., Storm R. W. Tracking multiple independent targets: Evidence for a parallel tracking mechanism. *Spatial Vision*, 1988, 3(3), 179–197. <https://doi.org/10.1163/156856888X00122>.
6. Faubert J. Professional athletes are a distinct population in a neurodynamic top-down process. *Scientific Reports*, 3, Article 1154. <https://doi.org/10.1038/srep01154>.
7. Levitt H. Transformed up-down methods in psychoacoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1971, 49(2B), 467–477. <https://doi.org/10.1121/1.1912375>.