

Рандомизированное контролируемое исследование

Ортодонтическое лечение при помощи пьезоцизии с применением индивидуализированных ортодонтических аппаратов, изготовленных по методу CAD/CAM: рандомизированное контролируемое исследование взрослых пациентов

Carole Charvet^{1,2}, Geoffrey Lecloux³, Nastasia Jackers¹, Adelin Albert⁴ and France Lambert^{2,3}

¹Отдел ортодонтии и зубочелюстной ортопедии, Университетская больница г. Льеж, ²Научно-исследовательский отдел стоматологических биоматериалов, медицинский факультет, Университет г. Льеж, отделения ³Периодонтологии и челюстно-лицевой хирургии и ⁴Биостатистики и медико-экономической информации, Университетская больница г. Льеж, Бельгия

Корреспонденция: Carole Charvet, отдел ортодонтии и зубочелюстной ортопедии, Quai Godefroid Kurth 45, Поликлиника Brull, В-4020 Льеж, Бельгия. Email: c.charvet@gmail.com

Краткий обзор

Цель: Цель исследования состояла в изучении влияния пьезоцизии (хирургический протокол с наложением швов) на ортодонтическое лечение с применением индивидуализированных ортодонтических аппаратов, изготовленных по методу CAD/CAM (планирование и производство с использованием компьютерных технологий).

Дизайн: исследование представляло собой рандомизированное контролируемое исследование (РКИ) в параллельных группах.

Место проведения: Университетская больница.

Этическое одобрение: Исследование было одобрено этическим комитетом Университетской больницы города Льеж, Бельгия.

Материалы и методы: Данное РКИ проводили на 24 взрослых пациентах, нуждающихся в ортодонтическом лечении для устранения умеренной скученности зубов. Все пациенты лечились с применением индивидуализированных аппаратов и были рандомизированы методом закрытых конвертов, содержащих групповые коды, либо в тестируемую группу, получавшую лечение с применением пьезоцизии, либо в контрольную группу без применения какого-либо дополнительного лечения. Ортодонт, не знающий о распределении пациентов, подтверждал снятие аппарата или дальнейшую коррекцию на основе исследования модели.

Итоговые показатели: Регистрировали общее время лечения и время между заменой ортодонтических дуг. Кроме того, оценивали клинические и рентгенологические характеристики, такие как резорбция зубов, рецессия десен и наличие рубцов.

Результаты: В общей сложности 24 пациента (12 контрольных и 12 тестируемых) завершили исследование. Общее время лечения было достоверно короче в тестируемой группе, чем в контрольной группе. Аналогично, разница во времени между всеми заменами дуг была достоверно ниже при выполнении пьезоцизии, за исключением первой дуги на нижней челюсти и последних дуг на обеих челюстях. На финальном этапе не выявлено достоверных различий между двумя группами. Все пародонтальные и рентгенологические показатели оставались стабильными от начала и до конца лечения в обеих группах. Однако незначительные рубцы были обнаружены в 66 процентах случаев.

Ограничения: Данное исследование представляло собой одноцентровое исследование.

Выводы: Пьезоцизия представляет эффективным методом ускорения ортодонтического лечения в случаях умеренной скученности. Однако влияние наблюдали только на этапе выравнивания зубов, и большая эффективность была обнаружена для верхней челюсти. Метод может быть противопоказан пациентам с высокой линией улыбки, так как существует риск незначительного рубцевания.

Регистрация: ClinicalTrials.gov (Идентификатор: NCT03406130)

Введение

Кортикотомии были описаны как ускорение ортодонтического лечения (1,2). Такие вмешательства основаны на феномене быстрого ускорения (ФБУ), который характеризуется усилением метаболизма костной ткани и уменьшением минерального содержания кости (3–5). Биологическая концепция ФБУ была первоначально описана Фростом (6–8) в области ортопедии и с тех пор была подтверждена в исследованиях на собаках (9–12); его клиническая значимость была продемонстрирована в нескольких клинических испытаниях (13–16). Хирургическая операция кортикотомия, однако, затрагивает полнослойный лоскут с надкостницей и, следовательно, имеет определенные осложнения. Совсем недавно были разработаны минимально инвазивные и альтернативные методы без отслаивания лоскута, такие как пьезопункция (17), микроостеоперфорация (18) или пьезоцизия (19, 20). Процедура пьезоцизии без отслаивания лоскута основана на локальной пьезоэлектрической альвеолярной декортикации, которая сочетает в себе проведение разрезов с вестибулярной стороны и кортикотомии, выполненные с помощью пьезотома (19). Оказалось, что пьезоцизия эффективна для ускорения ортодонтического движения зубов (ОДЗ) на моделях животных (21, 22) и в исследованиях на людях (23–27). Тем не менее, необходимо учитывать два фактора. Во-первых, положительное влияние ФБУ как правило эффективно только в течение нескольких месяцев после операции и ограниченно действует на финальном этапе ортодонтического лечения (25). В настоящее время новая технология, а также планирование и производство с использованием компьютерных технологий (CAD/CAM) позволяют получать индивидуализированные ортодонтические аппараты, и предполагается, что аппараты, изготовленные по методу CAD/CAM, сокращают продолжительность лечения (28). Поэтому может быть уместным сочетание пьезоцизии и индивидуализированных аппаратов. Во-вторых, хирургический протокол пьезоцизии без наложения швов приводит к образованию рубцов у 50% пациентов (25), что вызывает противопоказания у пациентов с высокой линией улыбки. Применение швов может оказать положительное влияние на уменьшение образования рубцов, но это еще остается предметом для изучения.

Целью данного рандомизированного контролируемого клинического исследования было изучение влияния пьезоцизии с наложением швов в хирургическом протоколе при ортодонтическом лечении с применением индивидуализированных ортодонтических аппаратов, изготовленных по методу CAD/CAM, при умеренных показателях скученности. Основной задачей являлось определение общего времени лечения в каждой группе. Вторичными задачами являлись определение времени между заменами дуг и оценка влияния методов лечения на клинические и рентгенологические параметры, такие как резорбция зубов, рецессия десны. В конце определяли наличие рубцов.

Материалы и методы

Регистрация

Рандомизированное контролируемое исследование (РКИ) в целом получило одобрение этического комитета Университетской больницы города Льеж (номер дела: B707201629875). Исследование было зарегистрировано в ClinicalTrials.gov (Идентификатор: NCT03406130). Все пациенты были устно проинформированы о целях, рисках, преимуществах и мониторинге исследования, и все они подписали форму информированного согласия.

Дизайн исследования

Исследование было разработано как РКИ для оценки влияния пьезоцизии в сочетании с применением индивидуализированных аппаратов (тестируемая группа) по сравнению с применением только индивидуализированных аппаратов (контрольная группа). В исследование были включены двадцать четыре взрослых пациента, имеющих легко-умеренную степень скученности (зубов). Пациентов случайным образом определяли либо в тестируемую группу, получавшую лечение с помощью пьезоцизии, либо в контрольную группу, не подвергавшуюся какому-либо

дополнительному лечению. На рисунке 1 представлена блок-схема PRISMA. Ортодонтическое лечение и хирургическая пьезоцизия осуществлялись двумя аттестованными ортодонтами и двумя аттестованными пародонтологами, соответственно.

Для включения в исследование пациенты должны были соответствовать следующим критериям: (1) взрослый человек, нуждающийся в ортодонтическом лечении обеих челюстей, (2) от легкой до умеренной степени скученности передних отделов верхней и нижней челюсти на исходном уровне (индекс несоответствия меньше или равен 6) (29), (3) стадии I или II в соответствии с Американским обществом анестезиологов (I = нормальный здоровый пациент, II = пациент с легкой формой системного заболевания) и (4) адекватное здоровье зубов и полости рта (отсутствие заболеваний пародонта, периапикальной инфекции и нелеченого кариеса).

Критерии исключения состояли из: (1) пародонтит в анамнезе с потерей альвеолярной поддержки более 10%, (2) рецессия десны более 2 мм, (3) курение, (4) изменение метаболизма кости (например, вследствие применения антирезорбтивных препаратов, стероидов или иммунодепрессантов) и (5) беременность.

Исполнители:

Обучение исследователей: два ортодонта и два практикующих врача-хирурга посетили две аттестационные встречи, на которых были рассмотрены цели исследования, хирургический и ортодонтический протоколы, а также метод оценки. Кроме того, третий ортодонт, не знающий о распределении пациентов, подтверждал снятие аппарата или дальнейшую коррекцию на основе модели без указания группы исследования.

Эксперты:

Один эксперт собирал ортодонтические и пародонтальные данные. Два аттестованных эксперта собирали рентгенологические данные: каждый эксперт проводил измерения, при этом использовали среднее значение. Для согласования между двумя экспертами, методологию утверждали совместно, а все измерения выполняли индивидуально. Измерения, проведенные двумя разными экспертами, показали превосходную воспроизводимость ($P < 0,0001$, метод Бленда-Альтмана).



Рисунок 1. Схема исследования

Расчет объема выборки

Расчет эффективности показал, что при объеме выборки не менее 11 субъектов в каждой группе, можно было бы продемонстрировать снижение общей продолжительности лечения на 20% при эффективности 80% на уровне значимости 5%. Объем выборки исследования основывался на первичной конечной точке, а именно "Общая продолжительность лечения (дни)". При нулевой гипотезе предполагается, что не существует разницы в общей продолжительности лечения между двумя группами, тогда как при альтернативной гипотезе мы предполагали 20-процентную разницу в общей продолжительности лечения между двумя группами, в частности, 20-процентное уменьшение в пользу тестируемой группы. Для проверки нулевой гипотезы использовали "двусторонний" критерий сравнения. На основании ранее опубликованной статьи (25), общая продолжительность лечения в "контрольной" группе (без выполнения пьезоцизии) составляла в среднем 540 дней со среднеквадратическим отклонением (SD) 90 дней. Предполагая 20-процентное уменьшение в "тестируемой" группе, общая продолжительность лечения составит в среднем $540 \times 0,80 = 432$ дня, что дает абсолютную разницу $\Delta = 540 - 432 = 108$ дней. Уровень значимости был установлен на уровне 5% ($\alpha = 0,05$), а уровень эффективности на уровне 80% ($1 - \beta = 0,80$). Исходя из этих предположений, расчет эффективности показал, что каждая группа должна была включать по меньшей мере 11 пациентов. Для учета возможности отказа окончательный объем выборки для исследования был установлен 12 пациентов на группу, что составило в общей сложности 24 пациента. Таким образом, при наличии 24 рандомизированных пациентов, если бы была поддержана нулевая гипотеза (нет влияния лечения), было бы отклонено только 5% случаев. Напротив, если бы в тестируемой группе было, по меньшей мере, 20-процентное уменьшение, она была бы подтверждена с вероятностью 80%.

Когда пациенты были включены в исследование, им были присвоены последовательные номера (1–24), и для раскрытия присвоенной группы (контрольной или тестируемой) открывали запечатанный конверт с соответствующим номером. Конверты были подготовлены статистическим отделом. В частности, числа (конверты) 1–24 были случайным образом распределены в "контрольную" или "тестируемую" группу в четырех блоках по шесть значений (три контрольных и три тестируемых) для поддержания баланса между двумя плечами во время исследования.

Ортодонтическая процедура

На основе цифрового трехмерного плана для каждого пациента были изготовлены самолигирующие аппараты по технологии CAD/CAM с непрямой фиксацией (США). Метод фиксации был стандартизирован и выполнен в соответствии с инструкциями производителя. Была принята следующая последовательность индивидуализированных дуг: для выравнивания применяли проволочные дуги из сплава никеля и титана с добавлением меди размером 0.014 дюйма, 0.018 дюйма, 0.014×0.025 дюйма и 0.018×0.025 дюйма, затем на завершающем этапе применяли проволочные дуги из нержавеющей стали размером 0.019×0.025 дюйма. Пациентов осматривали каждые 2 недели, и проволочные дуги меняли только при полной отработке брекета. После периода выравнивания были сделаны слепки. Третий ортодонт, не знающий о распределении пациентов, подтверждал снятие аппарата или дальнейшую коррекцию на основе модели, без указания группы исследования. Несъемные и съемные ретейнеры устанавливали после снятия аппарата.

Окончание лечения определяли следующим образом:

- класс I,
- полная коррекция скученности верхней и нижней челюсти,
- горизонтальное перекрытие/ вертикальное перекрытие зубных рядов (1-2 мм),
- совпадающие средние линии верхней и нижней челюсти,
- соответствие шести ключам нормальной окклюзии по Эндрюсу (30).

Хирургическая процедура

В тестируемой группе, хирургическую операцию пьезоцизии выполняли через 2 недели после установки ортодонтического аппарата, как описано Dibart и соавт. (19). После местной анестезии (ультракаин 7200 мг/1,8 мл, адреналин 1800 мг/1,8 мл) в оба зубных ряда, выполняли вертикальные межзубные микроразрезы (в диапазоне от 5 до 8 мм) ниже каждого межзубного десневого сосочка, затем выполняли кортикотомию (длиной 5 мм и глубиной 3 мм) с использованием пьезоэлектрического устройства (Франция; рис. 2). В случаях близости корня (то есть менее 2 мм межзубной кости) эту процедуру не применяли. Одиночные прерывистые швы накладывали на каждый разрез с применением рассасываемого шовного материала (Викрил рапид 5.0, Германия; рис. 3). Пациентам рекомендовали принимать обезболивающее средство (парацетамол) при необходимости. На 7 дней назначали аккуратную чистку зубов и использование жидкости для полоскания рта (Perio-Aid с хлоргексидином 0,2%, Нидерланды).

Сбор данных

Ортодонтические данные:

В начале исследования выполняли пространственные анализы на моделях исследования, используя цифровые штангенциркули. Ортодонтические результаты состояли из: (1) общей продолжительности лечения (дни), (2) совокупного времени (дни) от установки ортодонтического аппарата до каждой смены дуг, (3) времени (дни) между каждой заменой дуг и (4) времени (дни) завершающего этапа.

Пародонтальные данные:

Следующие параметры пародонта измеряли в начале исследования и после ортодонтического лечения: (1) глубина рецессии, выраженная в виде суммарной оценки, (2) глубина кармана, выраженная в виде оценки секстанта зубных рядов, (3) показатель зубного налета, (4) папиллярный индекс кровоточивости и (5) рубцы на деснах, классифицируемые как отсутствующие, точечной или линейной формы. Полный пародонтальный анализ (зондирование в четырех местах зуба) оценивали на секстант следующим образом: секстант без кармана глубиной более 3 мм (оценка = 0); секстант с минимум 1 карманом глубиной от 3 до 5 мм (оценка = 1) и секстант с минимум 1 карманом глубиной более 5 мм (оценка = 2).



Рисунок 2. Выполнены разрезы и кортикотомия длиной 5 мм и глубиной 3 мм.



Рисунок 3. На каждый разрез наложены одиночные прерывистые швы с применением рассасываемого шовного материала.

Рентгенологические данные:

Пациентам была проведена в начале исследования и после ортодонтического лечения конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) (Planmeca, Финляндия) с использованием уменьшенного поля зрения для покрытия желаемой области при вокселе 0,2 мм в соответствии с Garib и соавт. (31) и с применением протокола уменьшенного воздействия. Были собраны следующие данные: (1) заживление кости в областях проведения кортикотомии; (2) резорбции корня согласно классификации Malmgren (32), исключая оценку 1; и (3) оценки щели в стенке костной полости и фенестрации с использованием специального программного обеспечения (Швеция), выраженные следующим образом: отсутствие щели или фенестрации (оценка 0), щель или фенестрация в нижней трети корня (оценка 1) и щель или фенестрация выше нижней трети корня (оценка 2).

Статистическая обработка

Описательные данные представлены как среднее значение \pm среднеквадратическое отклонение. Сравнения средних выполняли с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). Результаты признавались значимыми при критическом уровне 5% ($P < 0,05$). Расчеты проводили с использованием программного обеспечения SAS версии 9.4 и программного обеспечения R версии 3.0.3.

Результаты**Характеристики пациентов**

Демографические данные пациентов представлены в Таблице 1. В общем, возраст пациентов составил $27,9 \pm 7,6$ года, и среди пациентов было 9 мужчин и 15 женщин. Пространственный анализ на моделях исследования показал среднюю скученность $2,3 \pm 1,2$ мм на верхней челюсти и $3,1 \pm 1,7$ мм на нижней челюсти. Тестируемая и контрольная группы были однородны по возрасту и полу, уровню скученности и всем пародонтальным параметрам, за исключением папиллярного индекса кровоточивости ($P = 0,043$). Все пациенты находились под наблюдением до завершения лечения. Два пациента (по одному в каждой группе) не смогли пройти КЛКТ после лечения.

Ортодонтические результаты

Общее время лечения было существенно ниже в тестируемой группе, чем в контрольной группе ($278 \pm 80,2$ против $393 \pm 55,7$ дней, $P = 0,0027$). Следовательно, лечение с применением пьезоцизии было в 1,6 раза быстрее, чем обычный метод, что привело к сокращению времени лечения на 36%. Совокупное время было значительно короче в группе выполнения пьезоцизии для каждой смены дуги, за исключением дуги 0.018 дюйма на нижней челюсти (рис. 4). Кроме того, время между сменами дуг было достоверно ниже в тестируемой группе для всех дуг, за исключением дуги размером 0.018 дюйма на нижней челюсти и дуги размером $0,019 \times 0,025$ дюйма из нержавеющей стали на обеих челюстях (рис. 5). Продолжительность завершающей фазы не различалась между двумя группами (верхняя челюсть: $P = 0,44$; нижняя челюсть: $P = 0,19$).

Пародонтальные результаты

Все пародонтальные параметры были сопоставимы между двумя группами после лечения (таблица 2). Общие показатели рецессии оставались стабильными как в контрольной группе ($p = 1,0$), так и в тестируемой группе ($P = 0,50$), а также между группами ($P = 0,38$). Тем не менее, рубцы были обнаружены у 66% пациентов, в основном в виде точек (58%), нежели линий (8%).

Рентгенологические результаты

Не выявлено какого-либо увеличения щели в стенке костной полости ($P = 0,12$) или фенестрации ($P = 0,86$) между двумя группами. Аналогично, резорбция корня оставалась неизменной между двумя группами до и после лечения ($P = 0,63$; таблица 2). В группе, получавшей лечение с применением пьезоцизии, остаточных следов кортикотомии не выявлено.

Обсуждение**Кинетические результаты пьезоцизии**

В настоящем исследовании общая продолжительность лечения оказалась в 1,6 раза (36%) быстрее в группе, получавшей лечение с применением пьезоцизии, по сравнению с контрольной группой, получавшей лечение с применением индивидуализированных брекетов. Полученный результат соответствовал некоторым другим клиническим исследованиям. В сопоставимом РКИ (25) было обнаружено аналогичное ускорение на 43% в группе, получавшей лечение с применением пьезоцизии, но общее время лечения в обеих группах было больше, чем в настоящем исследовании. Применение системы ортодонтических брекетов, изготовленных по методу CAD/CAM, может объяснить разницу между двумя РКИ, хотя литературные данные по данной теме остаются противоречивыми (28, 33). Для подтверждения или опровержения гипотезы должно быть выполнено статистическое сравнение двух групп, получавших лечение с применением пьезоцизии, между двумя указанными РКИ, включая исходные ортодонтические параметры. По другим клиническим показаниям, Alfawal и соавт. в РКИ (26) оценили эффективность пьезоцизии в ускорении ретракции верхних клыков после удаления первого премоляра и показали, что скорость ретракции верхних клыков была достоверно выше в исследуемой группе по сравнению с контрольной группой, в два раза в первый месяц и в 1,5 раза во второй месяц. Эти результаты сопоставимы с исследованиями Abbas и соавт. (24) и Aksakalli и соавт. (23), которые сообщили об увеличении скорости ретракции клыков в 1,5–2 раза в течение первых 3-х месяцев движения зубов при использовании пьезоцизии. Более того, в недавно выполненном РКИ Gibreal и соавт. (27) обнаружили сокращение общего времени выравнивания на 59% в группе кортикотомии на основе пьезоцизии без отслаивания лоскута по сравнению с контрольной группой в случае коррекции выраженной скученности нижних передних зубов с удалением первого премоляра. Наконец, в исследовании на крысах, сравнивающим ортодонтическое движение зубов традиционное и после пьезоцизии, движение зубов было в два раза быстрее в группе лечения с применением пьезоцизии через 28 дней после проведения пьезоцизии (21).

В противоположность этому, Tunçer и соавт. (34) исследовали совершенно иные клинические показания (ретракция единым блоком с применением мини-винтов), где авторами не было обнаружено каких-либо существенных доказательств ускорения ортодонтического движения зубов. Отсутствие значимых результатов может быть объяснено недостаточной эффективностью при расчёте объема выборки в данном исследовании, целью которого было выявить по меньшей мере 50%-ую разницу в скорости движения зубов вместо 20%, как в настоящем исследовании. Кроме того, в другом РКИ, выполненном Uribe и соавт. (35), где исследовали уменьшение скученности в переднем отделе нижней челюсти при помощи пьезокортикотомии, различий между пьезокортикотомией и обычной ортодонтической терапией не наблюдалось. Был использован другой ортодонтический и хирургический протокол, и это может объяснить разницу между указанным и настоящим исследованием. С ортодонтической точки зрения, пациентов наблюдали каждые 4–5 недель после установки первой дуги, которую проводили во время хирургической операции для тестируемой группы и во время фиксации для контрольной группы. Рекомендация для техники пьезоцизии заключается в том, чтобы каждые 2 недели вызывать пациентов для поддержания эффекта ФБУ, и устанавливать первую дугу по меньшей мере за 1 неделю до операции, чтобы начать движение зубов. С хирургической точки зрения, пьезокортикотомию глубиной всего 1 мм сделали только в трех местах между клыками нижней челюсти. Согласно обсуждению авторов, неглубокое проникновение в кортикальный слой кости на 1 мм также может объяснить разницу. В соответствии с результатами Frost (36), Wilcko и соавт. (37) и Cohen и соавт. (38), величина влияния ФБУ на движение зубов сильно зависит от инвазивности процедуры. Наконец, влияние пьезоцизии исследовали только на нижней челюсти, где пьезоцизия, как правило, менее эффективна, как продемонстрировано ранее (17, 25).

Таблица 1. Исходные характеристики пациентов. SD: среднее квадратическое отклонение

	Контрольная группа (N = 12)		Группа пьезоцизии (N = 12)		Значение P
	Среднее ± SD	Медиана (МКИ)	Среднее ± SD	Медиана (МКИ)	
Возраст (г)	27 ± 7	25 (21 - 32)	29 ± 8	26 (22 - 37)	0.76
Пол (мужчины/женщины)		4/8		5/7	1.0
Пространственный анализ (мм)					
Верхняя челюсть	2.0 ± 1.2	1.6 (1.3 - 3.0)	2.5 ± 1.1	2.6 (1.5 - 3.2)	0.30
Нижняя челюсть	3.1 ± 1.6	3.4 (1.9 - 4.4)	3.0 ± 1.8	2.7 (1.5 - 4.9)	0.084
Пародонтальные данные					
Показатель зубного налета	0.67 ± 0.52	0.67 (0.42 - 0.75)	0.97 ± 0.73	0.83 (0.66 - 1.1)	0.26
Папиллярный индекс кровоточивости	1.0 ± 0.58	1.1 (0.80 - 1.4)	1.5 ± 0.59	1.7 (1.3 - 2.0)	0.043
Оценка резорбции корня зуба	0.42 ± 1.2	0.0 (0.0 - 0.0)	0.42 ± 1.0	0.0 (0.0 - 0.0)	1.0
Оценка глубины кармана	0.14 ± 0.31	0.0 (0.0 - 0.08)	0.40 ± 0.42	0.25 (0.0 - 0.78)	0.094
Глубина рецессии/ пациент (мм)	1.0 ± 2.0	0.0 (0.0 - 2.0)	0.1 ± 0.3	0.0 (0.0 - 0.0)	0.19

МКИ - межквартильный размах

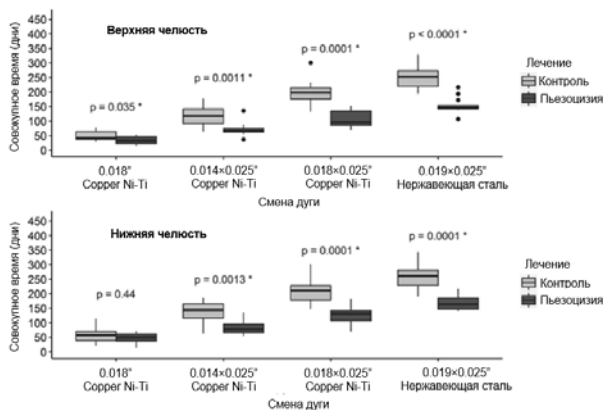


Рисунок 4. Совокупное время ортодонтического лечения достоверно понижено в группе, получавшей лечение с применением пьезоцизии, по сравнению с контрольной группой. Точками представлены выпадающие значения. Среднее (\pm SE); точками представлены выпадающие значения. SE: среднее квадратическая ошибка.

Кроме того, в данном исследовании влияние пьезоцизии наблюдалось постепенно во время этапа выравнивания и уменьшалось в конце этапа выравнивания для обеих челюстей, а затем полностью исчезало во время завершающего этапа. Подводя итог, положительное влияние пьезоцизии наблюдалось в течение 3 месяцев. Такое нарастающее и временное ускорение можно объяснить иницированием и истечением эффекта ФБУ, как было обнаружено в исследованиях на животных (10–12, 21, 22). На верхней челюсти эффект ускорения был более быстрым и оставался более продолжительным по сравнению с нижней челюстью. Более высокая плотность нижней челюсти могла бы объяснить это наблюдение, как ранее описано некоторыми авторами (17, 25). Согласно настоящим результатам и ранее цитированным литературным данным, представляется, что эффективность декортикации кости в ускорении ортодонтического движения зубов является нарастающей и эффективной в течение 3 месяцев после операции, с лучшей эффективностью на верхней челюсти. Выполнение второго этапа пьезоцизии через 3 месяца может быть актуальным, хотя это еще предстоит изучить. Стоит отметить, что такая эффективность пьезоцизии наблюдается, когда первую дугу устанавливают за 1-2 недели до операции для того, чтобы вызвать смещение зубов, и когда разрез при кортикотомии имеет по меньшей мере глубину 3 мм и длину 5–8 мм. Кроме того, пациента необходимо вызывать каждые 2 недели, чтобы по возможности активировать зафиксированный аппарат в отношении ограничительного влияния на ФБУ.

Пародонтальные эффекты

Общая оценка рецессии после ортодонтического лечения

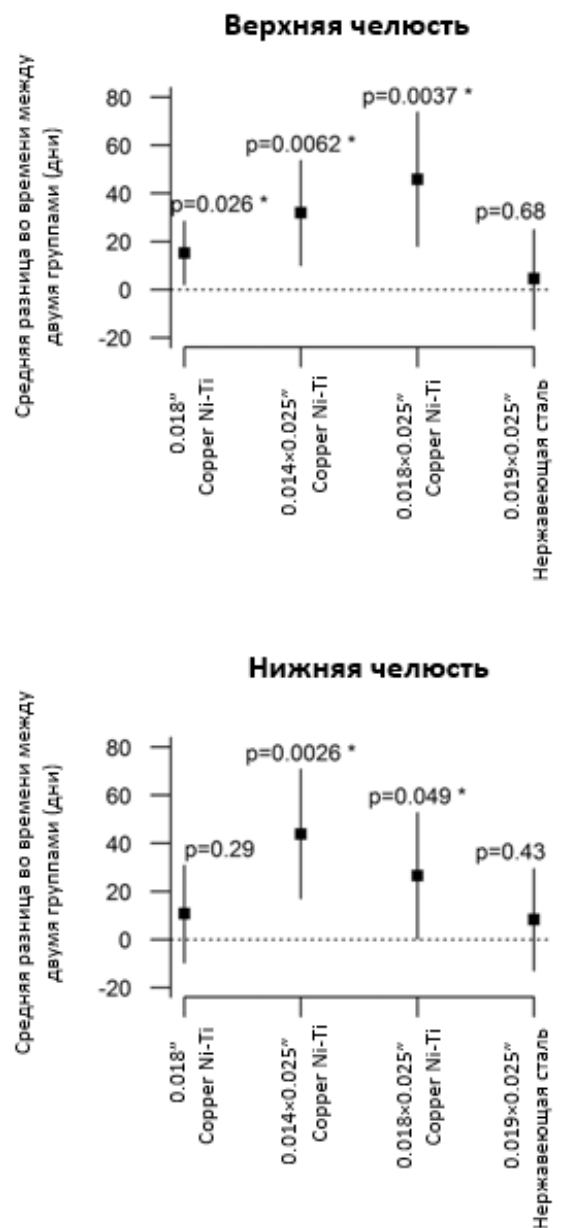


Рисунок 5. Время (дни) между каждой сменой проволочных дуг достоверно ниже для всех типов дуг в группе, получавшей лечение с применением пьезоцизии, за исключением первой дуги на нижней челюсти и последних дуг для обеих челюстей. Среднее (\pm SE). SE: среднее квадратическая ошибка.

Таблица 2. Сравнение параметров пародонта, зарегистрированных до и после лечения в тестируемой и контрольной группах (среднее \pm среднеквадратическое отклонение)

	Контрольная группа (N = 12)	Группа пьезоцизии (N = 12)	Значение P
Показатель зубного налета			
Исходный	0,67 \pm 0,52	0,97 \pm 0,73	0,73
После лечения	0,35 \pm 0,58	0,65 \pm 0,57	
Разница	-0,32 \pm 0,89	-0,32 \pm 0,42	
Папиллярный индекс кровоточивости			
Исходный	1,0 \pm 0,58	1,5 \pm 0,59	0,73
После лечения	0,54 \pm 0,55	0,85 \pm 0,59	
Разница	-0,48 \pm 0,92	-0,68 \pm 0,62	
Оценка резорбции корня зуба			
Исходный	0,42 \pm 1,2	0,42 \pm 1,0	0,63
После лечения	1,7 \pm 1,8	1,4 \pm 2,0	
Разница	1,3 \pm 1,6	1,0 \pm 1,5	
Оценка глубины кармана			
Исходный	0,14 \pm 0,31	0,40 \pm 0,42	0,67
После лечения	0,14 \pm 0,31	0,38 \pm 0,46	
Разница	0,0 \pm 0,0	-0,02 \pm 0,39	
Глубина рецессии/ пациент (мм)			
Исходный	1,0 \pm 2,0	0,1 \pm 0,3	0,38
После лечения	1,1 \pm 2,5	0,73 \pm 1,4	
Разница	0,0 \pm 1,1	0,63 \pm 1,4	

достоверно не увеличилась ни в одной из групп. Другие пародонтальные и рентгенологические параметры оставались стабильными в каждой группе. Хотя скученность не была выраженной, ускорение движения зубов не ухудшало состояние пародонта. Кроме того, разрезы после остеотомии выглядели полностью зажившими после лечения, в соответствии с Medeiros и соавт. (39), которые продемонстрировали, что кортикотомия вызывает обратимое и временное повреждение кости. Более того, на основании сканирования КЛКТ, такие осложнения, как повреждение корня, не обнаружены. Strippoli и соавт. (40) недавно рекомендовано использование хирургического руководства, основанного на сканировании КЛКТ, которое могло бы иметь отношение к повышению безопасности при пьезохирургии. Однако, в нашем исследовании, образование рубцов наблюдалось у 66% пациентов, в основном в виде точек, несмотря на использование швов. В предыдущем РКИ (25), у 50% пациентов наблюдалось образование рубцов, состоящих из 33% рубцов в виде точек и 17% в виде линий, с применением бесшовного хирургического протокола. Таким образом, швы положительно влияют на образование рубцов, но высокая линия улыбки пациента все еще может оставаться противопоказанием.

Ограничения

Хотя в настоящем исследовании не было зарегистрировано побочных эффектов, соотношение выгоды и затрат не оценивали. Касательно критериев включения наши результаты следует интерпретировать с осторожностью: легко-умеренная скученность составляла небольшую часть ортодонтической популяции. Кроме того, внешние факторы, такие как снятие брекета, поломка дуги или износ эластичных элементов, могли повлиять на результаты в обеих группах. Наконец, минимальное количество пациентов, включенных в исследование для достижения основной цели общей длительности лечения, требует осторожности в отношении вторичных целей, в частности интерпретации пародонтальных и рентгенологических параметров.

Анализ КЛКТ

В случае более быстрого ортодонтического лечения после ускоряющей операции, целесообразно, в соответствии с Garib и соавт. (31), проверить наличие нежелательных явлений, таких как правильное заживление костной ткани, отсутствие резорбции корня, а также наличие щелей и фенестраций, с использованием визуализации КЛКТ, что может помочь избежать дальнейшего повреждения и позволит внести изменения в планирование ортодонтического лечения.

С точки зрения исследования, настоящие результаты

продемонстрировали отсутствие нежелательных явлений, что несет большую пользу ортодонтическому сообществу и будущим пациентам. Учитывая неоднократное облучение и отсутствие четкого руководства, крайне важно соблюдать принцип "настолько низко, насколько разумно достижимо" и "настолько низко, насколько диагностически приемлемо" (41), чтобы оправдать такое облучение посредством наименьшей дозы облучения, обеспечивающей получение нужной информации. Таким образом, мы убедились, что последующее воздействие КЛКТ было выполнено на указанных взрослых пациентах с использованием протокола воздействия низких доз (уменьшение мА и времени сканирования) в соответствии с основными принципами визуализации КЛКТ (42), и такой подход был принят нашим комитетом по этике.

В основном, однако, мы должны подчеркнуть тот факт, что КЛКТ не следует применять регулярно для всех ортодонтических пациентов (41).

Заключение

Согласно определенному ортодонтическому и хирургическому протоколу, пьезоцизия, по-видимому, эффективна для ускорения ортодонтического лечения в течение 3 месяцев после операции; она обладает нарастающим влиянием и большей эффективностью на верхней челюсти по сравнению с нижней челюстью. Однако вследствие образования небольших рубцов в некоторых случаях, пьезоцизия может быть противопоказана пациентам с высокой линией улыбки.

Информация о финансировании

Исследование частично поддержано Asteon касательно материалов и эксплуатационных расходов (Merignac, Франция) и Университетской больницы города Льеж, Бельгия. Также получена поддержка от Asteon для вознаграждений за лекции для авторов FL и СС.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Michel Le Gall и Bart Vandenberghe за руководство и Nathalie Maes за статистическую обработку данных.

Конфликт интересов

Отсутствует.

Список литературы

1. Wilcko, W. and Wilcko, M.T. (2013) Accelerating tooth movement: the case for corticotomy-induced orthodontics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 144, 4–12.
2. Kole, H. (1959) Surgical operations on the alveolar ridge to correct occlusal abnormalities. *Oral Surgery, Oral Medicine, and Oral Pathology*, 12, 515–29 concl.
3. Sebaoun, J.D., Kantarci, A., Turner, J.W., Carvalho, R.S., Van Dyke, T.E. and Ferguson, D.J. (2008) Modeling of trabecular bone and lamina dura following selective alveolar decortication in rats. *Journal of Periodontology*, 79, 1679–1688.
4. Baloul, S.S., Gerstenfeld, L.C., Morgan, E.F., Carvalho, R.S., Van Dyke, T.E. and Kantarci, A. (2011) Mechanism of action and morphologic changes in the alveolar bone in response to selective alveolar decortication-facilitated tooth movement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 139, S83–101.
5. Wang, L., Lee, W., Lei, D.L., Liu, Y.P., Yamashita, D.D. and Yen, S.L. (2009) Tissue responses in corticotomy- and osteotomy-assisted tooth movements in rats: histology and immunostaining. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 136, 770.e1–11; discussion 770.
6. Frost, H.M. (1983) The regional acceleratory phenomenon: a review. *Henry Ford Hospital Medical Journal*, 31, 3–9.
7. Frost, H.M. (1989) The biology of fracture healing. An overview for

- clinicians. Part II. Clinical Orthopaedics and Related Research, 248, 294–309.
8. Frost, H.M. (1989) The biology of fracture healing. An overview for clinicians. Part I. Clinical Orthopaedics and Related Research, 248, 283–93.
 9. Cho, K.W., Cho, S.W., Oh, C.O., Ryu, Y.K., Ohshima, H. and Jung, H.S. (2007) The effect of cortical activation on orthodontic tooth movement. *Oral Diseases*, 13, 314–319.
 10. Iino, S., Sakoda, S., Ito, G., Nishimori, T., Ikeda, T. and Miyawaki, S. (2007) Acceleration of orthodontic tooth movement by alveolar corticotomy in the dog. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 131, 448.e1–448.e8.
 11. Mostafa, Y.A., Mohamed Salah Fayed, M., Mehanni, S., ElBokle, N.N. and Heider, A.M. (2009) Comparison of corticotomy-facilitated vs standard tooth-movement techniques in dogs with miniscrews as anchor units. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 136, 570–577.
 12. Sanjideh, P.A., Rossouw, P.E., Campbell, P.M., Opperman, L.A. and Buschang, P.H. (2010) Tooth movements in foxhounds after one or two alveolar corticotomies. *European Journal of Orthodontics*, 32, 106–113.
 13. Fischer, T.J. (2007) Orthodontic treatment acceleration with corticotomy assisted exposure of palatally impacted canines. *The Angle Orthodontist*, 77, 417–420.
 14. Lee, J.K., Chung, K.R. and Baek, S.H. (2007) Treatment outcomes of orthodontic treatment, corticotomy-assisted orthodontic treatment, and anterior segmental osteotomy for bimaxillary dentoalveolar protrusion. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 120, 1027–1036.
 15. Aboul-Ela, S.M., El-Beialy, A.R., El-Sayed, K.M., Selim, E.M., El-Mangoury, N.H. and Mostafa, Y.A. (2011) Miniscrew implant-supported maxillary canine retraction with and without corticotomy-facilitated orthodontics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 139, 252–259.
 16. Shoreibah, E.A., Salama, A.E., Attia, M.S. and Abu-Seida, S.M. (2012) Corticotomy-facilitated orthodontics in adults using a further modified technique. *Journal of the International Academy of Periodontology*, 14, 97–104.
 17. Kim, Y.S., Kim, S.J., Yoon, H.J., Lee, P.J., Moon, W. and Park, Y.G. (2013) Effect of piezopuncture on tooth movement and bone remodeling in dogs. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 144, 23–31.
 18. Alikhani, M., et al. (2013) Effect of micro-osteoperforations on the rate of tooth movement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 144, 639–648.
 19. Dibart, S., Sebaoun, J.D. and Surmenian, J. (2009) Piezocision: a minimally invasive, periodontally accelerated orthodontic tooth movement procedure. *Compendium of Continuing Education in Dentistry* (Jamesburg, NJ: 1995), 30, 342–344, 346, 348–350.
 20. Charavet, C., Lecloux, G., Bruwier, A., Vandenberghe, B., Le Gall, M. and Lambert, F. (2018) Selective piezocision-assisted orthodontic treatment combined with minimally invasive alveolar bone regeneration: a proof-of-concept. *International Orthodontics*, 16, 652–664.
 21. Dibart, S., Yee, C., Surmenian, J., Sebaoun, J.D., Baloul, S., Goguet-Surmenian, E. and Kantarci, A. (2014) Tissue response during Piezocision-assisted tooth movement: a histological study in rats. *European Journal of Orthodontics*, 36, 457–464.
 22. Ruso, S., Campbell, P.M., Rossmann, J., Opperman, L.A., Taylor, R.W. and Buschang, P.H. (2014) Bone response to buccal tooth movements with and without flapless alveolar decortication. *European Journal of Orthodontics*, 36, 613–623.
 23. Aksakalli, S., Calik, B., Kara, B. and Ezirganli, S. (2016) Accelerated tooth movement with piezocision and its periodontal-transversal effects in patients with class II malocclusion. *The Angle Orthodontist*, 86, 59–65.
 24. Abbas, N.H., Sabet, N.E. and Hassan, I.T. (2016) Evaluation of corticotomy-facilitated orthodontics and piezocision in rapid canine retraction. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 149, 473–480.
 25. Charavet, C., Lecloux, G., Bruwier, A., Rompen, E., Maes, N., Limme, M. and Lambert, F. (2016) Localized piezoelectric alveolar decortication for orthodontic treatment in adults: a randomized controlled trial. *Journal of Dental Research*, 95, 1003–1009.
 26. Alfawal, A.M.H., Hajeer, M.Y., Ajaj, M.A., Hamadah, O. and Brad, B. (2018) Evaluation of piezocision and laser-assisted flapless corticotomy in the acceleration of canine retraction: a randomized controlled trial. *Head and Face Medicine*, 14, 4.
 27. Gibreal, O., Hajeer, M.Y. and Brad, B. (2018) Efficacy of piezocision-based flapless corticotomy in the orthodontic correction of severely crowded lower anterior teeth: a randomized controlled trial. *European Journal of Orthodontics*. First published on June 20, 2018, 10.1093/ejo/cjy042
 28. Brown, M.W., Koroluk, L., Ko, C.C., Zhang, K., Chen, M. and Nguyen, T. (2015) Effectiveness and efficiency of a CAD/CAM orthodontic bracket system. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 148, 1067–1074.
 29. Little, R.M. (1975) The irregularity index: a quantitative score of mandibular anterior alignment. *American Journal of Orthodontics*, 68, 554–563.
 30. Andrews, L.F. (1972) The six keys to normal occlusion. *American Journal of Orthodontics*, 62, 296–309.
 31. Garib, D.G., Calil, L.R., Leal, C.R. and Janson, G. (2014) Is there a consensus for CBCT use in Orthodontics? *Dental Press Journal of Orthodontics*, 19, 136–149.
 32. Malmgren, O., Goldson, L., Hill, C., Orwin, A., Petrini, L. and Lundberg, M. (1982) Root resorption after orthodontic treatment of traumatized teeth. *American Journal of Orthodontics*, 82, 487–491.
 33. Penning, E.W., Peerlings, R.H.J., Govers, J.D.M., Rischen, R.J., Zinad, K., Bronkhorst, E.M., Breuning, K.H. and Kuijpers-Jagtman, A.M. (2017) Orthodontics with customized versus noncustomized appliances: a randomized controlled clinical trial. *Journal of Dental Research*, 96, 1498–1504.
 34. Tunçer, N.I., Arman-Özçirpici, A., Oduncuoğlu, B.F., Göçmen, J.S. and Kantarci, A. (2017) Efficiency of piezosurgery technique in miniscrew supported en-masse retraction: a single-centre, randomized controlled trial. *European Journal of Orthodontics*, 39, 586–594.
 35. Uribe, F., Davoody, L., Mehr, R., Jayaratne, Y.S.N., Almas, K., Sobue, T., Allareddy, V. and Nanda, R. (2017) Efficiency of piezotome-corticision assisted orthodontics in alleviating mandibular anterior crowding—a randomized clinical trial. *European Journal of Orthodontics*, 39, 595–600.
 36. Frost, H. (1981) The regional accelerated phenomenon. *Orthopedic Clinics of North America*, 12, 725–6.
 37. Wilcko, M.T., Wilcko, W.W. and Bissada, N.F. (2008) An evidence-based analysis of periodontally accelerated orthodontic and osteogenic techniques: a synthesis of scientific perspectives. *Seminars in Orthodontics*, 14, 305–16.
 38. Cohen, G., Campbell, P.M., Rossouw, P.E. and Buschang, P.H. (2010) Effects of increased surgical trauma on rates of tooth movement and apical root resorption in foxhound dogs. *Orthodontics and Craniofacial Research*, 13, 179–190.
 39. Medeiros, R.B., Pires, F.R., Kantarci, A. and Capelli, J. Jr. (2018) Tissue repair after selective alveolar corticotomy in orthodontic patients: a preliminary study. *The Angle Orthodontist*, 88, 179–186.
 40. Strippoli, J., Durand, R., Schmittbuhl, M., Voyer, R., Rompré, P. and Nishio, C. (2017) Pain and quality of life in patients undergoing guided piezocorticision-assisted orthodontic treatment. *Journal of Clinical Orthodontics*, 51, 792–799.
 41. Radiology AAoOaM. (2013) Clinical recommendations regarding use of cone beam computed tomography in orthodontics. Position Statement. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 116, 238–57.
 42. Horner, K., Islam, M., Flygare, L., Tsiklakis, K. and Whaites, E. (2009) Basic principles for use of dental cone beam computed tomography: consensus guidelines of the European Academy of Dental and Maxillofacial Radiology. *Dento Maxillo Facial Radiology*, 38, 187–195.