

Отчет о клиническом случае

Цифровая оценка вертикальной аугментации альвеолярного гребня с использованием модифицированной методики расщепления костного блока с применением ксеногенной костной пластины: исследование серии случаев

Arndt Happe *, Sarah M. Blender, Ralph G. Luthardt, Heike Rudolph and Katharina Kuhn

Кафедра ортопедической стоматологии, Центр стоматологии
Ульмского университета, 89081 Ульм, Германия;
sarah.blender@uniklinik-ulm.de (S.M.B.); ralph.luthardt@uniklinik-ulm.de
(R.G.L.); heike.rudolph@uniklinik-ulm.de (H.R.); katharina.kuhn@uniklinik-
ulm.de (K.K.)

* Корреспонденция: a.happe@dr-happe.de; Tel.: +49-251-40-271

Аннотация. Вертикальная аугментация альвеолярного гребня — это сложная хирургическая процедура, эффективность которой в значительной степени зависит от применяемой методики. В данной серии случаев оценивали снимки конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ), полученные в ходе лечения пациентов с применением новой методики вертикальной аугментации костной ткани. У всех пациентов наблюдался дефект одиночного зуба класса 5; лечение проводили с использованием модификации оригинальной методики расщепления костного блока. Вместо кортикальной костной пластинки использовали пластинку, состоящую из частично деминерализованного ксенотрансплантата свиного происхождения. В анализ были включены снимки КЛКТ, последовательно полученные у 6 пациентов, у которых применяли костную пластинку и измельченный костный материал из ветви нижней челюсти перед единичной реставрацией с опорой на имплантат в переднем отделе верхней челюсти. Наборы данных КЛКТ, полученные до и после хирургического вмешательства, сопоставляли и анализировали цифровым методом с использованием сопоставления поверхностей и логического вычитания. Объем области трансплантации рассчитывали с ксенотрансплантатом и без него. Вертикальная аугментация альвеолярного гребня в данной серии случаев составляла от 7 до 11,3 мм. Среднее увеличение высоты кости составило 8,97 мм. Средний объем составил 382,59 мм³ (СО 73,39), включая ксенотрансплантат, и 250,84 мм³ (СО 53,67), не включая костную пластинку. Модифицированная методика расщепления костного блока, применявшаяся в этой серии случаев для вертикальной аугментации альвеолярного гребня при дефектах одиночного зуба класса 5, обеспечила достаточное количество костной ткани для единичной реставрации с опорой на имплантат.

Ключевые слова: КЛКТ; 3D-оценка; логическая операция; вертикальная аугментация костной ткани; модифицированная методика расщепления костного блока; костная пластинка

1. Введение

Вертикальная аугментация альвеолярного гребня — это сложная хирургическая процедура,

эффективность которой в значительной степени зависит от применяемой методики [1,2]. Резорбция костных стенок в вертикальных дефектах в таких клинических ситуациях усложняет стабилизацию трансплантата и создает биологические препятствия для ангиогенеза, поскольку требует увеличения длины сосудов между нативной костью и трансплантатом для формирования костной ткани [3,4]. Кроме того, манипуляции с мягкими тканями — также сложная задача. Чем выше степень аугментации, тем более существенная мобилизация мягких тканей требуется, чтобы покрыть данную область. Достаточная стабилизация трансплантата и надлежащие манипуляции с мягкими тканями — это ключевые факторы успеха в данном случае [5].

Benic и Hammerle выполнили литературный обзор, в котором представили классификацию дефектов кости и рекомендации по вариантам лечения для дефектов с различной морфологией [6]. Классификация описывает клинические ситуации локализованных дефектов альвеолярного гребня с возрастающей сложностью, от класса 0 (оптимальный контур) до класса 5 (вертикальный дефект). Авторы пришли к выводу, что лечение серьезных дефектов кости, таких как горизонтальные и вертикальные дефекты альвеолярного гребня тяжелой степени, требует поэтапного подхода, при котором аутогенную кость используют для аугментации до установки имплантата. Существует общепризнанное мнение, что выбор оптимальной методики вертикальной аугментации альвеолярного гребня зависит от ряда факторов, включая величину дефекта, доступный заменитель костной ткани, состояние здоровья пациента, а также навыки и опыт хирурга [7].

Согласно результатам экспериментального гистоморфометрического анализа, применение костных блоков из ветви нижней челюсти в качестве наружной вкладки связано с большим объемом некротизированной кости (более 50 %); объем витальной кости составляет лишь 27,5 % даже после заживления в течение 6 месяцев [8]. В экспериментальном гистологическом исследовании сравнивали участки аугментации с применением аутогенных костных блоков и измельченного аутогенного костного материала в сочетании с направленной регенерацией костной ткани (НРКТ) у одного и того же пациента. В образцах участков аугментации с применением измельченного костного материала наблюдалось более быстрое обновление и выраженное ремоделирование костной ткани, а также более высокое процентное содержание витальной кости [9]. Поэтому в настоящее время некоторые авторы предпочитают использовать измельченный костный материал, а не костные блоки [9–11].

В работе Khoury в 2007 году был представлен метод аугментации сложных трехмерных дефектов альвеолярного гребня [12]. Этот метод, известный как техника расщепления костного блока (SSB), подразумевает применение тонких кортикальных пластинок из ветви нижней челюсти для реконструкции кортикальных стенок. Полученное пространство заполняют измельченным костным материалом, полученным на этом же участке [10,12].

В данной серии случаев выполняли трехмерную оценку модификации оригинальной методики SBB с использованием наборов данных конусно-лучевой компьютерной томографии, полученных в клинической практике. Вместо кортикальных костных пластинок, используемых для формирования костного каркаса для регенерации, применяли частично деминерализованный ксенотрансплантат свиного происхождения (твердая костная пластинка Osteobiol, Tecnos, Турин, Италия). Этот ксенотрансплантат свиного происхождения с доказанной клинической эффективностью уже много лет применяется в челюстно-лицевой хирургии по различным показаниям [13–15].

Конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) широко применяется в цифровой рентгенографической диагностике и рекомендована в качестве стандартной процедуры перед установкой дентальных имплантатов и аугментацией костной ткани [16]. При поэтапном подходе снимки КЛКТ используют до аугментации костной ткани для оценки анатомии дефекта, включая

прилежащие анатомические структуры, а также после заживления, чтобы определить оптимальное положение имплантата [17,18]. Таким образом, снимки КЛКТ, полученные в плановом порядке во время лечения, позволяют оценить степень аугментации костной ткани. Кроме того, снимки КЛКТ обеспечивают высокую степень надежности и воспроизводимости линейных измерений [16]; однако это относится лишь к измерениям в пределах одного набора данных.

Обычно, если необходимо сравнить два набора данных КЛКТ, в обоих наборах данных следует определить контрольные точки для калибровки измерений. При использовании этого метода могут возникать существенные ошибки. Загрузка данных на одну программную платформу для их синхронизации и сравнения упрощает оценку таких данных.

В этом исследовании серии случаев представлена цифровая методика, при которой два набора данных для снимков КЛКТ сопоставляют на программной платформе для оценки и измерения объема костной ткани после аугментации с использованием модифицированной методики. Данный метод широко применяется в других областях медицинской цифровой визуализации и известен как логическая операция. Логические операции в компьютерном проектировании или компьютерной графике — это набор операций (например, пересечение, объединение и вычитание) между двумя объектами (например, моделью пациента и моделью имплантата), которые имеют важное значение для точного и воспроизводимого виртуального планирования хирургического лечения [18].

Цель этого исследования серии случаев — трехмерная оценка новой техники вертикальной аугментации костной ткани с использованием модифицированной методики SBB и наборов данных КЛКТ с цифровым сопоставлением.

2. Материалы и методы

В это исследование серии случаев были включены снимки КЛКТ, последовательно полученные у 6 пациентов (мужчин (n = 3) и женщин (n = 3)), которым в период с января по декабрь 2019 года проводили вертикальную аугментацию костной ткани перед единичной реставрацией с опорой на имплантат в переднем отделе верхней челюсти. Возраст пациентов составлял от 27 до 55 лет (среднее значение: 37,5 лет). В исследование включали всех пациентов, которые получали лечение в течение этого периода и соответствовали критериям включения. Пациенты получали лечение в стоматологическом кабинете у хирурга-стоматолога, специализирующегося на аугментации костной ткани и имплантации зубов (АН).

Критерии включения были следующими:

Здоровые пациенты (класс 1 согласно ASA) [19] Статус курения: менее 5 сигарет в день

Единичный адентичный промежуток в переднем отделе верхней челюсти, по меньшей мере через 6 недель после удаления зуба Дефект класса 5 [6] и отсутствие стенки небной кости

Аугментация костной ткани с использованием твердой костной пластинки и измельченного аутогенного костного материала Наличие высококачественных снимков КЛКТ до аугментации и, по меньшей мере, второй КЛКТ

4 месяца после операции (не более 5 месяцев)

Реставрация с опорой на имплантаты в течение как минимум 1 года без осложнений

Письменное информированное согласие

2.1. Хирургическая методика

После подписания формы информированного согласия и предоперационной клинической и рентгенографической диагностики (КЛКТ с размером вокселя 0,2 мм) все шесть пациентов получали амоксициллин в дозе 500 мг или клиндамицин в дозе 300 мг в качестве предоперационной терапии. Операции выполняли под местной анестезией с использованием

препарата Ультракаин Д-С Форте 4% с адреналином 1 : 100 000 (Septodont, Германия). Поднимали слизисто-надкостничный лоскут и удаляли все оставшиеся мягкие ткани в области дефекта (рисунок 1). После тщательной регидратации в стерильном физиологическом растворе в течение как минимум 10 минут жесткую костную пластинку толщиной 0,7 мм (жесткая пластинка свиного происхождения Osteobiol, Tecnos, Италия) адаптировали соответственно размерам дефекта для реконструкции щечной и небной стенок альвеолярного гребня. Пластинки фиксированы винтами для остеосинтеза (KLS-Micro Module, винты для остеосинтеза 1 мм, Carl Martin, Германия) для восстановления щечной и небной кортикальных пластинок и формирования пространства для аугментации (рисунки 2 и 3). Аутогенный костный материал получали из ветви нижней челюсти с помощью трепана, измельчали с помощью костной мельницы (Quetin, Германия) и размещали между пластинками (рисунок 4). Участок аугментации покрывали коллагеновой мембраной (Osteobiol Evolution, Tecnos, Италия) и выполняли тщательное микрохирургическое ушивание мягких тканей. После заживления в течение как минимум 4 месяцев участки аугментации повторно оценивали с помощью снимков КЛКТ для планирования установки имплантата (рисунок 5). Во время установки имплантатов винты для остеосинтеза удаляли; после установки выполняли полное закрытие имплантатов для погружного заживления (рисунки 6 и 7). После заживления в течение еще 3 месяцев выполняли второй этап хирургического вмешательства: раскрытие имплантатов и клиническую и рентгенографическую (цифровая периапикальная рентгенография) оценку остеоинтеграции. Заключительным этапом лечения была восстановительная терапия.

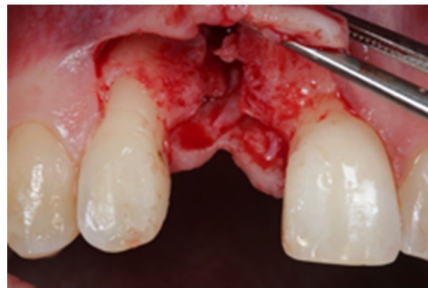


Рисунок 1. Локализованный вертикальный дефект альвеолярного гребня. Небная стенка отсутствует.

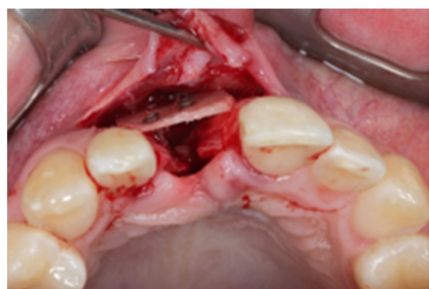


Рисунок 2. Реконструкция щечной стенки с использованием костной пластинки свиного происхождения.

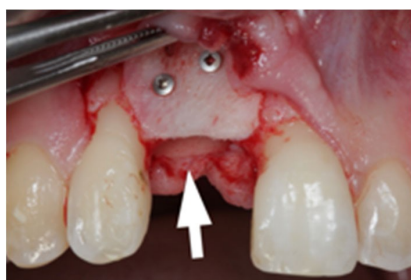


Рисунок 3. Реконструкция щечной и небной стенок (стрелкой обозначена небная стенка).



Рисунок 4. Пространство, заполненное аутогенным костным трансплантатом.

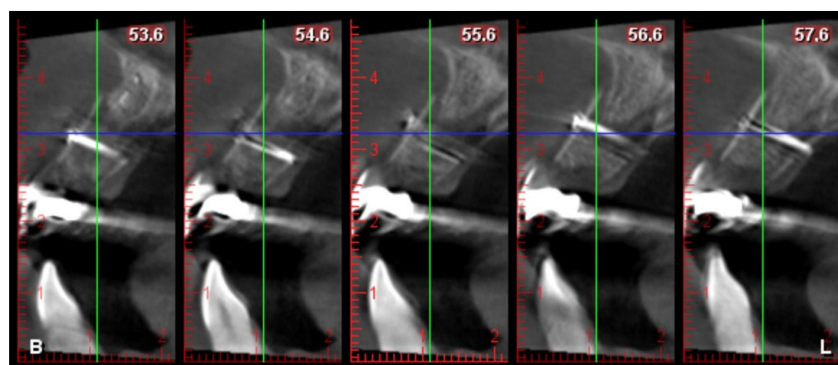


Рисунок 5. Послеоперационные КЛКТ-срезы участка аугментации.



Рисунок 6. Через 4 месяца после аугментации. Наблюдается хорошая интеграция пластинки.

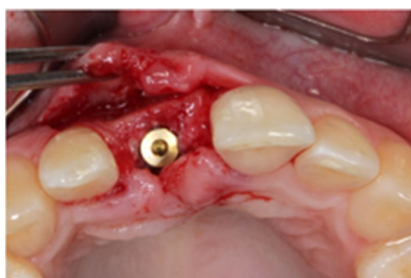


Рисунок 7. Установка имплантата (диаметр: 3,8 мм) в аутогенную кость.

2.2.

Процедура трехмерной оценки

Все снимки КЛКТ были получены с использованием одной системы для конусно-лучевой компьютерной томографии (ProMax 3D Classic, Planmeca, Финляндия). Наборы данных в формате DICOM экспортировали для анализа 3D-изображений.

Для оценки степени аугментации костной ткани с учетом состояния до операции сравнивали объемы до и после операции.

Были получены следующие данные:

2.3. Преобразование данных КЛКТ в формат STL методом сегментации

Сегментация — это процедура, позволяющая преобразовать изображения в формате DICOM в 3D-данные об элементах объема. В этих случаях для извлечения трехмерных массивов данных использовали программное обеспечение RealGUIDE 5.2 (3DIEMME, Figino Serenza CO, Италия). Данная методика основана на определении пороговых значений: программное обеспечение способно идентифицировать и выбирать элементы изображения в соответствии с их значением по шкале Хаунсфилда (рисунок 8). Затем оно объединяет информацию для получения 3D-данных об элементах объема в формате STL. В программном обеспечении также доступны инструменты моделирования в свободной форме для уточнения полученного 3D-файла с сегментацией по пороговым значениям (рисунок 9). Для каждого пациента были получены файлы в формате STL для исследуемой области до и после операции.

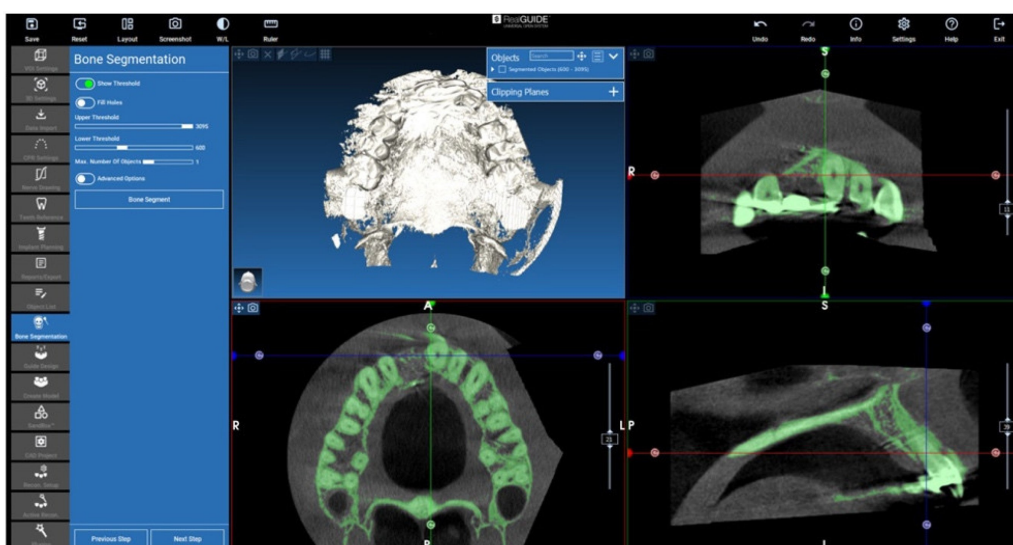


Рисунок 8. Автоматический выбор элемента изображения на основании пороговых значений.

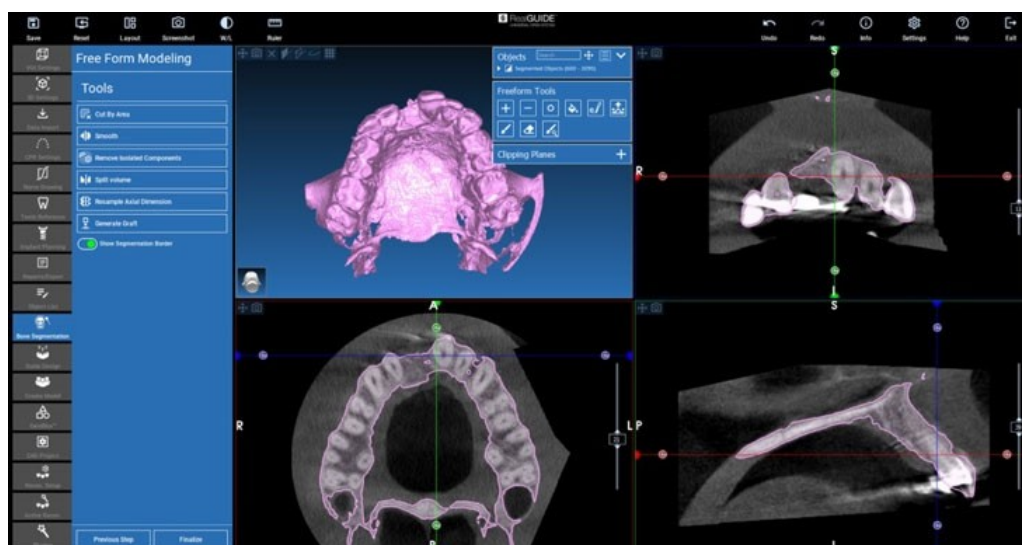


Рисунок 9. Файл 3D-данных об элементах объема в формате STL, моделирование в свободной форме.

Чтобы получить информацию об объеме с ксенотрансплантатом и без него (костная

пластинка), были получены два разных 3D-файла из набора данных КЛКТ после операции:

Трехмерный объем с костной пластинкой (включая ксенотрансплантат): «**объем трансплантата**»

Трехмерный объем без костной пластинки (не включая ксенотрансплантат): «**без объема трансплантата**» Сопоставление файлов в формате STL

Для сравнения 3D-файлов их переносили в одну и ту же эталонную систему. В этом случае файл с данными до операции переносили в эталонную систему КЛКТ.

Перемещение выполняли в программе RealGUIDE 5.2 (3DIEMME, Италия), выбирая поверхности, не затронутые хирургическим вмешательством (области серого цвета на рисунке 10). Эти области использовали для сопоставления двух файлов в формате STL. Исходя из этих общих областей, программное обеспечение обеспечивало наилучшее соответствие для двух объектов. Чем больше площади, тем лучше результаты, которые может обеспечить программное обеспечение.

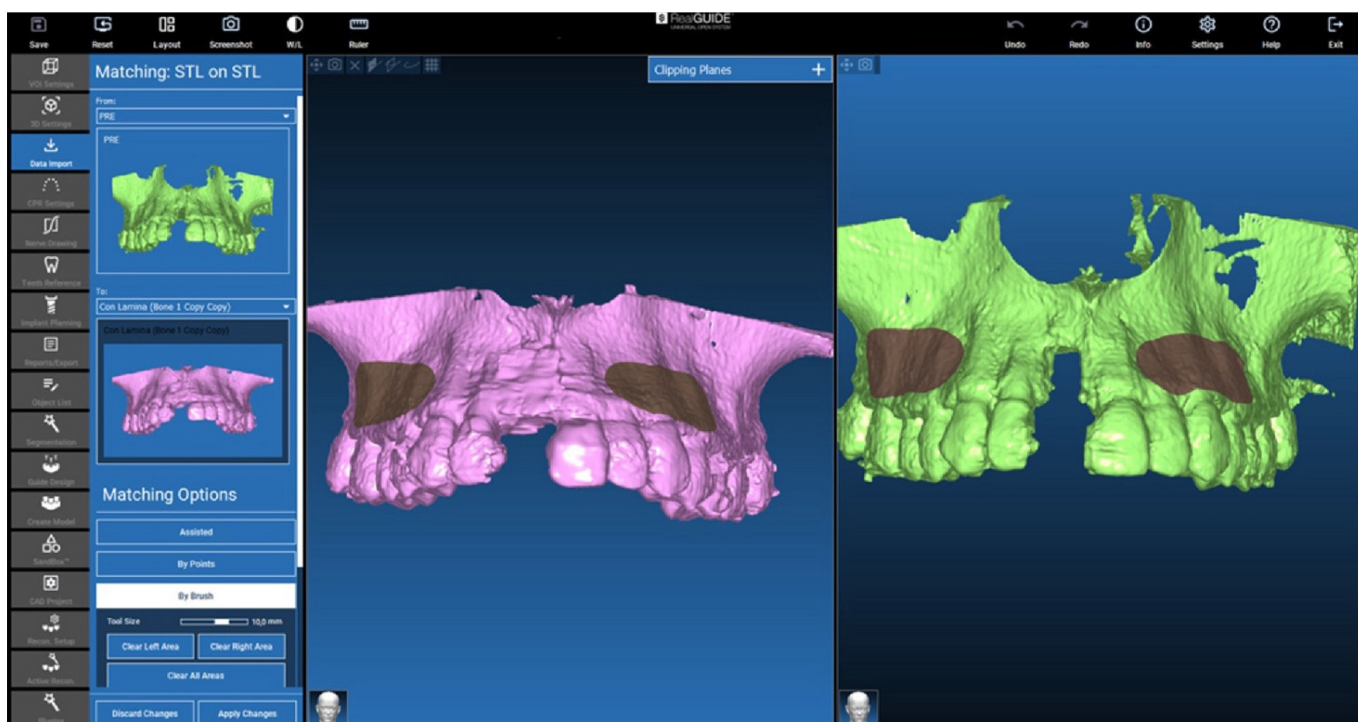


Рисунок 10. Сопоставление данных в формате STL для переноса 3D-файла в формате STL с данными до операции в эталонную систему с данными КТ после операции.

2.4.

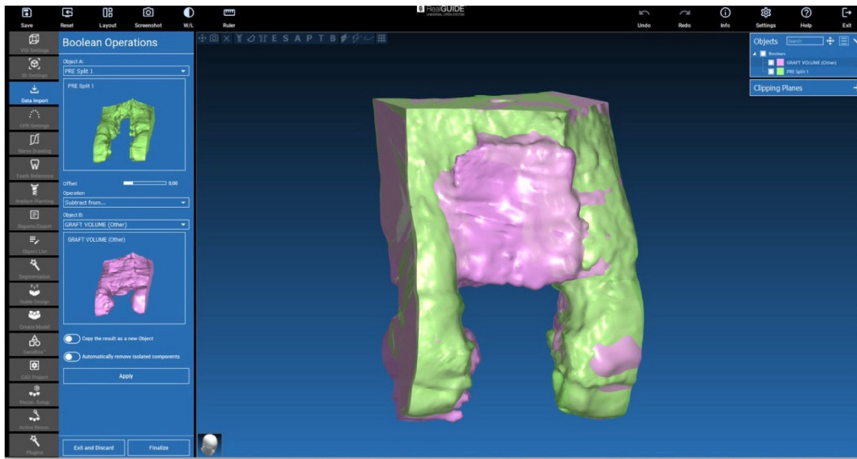
Выделение области аугментации

3D-файлы сокращали до исследуемой области, которая включала части структур, соседствующих с областью аугментации, таких как соседние зубы (рисунки 11a,b и 12a,b). Затем эти области выделяли с помощью логического вычитания, используя файл в формате STL с данными до операции. В частности, были выполнены следующие операции:

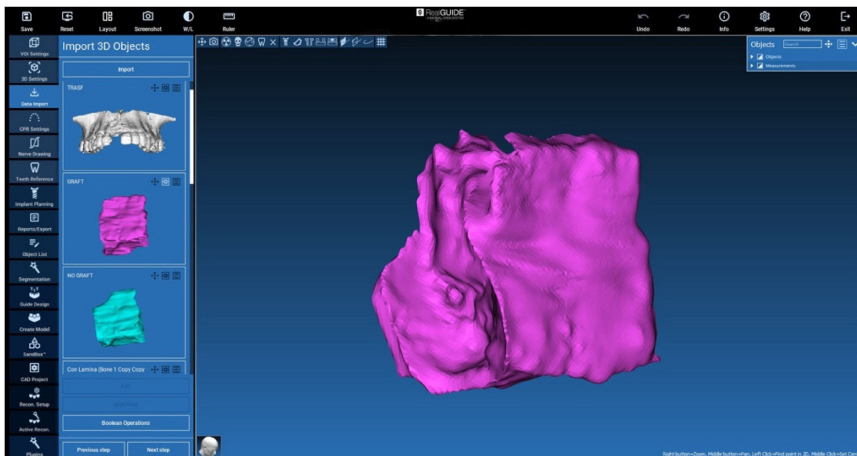
Объем трансплантата - объем до операции = часть трансплантата (рисунок 11a,b)

Без объема трансплантата - объем до операции = без части трансплантата (рисунок 12a,b)

Эта процедура позволила получить отдельные значения для степени аугментации с трансплантатом (костной пластинкой) (*трансплантат*) и без него (*без трансплантата*).

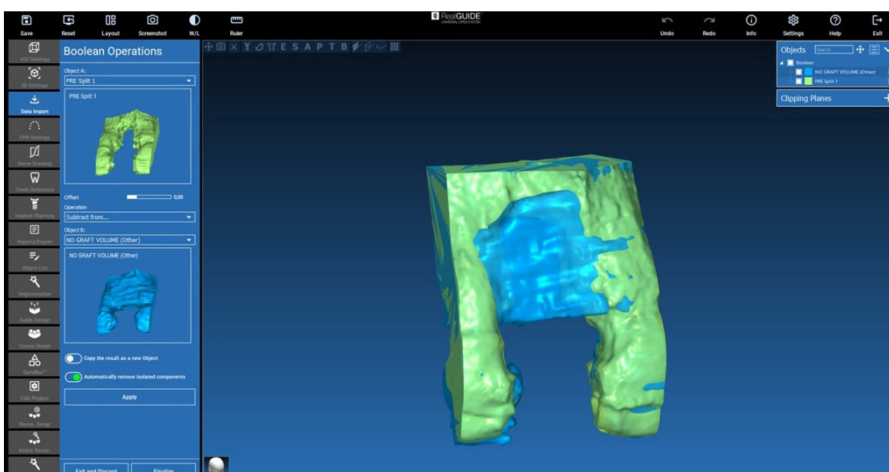


(a)



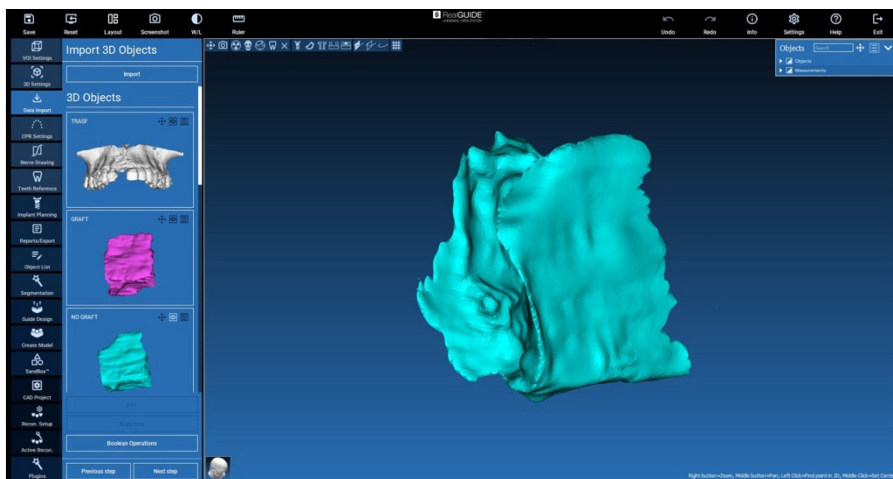
(b)

Рисунок 11. (a) Исследуемая область и логическое вычитание для выделения степени аугментации, включая костную пластинку (трансплантат). (b) Выделение части трансплантата, включая костную пластинку (трансплантат).



(a)

Рисунок 12. Продолжение



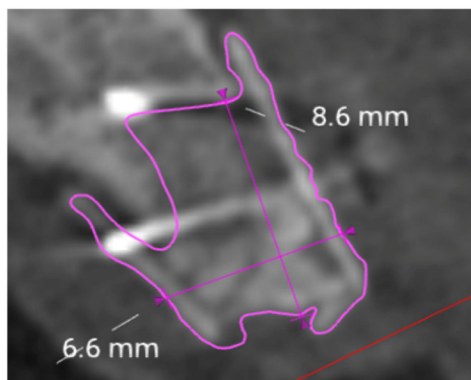
(b)

Рисунок 12. (а) Исследуемая область и логическое вычитание для выделения степени аугментации без костной пластинки (без трансплантата). (b) Логическое вычитание без выделения части трансплантата.

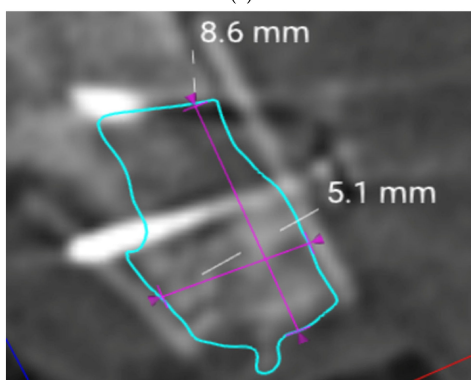
2.5. Оценка объемов

Для каждого пациента объем области аугментации рассчитывали с использованием инструментов, доступных в программе RealGUIDE 5.2 (3DIEMME, Италия). Кроме того, рассчитывали различие в объеме между двумя ситуациями для костной пластинки: «объем трансплантата» и «без объема трансплантата».

В пределах обозначенных объемов были получены линейные измерения максимальной высоты (рисунок 13а,б).



(a)



(b)

Рисунок 13. (а) Линейные измерения: «часть трансплантата». (b) Линейные измерения: «без части трансплантата».

Описательный статистический анализ, включая расчет средних значений и стандартных отклонений, выполняли с использованием программного обеспечения IBM SPSS 25 для Windows (IBM, Армонк, Нью-Йорк, США).

3. Результаты

Размер дефекта до операции варьировался от 7 до 12 мм по вертикали и от 6 до 8 мм по горизонтали. Заживление после всех шести операций по аугментации костной ткани прошло без осложнений. Процедуры аугментации обеспечили достаточное количество костной ткани для установки имплантата в запланированном положении. Все имплантаты прижились, с последующей установкой цельнокерамической коронки.

Оценка результатов КЛКТ до и после операции свидетельствовала об увеличении высоты и ширины костной ткани (таблица 1). Средняя степень аугментации составила 382,59 мм³ (СО 73,39). Средняя степень аугментации без учета костной пластинки составила 250,84 мм³ (СО 53,67).

Таблица 1. Результаты анализа объема.

Номер пациента	Общий увеличенный объем (объем трансплантата) (мм ³)	Увеличенный объем без пластины (без объема трансплантата) (мм ³)
1	310.26	219.12
2	405.06	246.24
3	301.68	173.68
4	460.53	334.14
5	468.91	262.15
6	349.09	269.72
Среднее	382.59	250.84
Стандартное отклонение	73.39	53.67

Максимальное увеличение высоты кости наблюдалось у пациента 4 и составило 11,3 мм. Среднее увеличение высоты кости составило 8,97 мм (таблица 2).

Таблица 2. Результаты линейных измерений увеличения высоты кости.

Номер пациента	Максимальный вертикальный прирост (мм)
1	7.4
2	8.6
3	7
4	11.3
5	8.9
6	10.6
Среднее	8.97
Стандартное отклонение	1.71

4. Обсуждение

В этом исследовании серии случаев оценивали новую технику вертикальной аугментации костной ткани с использованием неинвазивного цифрового метода. С этой целью была выполнена оценка снимков конусно-лучевой КТ, полученных до и после операции в рутинной клинической практике, с использованием специального программного обеспечения для сопоставления поверхностей и логического вычитания.

Несмотря на то, что на всех исследуемых участках наблюдались дефекты класса 5, данный хирургический метод обеспечил достаточный объем костной ткани для размещения имплантата с последующей установкой единичной коронки. Ни на одном из участков не наблюдалось осложнений, таких как инфекция или чрезмерная резорбция. Увеличение высоты кости в данной серии случаев составляло от 7 до 11,3 мм. В систематическом обзоре и метаанализе, опубликованных в 2019 году, были представлены данные о средневзвешенном увеличении высоты кости и осложнениях, наблюдаемых при применении различных методик. Для традиционных методов с применением костных блоков и направленной регенерации костной ткани (НРКТ) наблюдались относительно низкие показатели увеличения высоты кости (3,46 мм для костных блоков и 4,18 мм для НРКТ), с частотой осложнений 23,9 % и 12,1 % соответственно. Сложная техника дистракционного остеогенеза обеспечивала относительно высокое взвешенное среднее значение 8,04 мм, но характеризовалась высокой частотой осложнений (47,3 %) [2].

Таким образом, техника, которую применяли и оценивали в данном исследовании серии случаев, обеспечила значительное увеличение средней высоты кости до 8,97 мм при отсутствии осложнений.

В отношении измеренных объемов, сопоставление результатов с данными других публикаций не представлялось возможным. Только в нескольких исследованиях [20–22] был указан объем полученной и трансплантированной аутогенной костной ткани. Misch и соавт. [21] опубликовали данные клинического исследования аугментации костной ткани, в котором средний объем костной ткани, полученной из ветви нижней челюсти для формирования костного блока, используемого в качестве наружной вкладки, составил 900 мм^3 ($0,9 \text{ см}^3$). Информация об областях аугментации отсутствовала, поскольку целью исследования была оценка донорских участков. Напротив, в исследовании von Arx и соавт. [20] области аугментации костной ткани ограничивались единичными адентичными промежутками в верхней челюсти. Для аугментации использовали костные блоки из ветви нижней челюсти. Средний объем трансплантата, полученного из ветви нижней челюсти, составил 900 мм^3 .

В данном исследовании в качестве трансплантатов использовали костные блоки. Костные блоки в значительной степени подвержены резорбции, поэтому на участках аугментации всегда наблюдается перестройка, чтобы компенсировать ожидаемую резорбцию в среднем на 20 % [23–25].

Модифицированная техника, используемая в этом исследовании серии случаев, обеспечила аугментацию костной ткани в области единичных адентичных промежутков с тяжелыми трехмерными дефектами кости с минимальным забором костного материала. Средний объем аугментации составил $382,59 \text{ мм}^3$ (СО 73,39), включая ксеногенную костную пластинку, и $250,84 \text{ мм}^3$ (СО 53,67), не включая костную пластинку; среднее увеличение высоты кости составило 8,97 мм. Это свидетельствует об эффективности данной методики. В оригинальной методике [26] используется инвазивный метод извлечения крупных костных блоков из ветви нижней челюсти для получения оболочки для реконструкции щечной и небной пластинок. В модифицированной методике забор костного материала ограничивается компактным веществом кости, которое извлекают из ветви нижней челюсти с помощью трепана. Это связано с тем, что при данном методе для формирования внешнего каркаса вместо аутогенной кости используют ксенотрансплантат.

Несмотря на обнадеживающие результаты, полученные в данном исследовании серии случаев, оно обладает рядом ограничений. Из-за небольшого размера выборки (всего шесть пациентов) полученные результаты обладают низким уровнем доказательности. Отсутствие осложнений в данном исследовании может не соответствовать ситуации в рутинной клинической практике, поскольку отбор пациентов был очень строгим, а хирург — очень опытным. Полученные

результаты требуют подтверждения в рандомизированных контролируемых исследованиях с большим размером выборки, а также в долгосрочных исследованиях. Кроме того, биологические аспекты, такие как поведение ксенотрансплантата и количество витальной кости в аутогенном трансплантате, необходимо оценить с помощью гистоморфометрических методов [8,9]. Если надежность данной методики будет подтверждена в дальнейших исследованиях, она может стать перспективным вариантом лечения, обладающим рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами. Стабилизация трансплантата — необходимое условие для регенерации костной ткани в области дефектов, в частности, наблюдаемых в данном исследовании серии случаев. Стабилизацию трансплантата можно обеспечить с помощью упрочненных титаном мембран, титановых сеток [2] или традиционного метода SBB [10]. Упрочненные титаном мембраны и сетки не резорбируются и подлежат удалению; кроме того, при их применении возможны риски, связанные с длительным воздействием, что описано в литературе [27]. Традиционная методика SBB требует забора больших объемов костного материала для формирования костного каркаса необходимого размера. Поскольку ксенотрансплантат способен к рассасыванию и доступен в больших количествах, его применение может облегчить лечение, ограничить объем забора костного материала и избежать операций по удалению нерезорбируемых материалов для НРКТ.

В прошлом в систематических обзорах, посвященных аугментации костной ткани, преимущественно оценивали успешность лечения, частоту развития осложнений и приживаемость имплантатов [28,29]. По мере внедрения новых методик в клиническую практику степень увеличения высоты кости стала важным критерием при сравнении различных техник. В настоящее время систематические обзоры включают анализ линейных измерений или процентного заполнения дефекта, но в них не учитывается общий объем аугментации [23,30–32]. Это связано с тем, что в клинических исследованиях такие данные обычно не представлены. Однако степень или объем аугментации может обуславливать существенные различия в отношении инвазивности и продолжительности операции. Кроме того, характер области аугментации (один отсутствующий зуб по сравнению с двумя и более) будет определять сложность аугментации.

Это одна из причин, по которым методика оценки объема областей аугментации, применяемая в данном исследовании серии случаев, может иметь важное значение. Кроме того, она позволяет использовать существующие данные КЛКТ, полученные в рутинной клинической практике, для предоставления важной информации о количестве костной ткани, образованной с помощью определенной методики. Сопоставление двух наборов цифровых данных обеспечивает возможность точных измерений в одном наборе данных и расчета полученного объема. Эти процедуры сопоставления продемонстрировали высокую точность [33].

Традиционные методы не позволяют сравнивать анатомические изменения в одном наборе данных. Клинические методы измерения высоты и ширины кости обычно включают клинические измерения с помощью штангенциркуля или зонда [10, 34–36] в двух разных контрольных моментах времени; при этом возникает проблема определения контрольных точек.

В этом исследовании серии случаев снимки КЛКТ, полученные сразу после операции, отсутствовали. Были доступны только снимки, полученные после нескольких месяцев заживления. Поэтому авторы не могут предоставить информацию о степени резорбции, наблюдаемой в процессе заживления. Снимки КЛКТ обычно не получают непосредственно после операции, чтобы избежать ненужного воздействия облучения на пациента. В дальнейших исследованиях будет интересно оценить другие неинвазивные методы сбора информации о степени резорбции трансплантата.

Цифровая методика, используемая в этом исследовании серии случаев, позволила измерить

линейные расстояния до и после операции в одном наборе данных. Это стало возможным за счет сопоставления цифровых 3D-данных. Лишь в нескольких исследованиях применяли схожие методы цифрового сопоставления данных для оценки процедур костной трансплантации [37–39]. Сопоставление поверхностей и логическое вычитание, выполненные в данном исследовании, служат надежным и высокоточным методом планирования в черепно-лицевой хирургии [18,40]. Следовательно, эта методика может быть полезна для будущих клинических исследований, поскольку она позволяет получить дополнительную информацию и более точные данные.

5. Выводы

Модифицированная методика расщепления костного блока, применявшаяся в этой серии случаев для вертикальной аугментации альвеолярного гребня при дефектах одиночного зуба класса 5, обеспечила достаточное количество костной ткани для единичной реставрации с опорой на имплантат. Для оценки степени регенерации альвеолярного гребня использовали цифровой метод с сопоставлением и наложением цифровых данных, полученные в рутинной клинической практике. Этот метод позволил выполнить линейные измерения и рассчитать объем аугментации костной ткани в одном наборе данных.

Вклад авторов: разработка концепции, А.Н. и Н.Р.; методология, А.Н. и К.К.; программное обеспечение, Н.Р. и К.К.; валидация, S.M.B. и К.К.; формальный анализ, К.К.; исследования, А.Н.; курирование данных, Н.Р., К.К. и А.Н.; написание текста (подготовка оригинальной рукописи), А.Н.; написание текста (обзор и редактирование), К.К.; S.M.B.; визуализация, А.Н.; контроль, К.К.; управление проектом, R.G.L.; привлечение финансирования, А.Н.; Н.Р. Все авторы прочли и одобрили опубликованную версию данной рукописи.

Финансирование: данное исследование проводилось при финансировании со стороны Tecnos[®] Dental, Италия; номер гранта: R209-V7-05D.

Заявление об информированном согласии: Информированное согласие было получено от всех субъектов исследования.

Заявление о доступности данных: данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить у автора, ответственного за корреспонденцию, по обоснованному запросу.

Благодарности: Мы благодарим 3Diemme, Италия и Tecnos[®], Италия за оказанную поддержку в проведении данного исследования.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список аббревиатур

ASA	American Society of Anesthesiologists - Американское общество анестезиологов
CBCT	cone beam computed tomography - конусно-лучевая компьютерная томография
DICOM	digital imaging and communications in medicine - цифровая визуализация и связи в медицине
GBR	guided bone regeneration – направленная костная регенерация
SBB	split bone block technique - техника расщепленного костного блока
SD	standard deviation – стандартное отклонение
STL	standard tessellation language - стандартный язык тесселяции

References

1. Fontana, F.; Maschera, E.; Rocchietta, I.; Simion, M. Clinical classification of complications in guided bone regeneration procedures by means of a nonresorbable membrane. *Int. J. Periodontics Restor. Dent.* **2011**, *31*, 265–273.
2. Urban, I.A.; Montero, E.; Monje, A.; Sanz-Sanchez, I. Effectiveness of vertical ridge augmentation interventions: A systematic review and meta-analysis. *J. Clin. Periodontol.* **2019**, *46* (Suppl. S21), 319–339. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Wang, H.L.; Boyapati, L. “Pass” principles for predictable bone regeneration. *Implant. Dent.* **2006**, *15*, 8–17. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Wikesjo, U.M.; Kean, C.J.; Zimmerman, G.J. Periodontal repair in dogs: Supraalveolar defect models for evaluation of safety and efficacy of periodontal reconstructive therapy. *J. Periodontol.* **1994**, *65*, 1151–1157. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
5. Urban, I.A.; Monje, A.; Lozada, J.; Wang, H.L. Principles for vertical ridge augmentation in the atrophic posterior mandible: A technical review. *Int. J. Periodontics Restor. Dent.* **2017**, *37*, 639–645. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
6. Benic, G.I.; Hammerle, C.H. Horizontal bone augmentation by means of guided bone regeneration. *Periodontol.* **2000** **2014**, *66*, 13–40. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Fekry, Y.E.; Mahmoud, N.R. Vertical ridge augmentation of atrophic posterior mandible with corticocancellous onlay symphysis graft versus sandwich technique: Clinical and radiographic analysis. *Odontology* **2023**, *111*, 993–1002. [[CrossRef](#)]
8. Spin-Neto, R.; Stavropoulos, A.; Coletti, F.L.; Faeda, R.S.; Pereira, L.A.; Marcantonio, E., Jr. Graft incorporation and implant osseointegration following the use of autologous and fresh-frozen allogeneic block bone grafts for lateral ridge augmentation. *Clin. Oral Implant. Res.* **2014**, *25*, 226–233. [[CrossRef](#)]
9. Rocchietta, I.; Simion, M.; Hoffmann, M.; Trisciuglio, D.; Benigni, M.; Dahlin, C. Vertical bone augmentation with an autogenous block or particles in combination with guided bone regeneration: A clinical and histological preliminary study in humans. *Clin. Implant. Dent. Relat. Res.* **2016**, *18*, 19–29. [[CrossRef](#)]
10. Khoury, F.; Hanser, T. Three-dimensional vertical alveolar ridge augmentation in the posterior maxilla: A 10-year clinical study. *Int. J. Oral Maxillofac. Implant.* **2019**, *34*, 471–480. [[CrossRef](#)]
11. Urban, I.A.; Lozada, J.L.; Wessing, B.; Suarez-Lopez del Amo, F.; Wang, H.L. Vertical bone grafting and periosteal vertical mattress suture for the fixation of resorbable membranes and stabilization of particulate grafts in horizontal guided bone regeneration to achieve more predictable results: A technical report. *Int. J. Periodontics Restor. Dent.* **2016**, *36*, 153–159. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
12. Khoury, F.; Khoury, C. Mandibular bone block grafts: Diagnosis instrumentation, harvesting techniques and surgical procedures. In *Bone Augmentation in Oral Implantology*; Khoury, F., Antoun, H., Missika, P., Eds.; Quintessence Publishing Co, Ltd.: Chicago, IL, USA, 2007; pp. 115–212.
13. Rinna, C.; Ungari, C.; Saltarel, A.; Cassoni, A.; Reale, G. Orbital floor restoration. *J. Craniofac. Surg.* **2005**, *16*, 968–972. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Ozel, B.; Findikcioglu, K.; Sezgin, B.; Guney, K.; Barut, I.; Ozmen, S. A new option for the reconstruction of orbital floor defects with heterologous cortical bone. *J. Craniomaxillofac. Surg.* **2015**, *43*, 1583–1588. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
15. Rossi, R.; Rancitelli, D.; Poli, P.P.; Rasia Dal Polo, M.; Nannmark, U.; Maiorana, C. The use of a collagenated porcine corticallamina in the reconstruction of alveolar ridge defects. A clinical and histological study. *Minerva Stomatol.* **2016**, *65*, 257–268.
16. Wismeijer, D.; Joda, T.; Flügge, T.; Fokas, G.; Tahmaseb, A.; Bechelli, D.; Bohner, L.; Bornstein, M.; Burgoyne, A.; Caram, S.; et al. Group 5 iti consensus report: Digital technologies. *Clin. Oral Implant. Res.* **2018**, *29* (Suppl. S16), 436–442. [[CrossRef](#)]
17. Gallucci, G.O.; Evans, C.; Tahmaseb, A.; Wismeijer, D.; Barter, S.; Donos, N. *Iti Treatment Guide; Digital Workflows in Implant Dentistry*; Quintessence Publishing: Warsaw, Poland, 2019; Volume 11.
18. Charton, J.; Laurentjoye, M.; Kim, Y. 3D boolean operations in virtual surgical planning. *Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg.* **2017**, *12*, 1697–1709. [[CrossRef](#)]
19. Mak, P.H.; Campbell, R.C.; Irwin, M.G. The asa physical status classification: Inter-observer consistency. American society of anesthesiologists. *Anaesth. Intensive Care* **2002**, *30*, 633–640. [[CrossRef](#)]
20. von Arx, T.; Buser, D. Horizontal ridge augmentation using autogenous block grafts and the guided bone regeneration technique with collagen membranes: A clinical study with 42 patients. *Clin. Oral Implant. Res.* **2006**, *17*, 359–366. [[CrossRef](#)]
21. Misch, C.M. Comparison of intraoral donor sites for onlay grafting prior to implant placement. *Int. J. Oral Maxillofac. Implant.* **1997**, *12*, 767–776.
22. Happe, A. Use of a piezoelectric surgical device to harvest bone grafts from the mandibular ramus: Report of 40 cases. *Int. J. Periodontics Restor. Dent.* **2007**, *27*, 241–249.
23. Esposito, M.; Grusovin, M.G.; Coulthard, P.; Worthington, H.V. The efficacy of various bone augmentation procedures for dental implants: A cochrane systematic review of randomized controlled clinical trials. *Int. J. Oral Maxillofac.*

- Implant.* **2006**, *21*, 696–710.
24. Herford, A.S.; Nguyen, K. Complex bone augmentation in alveolar ridge defects. *Oral Maxillofac. Surg. Clin. N. Am.* **2015**, *27*, 227–244. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
 25. Bahat, O.; Fontanessi, R.V. Implant placement in three-dimensional grafts in the anterior jaw. *Int. J. Periodontics Restor. Dent.* **2001**, *21*, 357–365.
 26. Khoury, F.; Antoun, H.; Missika, P. *Bone Augmentation in Oral Implantology*; Quintessence: Chicago, IL, USA, 2007.
 27. Cunha, G.; Carvalho, P.H.A.; Quirino, L.C.; Torres, L.H.S.; Filho, V.A.P.; Gabrielli, M.F.R.; Gabrielli, M.A.C. Titanium mesh exposure after bone grafting: Treatment approaches—a systematic review. *Craniomaxillofac Trauma. Reconstr.* **2022**, *15*, 397–405. [[CrossRef](#)]
 28. Chiapasco, M.; Zaniboni, M.; Boisco, M. Augmentation procedures for the rehabilitation of deficient edentulous ridges with oral implants. *Clin. Oral Implant. Res.* **2006**, *17* (Suppl. S2), 136–159. [[CrossRef](#)]
 29. Aghaloo, T.L.; Moy, P.K. Which hard tissue augmentation techniques are the most successful in furnishing bony support for implant placement? *Int. J. Oral Maxillofac. Implant.* **2007**, *22*, 49–70.
 30. Naenni, N.; Lim, H.C.; Papageorgiou, S.N.; Hammerle, C.H.F. Efficacy of lateral bone augmentation prior to implant placement: A systematic review and meta-analysis. *J. Clin. Periodontol.* **2019**, *46* (Suppl. S21), 287–306. [[CrossRef](#)]
 31. Urban, I.A.; Saleh, M.H.A.; Ravidá, A.; Forster, A.; Wang, H.L.; Barath, Z. Vertical bone augmentation utilizing a titanium-reinforced ptfe mesh: A multi-variate analysis of influencing factors. *Clin. Oral Implant. Res.* **2021**, *32*, 828–839. [[CrossRef](#)]
 32. Troeltzsch, M.; Troeltzsch, M.; Kauffmann, P.; Gruber, R.; Brockmeyer, P.; Moser, N.; Rau, A.; Schliephake, H. Clinical efficacy of grafting materials in alveolar ridge augmentation: A systematic review. *J. Craniomaxillofac. Surg.* **2016**, *44*, 1618–1629. [[CrossRef](#)]
 33. Ritter, L.; Reiz, S.D.; Rothamel, D.; Dreiseidler, T.; Karapetian, V.; Scheer, M.; Zoller, J.E. Registration accuracy of three-dimensional surface and cone beam computed tomography data for virtual implant planning. *Clin. Oral Implant. Res.* **2012**, *23*, 447–452. [[CrossRef](#)]
 34. Maiorana, C.; Beretta, M.; Salina, S.; Santoro, F. Reduction of autogenous bone graft resorption by means of bio-oss coverage: A prospective study. *Int. J. Periodontics Restor. Dent.* **2005**, *25*, 19–25.
 35. Wachtel, H.; Fickl, S.; Hinze, M.; Bolz, W.; Thalmair, T. The bone lamina technique: A novel approach for lateral ridge augmentation—A case series. *Int. J. Periodontics Restor. Dent.* **2013**, *33*, 491–497. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
 36. Merli, M.; Migani, M.; Esposito, M. Vertical ridge augmentation with autogenous bone grafts: Resorbable barriers supported by osteosynthesis plates versus titanium-reinforced barriers. A preliminary report of a blinded, randomized controlled clinical trial. *Int. J. Oral Maxillofac. Implant.* **2007**, *22*, 373–382.
 37. Velázquez, Ó.I.; Tresguerres, F.G.F.; Berrocal, I.L.; Tresguerres, I.F.; López-Pintor, R.M.; Carballido, J.; López-Quiles, J.; Torres, J. Split bone block technique: 4-month results of a randomised clinical trial comparing clinical and radiographic outcomes between autogenous and xenogeneic cortical plates. *Int. J. Oral Implant.* **2021**, *14*, 41–52.
 38. Merli, M.; Moscatelli, M.; Mazzoni, A.; Mazzoni, S.; Pagliaro, U.; Breschi, L.; Motroni, A.; Nieri, M. Fence technique: Guided bone regeneration for extensive three-dimensional augmentation. *Int. J. Periodontics Restor. Dent.* **2013**, *33*, 129–136. [[CrossRef](#)]
 39. Schnutenhaus, S.; Martin, T.; Dreyhaupt, J.; Rudolph, H.; Luthardt, R.G. Dimensional changes of the soft tissue after alveolar ridge preservation with a collagen material. A clinical randomized trial. *Open Dent. J.* **2018**, *12*, 389–399. [[CrossRef](#)]
 40. Vannier, M.W. Evaluation of 3D imaging. *Crit. Rev. Diagn. Imaging* **2000**, *41*, 315–378. [[CrossRef](#)]

Отказ от ответственности/Примечание издателя: Заявления, мнения и данные, содержащиеся во всех публикациях, принадлежат исключительно отдельному автору(ам) и соавторам(ам), а не MDPI и/или редактору(ам). MDPI и/или редактор(ы) не несут ответственности за любой вред людям или имуществу, возникший в результате любых идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в контенте.