

DOI: 10.37988/1811-153X_2021_1_150

Р.Ш. Гветадзе,
член-корр. РАН, д.м.н., профессор, главный
научный сотрудник отдела ортопедической
стоматологии, заведующий отделом
ортопедической стоматологии

С.Е. Крючков,
м.н.с. отдела ортопедической стоматологии
ЦНИИСиЧЛХ

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Гветадзе Р.Ш., Крючков С.Е. Оценка
прецизионности балочных конструкций
с опорой на дентальные имплантаты, изго-
товленных с помощью CAD/CAM-систем. —
Клиническая стоматология. — 2021; 1 (97):
150—4.

DOI: 10.37988/1811-153X_2021_1_150

Оценка прецизионности балочных конструкций с опорой на дентальные имплантаты, изготовленных с помощью CAD/CAM-систем

Реферат. Согласно P.I. Branemark, возможный микрозазор между имплантатом и ортопедической конструкцией не должен превышать 10 мкм. Для литых балочных конструкций на имплантатах микрозазор между имплантатом и ортопедической конструкцией составляет 390 ± 70 мкм для кобальтохромового сплава и 800 ± 40 мкм для титанового сплава, что требует использования дополнительных технологий для коррекции. Для улучшения точности балочных конструкций на имплантатах применяется CAD/CAM-фрезерование из цельных блоков различных материалов. **Материалы и методы.** Проведена оценка точности изготавливаемых с помощью CAD/CAM-систем балочных конструкций с опорой на дентальные имплантаты в зависимости от используемого материала, количества опорных имплантатов. Изготовлено 20 балочных конструкций на 4 или 6 опорах из титанового и кобальтохромового сплава с помощью 5-координатных фрезерных станков. **Результаты.** Все изготовленные балочные конструкции с опорой на дентальные имплантаты показали приемлемые значения микрозазора в области аналогов дентальных имплантатов на лабораторной модели вне зависимости от использованного материала и количества опорных имплантатов. **Выводы.** Изготовление балочных конструкций с опорой на дентальные имплантаты путем их фрезерования с помощью 5-координатных CAD/CAM-систем может быть рекомендовано в качестве методики выбора при ортопедическом лечении пациентов с полным отсутствием зубов.

Ключевые слова: балочная конструкция на дентальных имплантатах, CAD/CAM, титановый сплав, кобальтохромовый сплав

R.Sh. Gvetadze,
Associate Member of the Russian Academy
of Sciences, Grand PhD in Medical Sciences,
professor, chief researcher and head of the
Prosthetic dentistry Department

S.E. Kryuchkov,
junior researcher of the Prosthetic dentistry
Department

Central research institute of dental and
maxillofacial surgery, Moscow, Russia

FOR CITATION:

Gvetadze R.Sh., Kryuchkov S.E. Evaluation
of the precision of CAD/CAM-fabricated den-
tal implant-supported bar systems. — *Clinical
Dentistry (Russia)*. — 2021; 1 (97): 150—4.

DOI: 10.37988/1811-153X_2021_1_150

Evaluation of the precision of CAD/CAM-fabricated dental implant-supported bar systems

Abstract. According to Branemark P.I. the level of possible micro-gap between the implant and the orthopedic construction should not exceed 10 microns. For cast bar constructions on implants, the level of micro-gap between the implant and the orthopedic construction has values of 390 ± 70 microns for the cobalt-chromium alloy and 800 ± 40 microns for the titanium alloy, which requires the use of additional technologies for correction. In order to improve the precision of bar constructions on implants, milling of solid blocks of various materials is used according to the CAD/CAM method. **Material and methods.** The precision of the bar constructions made using CAD/CAM systems based on dental implants was evaluated depending on the material used and the number of support implants. 20 bar constructions on 4, 6 supports made of titanium and cobalt-chrome alloy were manufactured using milling machines of 5-axis CAD/CAM systems. **Results.** All manufactured bar constructions supported by dental implants showed acceptable values of micro-gap in the field of dental implant analogues in the laboratory model, regardless of the material used and the number of support implants. **Conclusions.** The production of bar constructions supported by dental implants by milling them using 5-axis CAD/CAM systems can be recommended as a method of choice in the orthopedic treatment of patients with complete absence of teeth.

Key words: bar construction on dental implants, CAD/CAM, titanium alloy, cobalt-chromium alloy

ВВЕДЕНИЕ

Современная стоматология предоставляет пациентам с полным отсутствием зубов различные варианты лечения, не доступные еще в недавнем прошлом. С использованием дентальных имплантатов можно создавать дополнительные опоры для ортопедических конструкций.

Классические полные съемные протезы с опорой на мягкие ткани на нижней челюсти имеют множество недостатков и с трудом обеспечивают возлагаемые на них функции, особенно при значительной атрофии. Так, данный вид протеза может смещаться в полости рта на расстояние более 10 мм, в частности при сокращении челюстно-подъязычных и щечных мышц во время пережевывания пищи или речи, образуя нестабильные окклюзионные контакты [1]. К основным жалобам относятся подвижность протеза, боль при жевании, нарушение дикции, неудовлетворительный внешний вид протеза, затруднение приема пищи. Наблюдается разница в проприоцептивной активности при различных ортопедических конструкциях. Пациенты с естественными зубами чувствуют зазор между зубами в 20 мкм, с имплантатами — в 50 мкм, а с полными съемными протезами — в 100 мкм [2].

У пациентов с полным отсутствием зубов отмечается сниженный психосоциальный статус даже в случае хорошей адаптации к традиционному съемному протезу [3].

При сравнении методик ортопедического лечения пациентов с полным отсутствием зубов на нижней челюсти классическими съемными протезами и протезами с опорой на имплантаты отмечается более высокий уровень удовлетворенности пациентов в случае выбора последних [4]. Также при протезировании полными протезами на имплантатах отмечается более высокая функциональность при захвате и пережевывании пищи, а также снижение показателей боли и дискомфорта, возрастает возможность вести более активный и социальный образ жизни [5, 6]. Протезирование с применением имплантатов у пациентов при полном отсутствии зубов улучшает нейромышечную активность и адаптацию, улучшая жевательные функции [7].

Особую группу составляют балочные конструкции на имплантатах с контрбалкой в протезе [8]. Протез опирается на шинированные балкой имплантаты в переднем отделе и на слизистую в заднем отделе челюсти. При действии вертикальных нагрузок имплантаты выполняют функцию протезного ложа, в дистальном отделе давление распределено по слизистой. Ретенция у данной группы протезов противодействует боковым и опрокидывающим движениям.

К преимуществам съемных конструкций на имплантатах относится возможность более легкого по сравнению с зафиксированными конструкциями выполнения пациентом гигиенических манипуляций. Также съемные конструкции на имплантатах при полном отсутствии зубов могут иметь более объемные губные фланцы и создавать благоприятный эстетический эффект,

поддерживая мягкие ткани. Из недостатков можно отметить психологический аспект и прогрессирующую атрофию тканей под протезом.

Один из важнейших факторов успеха ортопедического лечения с применением дентальных имплантатов — точность посадки изготавливаемой ортопедической конструкции [9].

Механические и биологические осложнения являются результатом неадекватной посадки ортопедической конструкции на имплантатах. К наиболее частым механическим осложнениям относятся раскручивание или перелом винта протезной конструкции, перелом абатмента или протеза. Кроме того, микрозазор между имплантатом и протезом может быть колонизирован бактериями, которые, в свою очередь, могут способствовать разрушению периимплантатных тканей [10].

Проводились исследования по влиянию различных уровней деформации на костную ткань. При этом отмечено, что костная ткань подвержена перелому при наличии 1–2% деформации, а при деформации от 2 до 40% происходит лизис костной ткани либо образование фиброзной ткани в зоне подверженной нагрузке [11].

Одним из первых теорию ремоделирования костной ткани от влияния стресса сформулировал Kummer [12]. При увеличении деформации выше физиологических пределов возможны микропереломы костной ткани и резорбция. Нарушение трофики костной ткани вследствие компрессии также может приводить к ее лизису и подвергать данную зону повышенному разрушительному влиянию анаэробных бактерий.

Таким образом, пока не определено значение допускаемой неточности, клиницисты должны стремиться максимально повышать точность посадки ортопедических конструкций для снижения риска негативного влияния силовых факторов и появления возможных осложнений.

Для определения точности посадки ортопедической конструкции на имплантатах в клинических и лабораторных условиях используется тест Шеффилда [13]. Данный тест проводится для цельных ортопедических конструкций с опорой на нескольких имплантатах. Методика заключается в следующем: если при посадке конструкции и закручивании винта одного наиболее дистального имплантата не наблюдается значительного зазора между конструкцией и остальными имплантатами, она считается клинически приемлемой.

Для измерения микрозазора применяются цифровая микроскопия и специальный оттискный материал. Замеры методом цифровой микроскопии производятся в точках соединения имплантат/ортопедическая конструкция [14], полученные значения измеряются в микрометрах. Специальный оттискный материал вносится между ортопедической конструкцией и имплантатом, далее его толщина измеряется. Эта методика не приобрела популярности в связи с неточностью и большим количеством ошибок.

В отличие от естественных зубов, которые в норме могут иметь подвижность в лунках за счет подвижности

связки, микроподвижность имплантата представлена минимальными значениями [15]. Следовательно, ошибки при ортопедическом лечении с применением имплантатов могут приводить к более высокому риску осложнений.

При исследовании точности посадки литых балочных конструкций на имплантатах изучали краевой зазор с помощью цифровой микроскопии. Для литых балочных конструкций на имплантатах уровень микрозазора между имплантатом и ортопедической конструкцией имеет значения 390 ± 70 мкм для кобальтохромового сплава и 800 ± 40 мкм для титана, что требует использования дополнительных технологий для коррекции [16].

На сегодняшний день для улучшения прецизионности различных ортопедических конструкций, в том числе балочных конструкций на имплантатах, применяется CAD/CAM-фрезерование из цельных блоков различных материалов [17–23]. В зависимости от количества опорных имплантатов и используемого материала для литых балочных конструкций точность посадки хорошо изучена, но в случае CAD/CAM-фрезерования такая зависимость недостаточно изучена для данного вида конструкций.

Следовательно, сравнительный анализ точности посадки изготовленных с помощью CAD/CAM-систем балочных конструкций с опорой на дентальные имплантаты актуален и полезен для определения оптимальной

методики изготовления данного вида конструкций, повышения качества и прогнозирования отдаленных результатов ортопедического лечения пациентов.

Цель исследования — оценить прецизионность фрезерованных с помощью CAD/CAM-систем балочных конструкций с опорой на дентальные имплантаты, изготавливаемых при ортопедическом лечении пациентов, в зависимости от использованного материала и количества опорных имплантатов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Комплексное обследование и лечение пациентов с полным отсутствием зубов на нижней челюсти проводили на базе ЦНИИСиЧЛХ и частных клиник Московской области с 2017 по 2020 г. включительно. Всего обследовано 20 человек — 12 женщин и 8 мужчин от 35 до 77 лет, с предварительно установленными 4 либо 6 дентальными имплантами на нижней челюсти.

На 5-координатных фрезерных станках с помощью CAD/CAM-систем было изготовлено 20 балочных конструкций на 4 или 6 опорах из титанового или кобальтохромового сплава (рис. 1, 2). Общее количество опорных имплантатов — 100.

Для определения точности посадки балочных конструкций на аналогах дентальных имплантатов применялся метод цифровой микроскопии. Измерения проводили по методике Шеффилда. Измеряли микрозазор, возникающий при затягивании фиксирующего винта с противоположной стороны конструкции между концевым опорным аналогом дентального имплантата и балочной конструкцией. Для фиксации использовался динамометрический ключ с моментом вращения 25 Н·см. Исследование проводилось с вестибулярной поверхности, перпендикулярно соединению аналога имплантата с балочной конструкцией (рис. 3).

Изображения, полученные с помощью цифрового микроскопа, обрабатывали с учетом масштаба в программе MicroCapture. Измеряли среднее значение микрозазора в микрометрах, проводили оценку точности измерений. Проводили сравнительный анализ измерений, полученных до и после затягивания всех винтов балочной конструкции.



Рис. 1. Балочная конструкция, изготовленная с помощью CAD/CAM-системы, зафиксированная на лабораторной модели
[Fig. 1. A bar construction made using a CAD/CAM system, fixed on a laboratory model]



Рис. 2. Балочная конструкция, изготовленная с помощью CAD/CAM-системы, зафиксированная на дентальных имплантатах во рту пациента
[Fig. 2. A bar construction made using a CAD/CAM system, fixed on dental implants in the patient's mouth]



Рис. 3. Изображение в области соединения аналога имплантата с балочной конструкцией, изготовленной с помощью CAD/CAM-системы (×200)
[Fig. 3. The image in the area of the connection of the implant analog with a bar construction made using a CAD/CAM system (200×)]

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 представлены результаты статистического анализа сравнения характеристик конструкций в зависимости от количества опорных имплантов. Цели данного анализа — проверка нулевой статистической гипотезы о равенствах распределений в группах, а также выявление тех показателей, для которых нулевая гипотеза отвергается в пользу альтернативной с подтверждением наличия статистически значимых различий между группами. Для сравнения по количественным показателям используется непараметрический критерий Манна—Уитни, а для сравнения по бинарным и номинальным показателям — критерий χ^2 Пирсона.

Как следует из табл. 1, статистически значимые различия между установкой на 4 или 6 имплантов были найдены только в точности теста Шеффилда — $1,57 \pm 0,26$ против $1,27 \pm 0,18$ мкм ($p=0,0095$).

Статистически обработанные данные величины микрозазоров, полученные по результатам цифровой микроскопии в области зон контакта аналогов дентальных имплантатов и фрезерованных балочных конструкций, в зависимости от использованного для изготовления балочной конструкции материала представлены в табл. 2.

По данным P.I. Branemark, возможный микрозазор между имплантатом и ортопедической конструкцией не должен превышать 10 мкм [24]. По результатам данного исследования были получены приемлемые значения микрозазора в области контакта имплантатов с фрезерованными балочными конструкциями. Фрезерование с помощью CAD/CAM-систем позволило получить высокоточные балочные конструкции с опорой на дентальные имплантаты вне зависимости от количества опорных имплантатов (4 либо 6) и используемого материала (титановый либо кобальтохромовый сплав).

ВЫВОДЫ

По данным, полученным в ходе исследования, можно сформулировать следующие клинические рекомендации при изготовлении балочной конструкции с опорой на дентальные имплантаты:

1. **Материалом может служить как титановый, так и кобальтохромовый сплав.**
2. **При протезировании как на 4, так и на 6 дентальных имплантатах CAD/CAM-фрезерование позволяет изготовить высокоточные конструкции.**
3. **Фрезерование с помощью CAD/CAM-систем позволяет получать конструкции со стабильно приемлемой точностью.**

Таким образом, изготовление на 5-координатных фрезерных станках балочных конструкций с опорой

Табл. 1. Сравнение характеристик балочных конструкций по количеству опорных имплантов
[Table 1. Comparison of the bar constructions according to the number of supporting implants]

Показатель	Количество опор		p
	4 (n=10)	6 (n=10)	
Данные пациента			
Возраст, лет	57,20±14,05	52,10±10,32	0,4958
Данные посадки			
Пассивная посадка, мкм	7,48±0,81	6,98±0,62	0,1736
Точность посадки, мкм	1,55±0,49	1,45±0,27	0,8480
Тест Шеффилда, мкм	6,79±1,04	7,17±0,99	0,4057
Точность теста Шеффилда, мкм	1,57±0,26	1,27±0,18	0,0095
Полное затягивание всех винтов, мкм	6,68±0,90	6,91±1,06	0,5202
Точность полного затягивания всех винтов, мкм	1,53±0,35	1,56±0,32	0,8194

Табл. 2. Сравнение характеристик балочных конструкций по материалу сплава
[Table 2. Comparison of the bar constructions according to the alloy]

Показатель	Материал		p
	Ti (n=10)	Co-Cr (n=10)	
Данные пациента			
Возраст, лет	59,60±13,00	49,70±9,74	0,1208
Данные посадки			
Пассивная посадка, мкм	7,02±0,67	7,44±0,79	0,1988
Точность посадки, мкм	1,51±0,45	1,49±0,34	0,9389
Тест Шеффилда, мкм	6,66±1,21	7,30±0,68	0,2265
Точность теста Шеффилда, мкм	1,41±0,23	1,43±0,31	0,9392
Полное затягивание всех винтов, мкм	6,52±0,97	7,07±0,92	0,2565
Точность полного затягивания всех винтов, мкм	1,56±0,38	1,53±0,28	0,9696

на дентальные имплантаты может быть рекомендовано в качестве методики выбора при ортопедическом лечении пациентов с полным отсутствием зубов.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Поступила/Accepted: 24.12.2020

- overdentures: a systematic review of the literature. — *J Oral Rehabil.* — 2015; 42 (3): 220—33. PMID: 25307515
3. **Amaral C.F., Pinheiro M.A., de Moraes M., Garcia R.C.M.R.** Psychometric analysis and masticatory efficiency of elderly people with single-implant overdentures. — *Int J Oral Maxillofac Implants.* — 2018; 33 (6): 1383—9. PMID: 30427971
 4. **Mishra S.K., Chowdhary R.** Patients oral health-related quality of life and satisfaction with implant supported overdentures -a systematic review. — *J Oral Biol Craniofac Res.* — 2019; 9 (4): 340—6. PMID: 31508300
 5. **Sharma A.J., Nagrath R., Lahori M.** A comparative evaluation of chewing efficiency, masticatory bite force, and patient satisfaction between conventional denture and implant-supported mandibular overdenture: An in vivo study. — *J Indian Prosthodont Soc.* — 2017; 17 (4): 361—72. PMID: 29249880
 6. **Swelem A.A., Abdelnabi M.H.** Attachment-retained removable prostheses: Patient satisfaction and quality of life assessment. — *J Prosthet Dent.* — 2020; S0022—3913 (20)30408-X. PMID: 32893014
 7. **von der Gracht I., Derks A., Haselhuhn K., Wolfart S.** EMG correlations of edentulous patients with implant overdentures and fixed dental prostheses compared to conventional complete dentures and dentates: a systematic review and meta-analysis. — *Clin Oral Implants Res.* — 2017; 28 (7): 765—73. PMID: 27302014
 8. **Pozzi A., Tallarico M., Moy P.K.** Four-implant overdenture fully supported by a CAD-CAM titanium bar: A single-cohort prospective 1-year preliminary study. — *J Prosthet Dent.* — 2016; 116 (4): 516—23. PMID: 27160781
 9. **Şen N., Şermet I.B., Gürler N.** Sealing capability and marginal fit of titanium versus zirconia abutments with different connection designs. — *J Adv Prosthodont.* — 2019; 11 (2): 105—11. PMID: 31080571
 10. **Tsuruta K., Ayukawa Y., Matsuzaki T., Kihara M., Koyano K.** The influence of implant-abutment connection on the screw loosening and microleakage. — *Int J Implant Dent.* — 2018; 4 (1): 11. PMID: 29629492
 11. **Frost H.M.** Bone «mass» and the «mechanostat»: a proposal. — *Anat Rec.* — 1987; 219 (1): 1—9. PMID: 3688455
 12. **Kummer B.K.F.** Biomechanics of bone: Mechanical properties, functional structure, functional adaptation. — In: Fung Y.C., Perrone N., Anliker M. (eds.) *Biomechanics: Its Foundations and Objectives.* — Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1972. — Pp. 237—271.
 13. **Figueras-Alvarez O., Cantó-Navés O., Real-Voltas F., Roig M.** Protocol for the clinical assessment of passive fit for multiple implant-supported prostheses: A dental technique. — *J Prosthet Dent.* — 2020; S0022—3913 (20)30488—1. PMID: 33143900
 14. **de Souza R.S., Suffredini I.B., Cortizo D.L., Larsson A., Nanmark U., Dib L.L.** In vitro analysis of the implant-abutment interface connection and bacterial infiltration in two extraoral implant models. — *Int J Oral Maxillofac Implants.* — 2020; 35 (1): 63—9. PMID: 31923290
 15. **Pammer D.** Evaluation of postoperative dental implant primary stability using 3D finite element analysis. — *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* — 2019; 22 (3): 280—287. PMID: 30676075
 16. **Гветадзе Р.Ш., Михаськов С.В.** Определение эффективности припасовки балочных конструкций с опорой на дентальные имплантаты с помощью водородной пайки, лазерной сварки, доливки металла и электроэрозионной обработки. — *Стоматология.* — 2011; 6: 50—1 [Gvetadze R.Sh., Mikhas'kov S.V. Effectiveness of adjustment of bar constructions on implants by hydrogen and laser welding, metal soldering and electroerosive processing. — *Stomatology.* — 2011; 6: 50—1 (In Russ.)]. eLIBRARY ID: 18124442
 17. **Горяинова К.Э., Апресян С.В., Лебеденко И.Ю., Воронцов И.А.** Сравнительная клиническая оценка качества ортопедического лечения моляров CAD/CAM коронками методикой chairside. — *Стоматология.* — 2019; 5: 72—7 [Goryainova K.E., Apresyan S.V., Lebedenko I.Yu., Voronov I.A. Comparative clinical evaluation of the prosthetic treatment quality of molars restored by chairside manufactured CAD/CAM crowns. — *Stomatology.* — 2019; 5: 72—7 (In Russ.)]. eLIBRARY ID: 41314059
 18. **Искендеров Р.М., Гветадзе Р.Ш., Бутова В.Г., Андреева С.Н., Тимофеев Д.Е.** Общая стратегия развития зуботехнических лабораторий, оснащенных CAD/CAM-системами. — *Стоматология.* — 2019; 2: 8—12 [Iskenderov R.M., Gvetadze R.Sh., Butova V.G., Andreeva S.N., Timofeev D.E. General strategy for the development of dental laboratories with CAD/CAM systems. — *Stomatology.* — 2019; 2: 8—12 (In Russ.)]. eLIBRARY ID: 37785539
 19. **Goo C.L., Tan K.B.C.** Fabricating CAD/CAM implant-retained mandibular bar overdentures: A clinical and technical overview. — *Case Rep Dent.* — 2017; 2017: 9373818. PMID: 28396807
 20. **Mangano F., Mangano C., Margiani B., Admakin O.** Combining intraoral and face scans for the design and fabrication of computer-assisted design/computer-assisted manufacturing (CAD/CAM) polyether-ether-ketone (PEEK) implant-supported bars for maxillary overdentures. — *Scanning.* — 2019; 2019: 4274715. PMID: 31531155
 21. **Oteiza-Galdón B., Martínez-González A., Escuder Á.-V.** Analysis of fit on implants of chrome cobalt versus titanium frameworks made by cad / cam milling. — *J Clin Exp Dent.* — 2020; 12 (10): e951—7. PMID: 33154797
 22. **Passaretti A., Petroni G., Miracolo G., Savoia V., Perpetuini A., Cicconetti A.** Metal free, full arch, fixed prosthesis for edentulous mandible rehabilitation on four implants. — *J Prosthodont Res.* — 2018; 62 (2): 264—7. PMID: 29223315
 23. **Srinivasan M., Schimmel M., Buser R., Maniewicz S., Herrmann F.R., Müller F.** Mandibular two-implant overdentures with CAD-CAM milled bars with distal extensions or retentive anchors: A randomized controlled trial. — *Clin Oral Implants Res.* — 2020; 31 (12): 1207—22. PMID: 32965052
 24. **Brånemark P.I., Hansson B.O., Adell R., Breine U., Lindström J., Hallén O., Ohman A.** Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. — *Scand J Plast Reconstr Surg Suppl.* — 1977; 16: 1—132. PMID: 356184