

4. Боден, Массачусетс, Искусственный интеллект. 1996.
5. Кок, Х., Аджилар, А.М., Изги, М.С., Использование и сравнение алгоритмов искусственного интеллекта для определения роста и развития по стадиям шейных позвонков в ортодонтии. Прога Ортод. 2019. 20, 41. <https://doi.org/10.1186/s40510-019-0295-8>.
6. Кунц Ф., Штельциг-Эйзенхауэр А., Земан Ф. и др., Искусственный интеллект в ортодонтии: оценка полностью автоматизированного цефалометрического анализа с использованием настроенной сверточной нейронной сети. Журнал ортофациальной ортопедии / fortschritte Der Kieferorthopadie. 2020.
7. Ли П., Конг Д., Тан Т. и др., Планирование ортодонтического лечения на основе искусственных нейронных сетей. наук. Отчет 9, 2019 г.
8. Нигматов Р.Н., Рузиев Ш.Д., Ханова Д.Н. Искусственный интеллект в ортодонтии и его использование для оценки патологии прикуса. // Научно-практический журнал «Интегративная стоматология и челюстно-лицевая хирургия». Том 3, Выпуск 2 (7). – 2024. – С.69-73.
9. Нигматов, Р. Н., Артикбаев, М. Б., Муртазаев, С. С., Махкамов, М. Э., Юлдашев, Т. А., & Тулаганов, Б. Б. (2024). Приоритеты современных методов компьютерных технологий для реабилитации детей с врожденной расщелиной верхней губы и неба в республике Каракалпакстан. *Stomatologiya*, (1), 13-18.
10. Нигматов, Р. Н., Рузиев, Ш. Д., & Ханова, Д. Н. (2024). Искусственный интеллект в ортодонтии и его использование для оценки патологии прикуса. *Stomatologiya*, (1), 69-73.
11. Пути использования искусственного интеллекта в практической стоматологии. // Рузиев Ш.Д., Нигматов Р.Н., Нигматова Н.Р., Ханова Д.Н., Сайдиганиев С.С. / Международный научно-практический журнал «Вестник Бобек», Astana, Kazakhstan. февраль, 2024. - С.135-138.
12. Рузиев, Ш., Нигматов, Р., Нигматова, Н., Ханова, Д., & Сайдиганиев, С. (2024). Пути использования искусственного интеллекта в практической стоматологии. *in Library*, 1(1), 135-138.
13. Хван Х.-В., Пак Дж.-Х., Мун Дж.-Х. и др., Автоматическая идентификация цефалометрических ориентиров: Часть 2. Может ли это быть лучше, чем у человека? Угол Ортод. 2019.90, 69–76. <https://doi.org/10.2319/022019-129.1>.
14. Швендике Ф., Самек В., Кройс Дж., Искусственный интеллект в стоматологии: возможности и проблемы. Дж. Дент. Рез. 2020.20. 769–774.
15. Юнг С.К., Ким Т.В., Новый подход к диагностике извлечений с помощью машинного обучения нейронных сетей. Am J Orthod Зубочелюстной ортопед. 2016. 149, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.07.030>.

## **ИНТЕГРАЦИЯ РОБОТОТЕХНИКИ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ В ОРТОДОНТИИ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕДУРАХ В СТОМАТОЛОГИИ**

**<sup>1</sup>Нигматов Р.Н., <sup>2</sup>Рузиев Ш.Д., <sup>1</sup>Ханова Д.Н., магистр <sup>1</sup>Мамашокиров М.  
<sup>1</sup>Ташкентский государственный стоматологический институт**

**Актуальность.** Недавние исследования подчеркивают растущую роль искусственного интеллекта (ИИ) в ортодонтии, демонстрируя его потенциал для улучшения диагностики, планирования лечения и мониторинга. Алгоритмы ИИ показали превосходное обнаружение положения зубов по сравнению с традиционным программным обеспечением (Hack et al., 2024). При идентификации анатомических ориентиров для планирования ортогнатической хирургии методы ИИ достигли сопоставимой точности с ручным отслеживанием опытными врачами (Ahn et al., 2024). Диагностическое программное обеспечение на основе ИИ может точно определять цефалометрические ориентиры, в то время как программное обеспечение для мониторинга состояния зубов обеспечивает тщательное отслеживание пациентов и оценку прогресса (Strunga et al., 2023). Эти достижения привели к повышению эффективности ортодонтических процессов, что принесло пользу как врачам, так и пациентам (Dipalma et al., 2023; Strunga et al., 2023). Однако существуют ограниченные доказательства относительно эффективности ИИ в оценке стабильности лечения и обнаружении рецидивов (Strunga et al., 2023). В целом интеграция ИИ в ортодонтию обещает революционизировать подходы к лечению и улучшить результаты лечения пациентов (Dipalma et al., 2023). Интеграция робототехники в ортодонтию представляет собой значительный скачок вперед в стоматологических технологиях. Используя точность и эффективность роботизированных систем, ортодонтическое лечение может быть усовершенствовано для обеспечения большей точности и сокращения времени лечения. Это не только улучшает опыт пациента, но и повышает стандарт предоставляемой помощи. Обзор литературы, который вы упомянули, вероятно, подчеркивает траекторию этой технологии от ее зарождения до современных приложений и то, как она согласуется с более широкими тенденциями автоматизации в здравоохранении. По мере того, как робототехника продолжает развиваться, она может предложить еще более сложные решения для сложных ортодонтических случаев, еще больше преобразуя ландшафт стоматологической помощи. Будущие исследования, несомненно, продолжат изучать эти возможности, потенциально приводя к прорывам, которые могут переопределить ортодонтическую практику.

Область продолжает развиваться быстрыми темпами: в 2019 году инженеры Пенсильванского университета разработали миллионы нанороботов, способных вводиться в организм человека. Эти крошечные роботы обещают доставлять лекарства и выполнять сложные операции, потенциально преобразуя ландшафт медицины. Эффективность этих роботизированных систем еще больше повышается за счет достижений в области трехмерной визуализации и технологий производства, что позволяет создавать индивидуальные планы лечения и устройства для пациентов, такие как системы Insignia™ и Suresmile™.

<sup>4</sup> Эти инновации не только персонализируют уход за пациентами, но и оптимизируют процесс лечения, демонстрируя симбиотическую связь между технологиями и здоровьем. Будущее медицинской робототехники с ее

постоянными инновациями готово предложить еще более новаторские решения для сложных проблем здравоохранения.

Интеграция робототехники в стоматологию представляет собой значительный прогресс в стоматологических технологиях, особенно в области ортодонтии. Точность, необходимая для таких задач, как изгибание дуги в фиксированной ортодонтической терапии, имеет первостепенное значение, поскольку она напрямую влияет на результат лечения. Робототехника обеспечивает уровень точности, которого ручные операции не всегда могут достичь, особенно учитывая сложные формы и эластичные свойства дуг. Используя роботизированную помощь, ортодонты могут гарантировать высококачественные результаты более эффективным способом, сокращая время, необходимое для таких процедур. Это не только повышает способность ортодонта планировать и выполнять лечение, но и может произвести революцию в уходе за пациентами за счет повышения безопасности и результатов в области стоматологического здоровья.<sup>7</sup>

### **Изгиб дуги**

#### *Система искусства гибки (BAS)*

Система Bending Art System (BAS) представляет собой значительный прогресс в ортодонтических технологиях, знаменующий переход к компьютерному проектированию и производству при создании индивидуальных дуг. Разработанная в начале 1990-х годов, система BAS была разработана для повышения точности ортодонтического лечения путем автоматизации изгиба дуг, которые являются важными компонентами в выравнивании зубов. Система включает в себя блок изгиба проволоки, стереоскопическую внутреннюю камеру и сложную компьютерную программу. Эта интеграция позволяет производить высокоточные дуги, соответствующие уникальной геометрии зубов каждого пациента. Стереоскопическая камера CCD фиксирует трехмерное позиционирование брекетов внутри ротовой полости, облегчая создание окклюзионных сканов, которые затем используются для тщательного планирования лечения и проектирования дуг. Способность программного обеспечения измерять и ограничивать углы, крутящий момент и вращение каждого паза брекета гарантирует, что дуги будут идеально выровнены с зубной структурой пациента. Добавление модуля силы после наблюдений профессора доктора Хельге Фишера Брандиса в 1998 году еще больше усовершенствовало систему, позволив рассчитывать силы, действующие на отдельные зубы, тем самым предотвращая перегрузку и улучшая результаты лечения.<sup>10</sup>

#### *Роботизированная система гибки проволоки Lamda*

Эволюция лингвального ортодонтического лечения значительно продвинулась вперед благодаря интеграции технологий, в частности, благодаря разработке индивидуальных дуговых проволок. Ручное сгибание этих проволок, когда-то отнимавшее много времени и требующее высокой точности и мастерства, преобразилось с появлением роботизированных систем, способных автоматизировать этот процесс с поразительной точностью. Программное обеспечение LAMDA, представленное Альфредом Гилбертом в 2011 году, представляет собой скачок вперед в быстром и точном изготовлении этих

проволок. Используя такие инструменты, как Microsoft Visual Studio 2008 и язык программирования C#, команда стоматологических специалистов Smile Center в Мехико смогла создать решение, которое не только повышает эффективность подготовки проволок, но и снижает зависимость от внешних лабораторий, тем самым экономя время и деньги.<sup>11</sup> Робот для сгибания проволок, разработанный для внутреннего использования, дополняет систему Hiro Bonding System, обрабатывая начальный порядок сгибания проволок, в то время как последняя система управляет оставшимися размерами, демонстрируя синергию между человеческой изобретательностью и роботизированной точностью в стоматологической ортодонтии.<sup>13</sup>

### **Автоматизированная система для изготовления приборов**

Отчет Сассани Ф. Робертса 1995 года об автоматизированном изготовлении приспособлений представляет собой значительный прогресс в стоматологических технологиях. Интеграция машинного зрения и роботизированного манипулятора, оснащенного программным обеспечением для планирования процесса и предотвращения столкновений, ознаменовала скачок вперед в точности и эффективности производства зубных протезов. Способность системы создавать подробную трехмерную модель зубного слепка с помощью лазерного картирования и компьютерного анализа позволила точно наносить и утверждать акрил, обеспечивая идеальную посадку с минимальной ручной корректировкой. Это нововведение не только упростило производственный процесс, но и повысило качество зубных приспособлений, сделав их более удобными и эффективными для пациентов. Хотя система управляла большей частью производственного процесса, окончательное размещение проволок и винтов оставалось ручной задачей, подчеркивая баланс между автоматизацией и человеческим мастерством в создании зубных протезов.<sup>20</sup> Прозрачные элайнеры, воплощенные в системе Invisalign, представляют собой значительный прогресс в ортодонтическом лечении, сочетая эстетику с функциональностью для удовлетворения потребностей людей, обеспокоенных своим внешним видом во время процесса коррекции. Этот инновационный подход использует ряд изготовленных на заказ прозрачных элайнеров, которые со временем мягко выравнивают зубы в желаемом положении. Зарождение этой технологии относится к концу 1990-х годов, когда Align Technology Inc. представила Invisalign, используя передовую стереолитографию для создания точных эталонных моделей. Процесс начинается с создания поливинилсилоксановых слепков и регистрации прикуса зубного ряда пациента. Затем они преобразуются в трехмерные электронные модели исследования с помощью сканирования компьютерной томографии (КТ). Полученные рентгенографические изображения, известные как синограммы, фиксируют данные поперечного сечения, когда детектор вращается вокруг объекта. Компьютерный кластер, соединенный между собой через оптоволоконные линии и использующий сложные алгоритмы, обрабатывает эти синограммы для построения срезов объекта толщиной 116 микрон. Затем эти срезы в электронном виде компилируются для формирования комплексной электронной модели исследования. Затем модель верхней челюсти

выравнивается с моделью нижней челюсти в центральной окклюзии, устанавливая основу для плана лечения. Необработанные электронные модели проходят процесс «детализации» с использованием программного обеспечения, которое воспроизводит традиционные методы работы в зуботехнической лаборатории. Это включает в себя устранение пузырьков воздуха, заполнение пустот и точное определение линии десны, гарантируя, что окончательные элайнеры не только эффективны в своей функции, но и практически незаметны во время ношения. Система прозрачных элайнеров произвела революцию в ортодонтическом лечении, предложив незаметную и удобную альтернативу обычным брекетам. Ее успех заключается в скрупулезном процессе создания и уточнения модели, что обеспечивает индивидуальную посадку и постепенное контролируемое перемещение зубов. По мере развития технологий процедура становится все более оптимизированной, что делает ее доступным и привлекательным вариантом для тех, кто ищет ортодонтическую помощь с минимальным влиянием на свой внешний вид.<sup>20</sup>

### **Будущие исследования**

Интеграция робототехники в протезирование и ортодонтию представляет собой значительный прогресс в стоматологических технологиях, предлагая точность и эффективность лечения. Текущее состояние дел показывает, что роботизированные приложения были исследованы в различных областях, таких как диагностическое моделирование, обучение пациентов и хирургические процедуры. Однако исследования не являются исчерпывающими, и будущие усилия должны быть сосредоточены на повышении технологической готовности этих приложений для удовлетворения растущих потребностей рынка в восстановлении полости рта. Например, разработка роботизированных ассистентов стоматолога, которые могут выполнять сложные задачи с высокой безопасностью и гибкостью, имеет решающее значение. Эти ассистенты могут произвести революцию в способе предоставления стоматологической помощи, ускорив процедуры и сократив пределы человеческой ошибки.<sup>18</sup> Кроме того, применение робототехники в создании индивидуальных стоматологических приспособлений, таких как коронки и брекететы, с помощью технологий гибки проволоки и 3D-печати является областью, готовой для исследования. Нанороботы и микророботы также представляют собой многообещающую область для ускорения перемещения зубов и обеспечения удаленного мониторинга, что может привести к более эффективному и удобному для пациента ортодонтическому лечению. Более того, интеграция робототехники в челюстно-лицевую хирургию и установку имплантатов может значительно улучшить результаты хирургического вмешательства за счет повышения точности и контроля. Автоматизация производства элайнеров — еще одна область, которая может выиграть от дальнейших исследований, потенциально оптимизируя производственный процесс и снижая затраты.<sup>19</sup> Более того, разработка реабилитационной робототехники для таких состояний, как расстройства височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС), может предложить новые терапевтические возможности для пациентов. Для достижения этих достижений необходимо междисциплинарное сотрудничество между

инженерами, стоматологами и исследователями. Это сотрудничество будет способствовать переносу робототехнических технологий из лаборатории в клинику, гарантируя их практичность, доступность и доступность для широкого круга пациентов. В заключение следует отметить, что, хотя в применении робототехники в протезировании и ортодонтии достигнут значительный прогресс, все еще существует огромный потенциал для будущих исследований.

### **Заключение**

Интеграция искусственного интеллекта с робототехникой в ортодонтии представляет собой смену парадигмы в стоматологической помощи, подчеркивая важность точности, эффективности и комфорта пациента. Поскольку область продолжает расти, применение передовой робототехники в сочетании с искусственным интеллектом имеет потенциал для революции в методах лечения. Эта эволюция отражает более широкую тенденцию в медицине к персонализированному уходу, где технологии подгоняют лечение под индивидуальные потребности пациента. Историческое нежелание использовать роботизированную хирургию из-за проблем с точностью преодолевается скачками в технологических достижениях, обещая будущее, в котором роботизированные помощники станут основным продуктом в ортодонтических клиниках. Это резюме охватывает траекторию робототехники в ортодонтии, подчеркивая ее прогресс от экспериментальных стадий до будущего широкого клинического внедрения.

### **Литература:**

1. Nigmatov, R. N., Nigmatova, N. R., Xanova, D. N., & Saydiganiev, S. S. (2024). Artificial intelligence in dentistry. *Stomatologiya*, (1), 58-61. <https://inlibrary.uz/index.php/archive/article/view/45209>
2. Xia Z, Deng H, Weng S, Gan Y, Xiong J, Wang H и др. Разработка роботизированной системы для изгибания ортодонтической дуги. В: и др., редактор. Международная конференция IEEE по робототехнике и автоматизации (ICRA) 2016 г., 01 мая 2016 г.; 2016. стр. 730–5.
3. Абутайем Х. Использование роботов в ортодонтии: обзор литературы. *Oral Health & Dental Science*. 2019;3(3):1–5.
4. Адлер Дж. Р. Кибернож: безрамная роботизированная система для радиохирургии. *Стереотакс Функция Нейрохирург*. 1997;69(1-4):124–8. doi:10.1159/000099863.
5. Гилберт А. Внутриофисный робот для гибки проволоки для лингвальной ортодонтии. *JCO*. 2011;45(4):230–4.
6. Гилберт А., Эрнандес Р.А. Lamdabot - 2ТМ. Собственный робот для гибки проволоки для лингвальной ортодонтической техники. *JCO*. 2012;46(4):203–17.
7. Ичбиа Д. Роботы: от науки к технологической революции. Издательство HarryN Abrams; 2005. С. 116.
8. Йонгде З. Планирование движения для робота, изгибающего дугу при ортодонтическом лечении. *Int J Control Automation*. 2014;7(7):287–98.
9. Маллок ТЕ, Сен А. Энергоснабжение нанороботов. *Sci Am*. 2009;300(5):72–7.

10. Нигматов Р.Н., Рузиев Ш.Д., Ханова Д.Н. Искусственный интеллект в ортодонтии и его использование для оценки патологии прикуса. // Научно-практический журнал «Интегративная стоматология и челюстно-лицевая хирургия». Том 3, Выпуск 2 (7). – 2024. – С.69-73.
11. Нигматов, Р. Н., Артикбаев, М. Б., Муртазаев, С. С., Махкамов, М. Э., Юлдашев, Т. А., & Тулаганов, Б. Б. (2024). Приоритеты современных методов компьютерных технологий для реабилитации детей с врожденной расщелиной верхней губы и неба в республике Каракалпакстан. *Stomatologiya*, (1), 13-18.
12. Нигматов, Р. Н., Рузиев, Ш. Д., & Ханова, Д. Н. (2024). Искусственный интеллект в ортодонтии и его использование для оценки патологии прикуса. *Stomatologiya*, (1), 69-73.
13. Пути использования искусственного интеллекта в практической стоматологии. // Рузиев Ш.Д., Нигматов Р.Н., Нигматова Н.Р., Ханова Д.Н., Сайдиганиев С.С. / Международный научно-практический журнал «Вестник Бобек», Astana, Kazakhstan. февраль, 2024. - С.135-138.
14. Равтия М., Верма К., Равтия М., Сетхи П., Лумба К. Применение робототехники в стоматологии. *Indian J Dent Advancements*. 2014;6(4):696–702.
15. Родригес М.А. Интерактивная система моделирования для обучения и планирования лечения в ортодонтии. *Компьютерная графика*. 2007;31(5):688–97.
16. Рузиев, Ш., Нигматов, Р., Нигматова, Н., Ханова, Д., & Сайдиганиев, С. (2024). Пути использования искусственного интеллекта в практической стоматологии. *in Library*, 1(1), 135-138.
17. Сассауни Ф., Робертс С. Изготовление ортодонтических приспособлений с помощью компьютера: рассмотрение возможностей. *Computers Ind*. 1996;29(3):179–95. doi:10.1016/0166-3615(96)00004-8.
18. Сачдева Р. К. Технология SureSmile в пациентоориентированной ортодонтической практике. *JCO*. 2001;35(4):245–53.
19. Тукрал Р., Гупта А. Invisalign: невидимое ортодонтическое лечение. Обзор. *J Adv Med Dent Sci Res*. 2015;3(5):542–4.
20. Фишер-Брандис Х. Модуль силы для системы изгибающего искусства. *J Orofacial Orthop* . 1998;59(5):301–11.
21. Фишер-Брандис Х., Ортубер В., Зелленрик Д., Поле Л. Точность изгиба и затяжки в системе гибочного искусства (BAS). *J Orofac Ортоп*. 1996;57(1):16–23. doi:10.1007/BF02189044.
22. Хименес К. М. Цифровые технологии и системы CAD/CAM, применяемые в лингвальной ортодонтии: будущее уже стало реальностью. *Dent Press J Orthod* . 2011;16(2):22–7.
23. Цзян Дж. Г. Обзор роботов в протезировании и ортодонтии. *Adv Mex Инж*. 2015;7(1):1–11. doi: 10.1155/2014/198748.
24. Цзян Цз. Последние достижения в области роботизированной системы изгиба ортодонт.-ких дуг. Последние патенты *Mech Eng*. 2016;9(2):125–5.
25. Чжан И.Д., Цзян Дж.Х. Анализ и экспериментирование роботизированной системы для изгиба дуг. *Прикладн. Мех Матер*. 2012;121:3805–9.
26. Якобсон А. Система искусства изгиба (BAS). *Am J Orthod Челюстно-лицевой Ортоп*. 1998;114(4):469–70.