

CAD/CAM VA INTRAORAL SKANERLASH TEXNOLOGIYALARINING ORTOPEDIK STOMATOLOGIYADAGI AFZALLIKLARI

Abdimo'minova Marjona Baxriddin qizi

Allamurotov Anvar Abdusoat o'g'li

Eshpulatov Otabek Norqul o'g'li

Toshkent davlat stomatologiya instituti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya. Maqolada ortopedik stomatologiyada raqamli ish oqimining tuzilishi hamda CAD/CAM va intraoral skanerlash texnologiyalarining klinik va tashkiliy afzalliklari tahlil qilingan. Intraoral skanerlarning ishlash tamoyillari, ularning haqqoniyligi va takrorlanuvchanligi ko'rsatkichlari, shuningdek an'anaviy elastomer qolip bilan qiyosiy natijalari ko'rib chiqilgan. Raqamli usulning klinik vaqtni tejashi, bemor qulayligini oshirishi, qolip materiali deformatsiyasi va gips modelini quyish bosqichlari bilan bog'liq xatoliklarni bartaraf etishi dalillar asosida asoslangan. Shuningdek, raqamli arxivlash, virtual artikulyator va estetik modellashtirishning amaliy imkoniyatlari yoritilgan. Texnologiyaning cheklovlari — to'liq jag' skanerlashdagi to'planuvchi xatolik, subgingival chegaralarni qayd etish qiyinchiligi va iqtisodiy jihatlar tahlil qilinib, amaliyotga joriy etish bo'yicha tavsiyalar berilgan.

Kalit so'zlar: CAD/CAM, intraoral skaner, raqamli ish oqimi, raqamli qolip, haqqoniylik, virtual artikulyator, frezalash, ortopedik stomatologiya.

ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕХНОЛОГИЙ CAD/CAM И ИНТРАОРАЛЬНОГО СКАНИРОВАНИЯ В ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ

Аннотация. В статье анализируются структура цифрового рабочего процесса в ортопедической стоматологии, а также клинические и организационные преимущества технологий CAD/CAM и интраорального сканирования. Рассмотрены принципы работы интраоральных сканеров, показатели их достоверности и воспроизводимости, а также результаты сравнения с традиционным эластомерным оттиском. На основе доказательных данных обосновано, что цифровой метод сокращает клиническое время, повышает комфорт пациента и устраняет погрешности, связанные с деформацией оттискового материала и отливкой гипсовой модели. Освещены практические возможности цифрового архивирования, виртуального артикулятора и эстетического моделирования. Проанализированы ограничения технологии и даны рекомендации по её внедрению.

Ключевые слова: CAD/CAM, интраоральный сканер, цифровой рабочий процесс, цифровой оттиск, достоверность, виртуальный артикулятор, фрезерование, ортопедическая стоматология.

ADVANTAGES OF CAD/CAM AND INTRAORAL SCANNING TECHNOLOGIES IN PROSTHETIC DENTISTRY

Abstract. The article analyses the structure of the digital workflow in prosthetic dentistry and the clinical and organizational advantages of CAD/CAM and intraoral scanning technologies. The operating principles of intraoral scanners, their trueness and precision values and the results of comparison with conventional elastomeric impressions are considered. Evidence-based data are used to justify

that the digital method reduces clinical time, improves patient comfort and eliminates errors related to impression material deformation and stone model casting. Practical possibilities of digital archiving, the virtual articulator and aesthetic design are described. The limitations of the technology are analysed and recommendations for its implementation are given.

Keywords: CAD/CAM, intraoral scanner, digital workflow, digital impression, trueness, virtual articulator, milling, prosthetic dentistry.

KIRISH

Ortopedik stomatologiya so'nggi o'n besh yil ichida o'zining texnologik asosini tubdan yangilagan sohalardan biriga aylandi. Uzoq vaqt davomida o'zgarmay kelgan zanjir — elastomer qolip, gips model, mumdan modellashtirish va quyish — bosqichma-bosqich raqamli muqobil bilan almashtirilmoqda: intraoral skanerlash, virtual modellashtirish (CAD) va kompyuter boshqaruvidagi ishlab chiqarish (CAM). Miyazaki va hammualliflari ta'kidlaganidek, stomatologik CAD/CAM tizimlari yigirma yildan ortiq rivojlanish yo'lini bosib o'tib, tajriba uskunasi kundalik klinik vositaga aylandi [1]. Bugungi kunda rivojlangan mamlakatlarda tayyorlanadigan qo'zg'almas konstruksiyalarning sezilarli qismi u yoki bu darajada raqamli texnologiya ishtirokida yaratiladi.

Bu o'zgarishning sababi faqat texnologik moda emas. An'anaviy ish oqimidagi har bir bosqich — qolip materialining polimerizatsion siqilishi, qoshiqdan ajralishi, gipsning kengayishi, mumning deformatsiyasi va quyish paytidagi metall siqilishi — o'z xatolik ulushini kiritadi va ular yig'ilib, yakuniy

konstruksiyaning aniqligini belgilaydi. Raqamli zanjir bu bosqichlarning bir qismini butunlay chiqarib tashlaydi va shu orqali xatolik manbalari sonini kamaytiradi. Bundan tashqari, raqamli usul natijaning takrorlanuvchanligini oshiradi, ya'ni ishning sifati shifokor yoki texnikning qo'l mahoratiga kamroq bog'liq bo'lib qoladi.

Shu bilan birga, amaliyotchi shifokor uchun asosiy savol texnologiyaning mavjudligida emas, balki uning haqiqiy klinik ustunligi qanchalik dalillangani va qaysi klinik holatlarda uni qo'llash asosli ekanligidadir. Ushbu maqolaning maqsadi — CAD/CAM va intraoral skanerlash texnologiyalarining ortopedik stomatologiyadagi afzalliklarini dalillarga asoslangan holda tizimlashtirish, ularning cheklovlarini aniqlash va amaliyotga joriy etish bo'yicha asosli tavsiyalar shakllantirishdan iborat.

TADQIQOT MATERIALLARI VA USLUBLARI

Tadqiqot ilmiy adabiyotlarning analitik sharhi shaklida bajarildi. Manbalar PubMed va Scopus ma'lumotlar bazalaridan «intraoral scanner», «digital impression», «CAD/CAM dentistry», «digital workflow», «trueness and precision», «patient-centered outcomes» kalit so'zlari bo'yicha izlab topildi. Tahlilga tizimli sharhlar, meta-tahlillar, tasodifiy nazorat ostidagi tadqiqotlar hamda in vivo aniqlik o'lchovlariga bag'ishlangan ishlar kiritildi; ma'lumotlari faqat ishlab chiqaruvchi kompaniyalar hisobotlariga asoslangan nashrlar tahlildan chiqarib tashlandi. Olingan natijalar qiyosiy tahlil, tizimlashtirish va umumlashtirish usullari bilan qayta ishlanib, klinik amaliyot nuqtai nazaridan baholandi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

1. Raqamli ish oqimining tuzilishi

Raqamli ish oqimi shartli ravishda uch bo'g'inga bo'linadi: ma'lumot olish, virtual loyihalash va ishlab chiqarish. Birinchi bo'g'in intraoral skanerlash yoki gips modelni laboratoriya skanerida raqamlashtirish orqali amalga oshiriladi. Ikkinchi bo'g'inda maxsus dasturiy ta'minotda konstruksiyaning geometriyasi, sement uchun bo'shliq kattaligi, okklyuzion kontaktlar va aproksimal nuqtalar belgilanadi. Uchinchi bo'g'in subtraktiv (frezalash) yoki additiv (3D bosib chiqarish, selektiv lazerli eritish) usulda bajariladi. Abduo va hammualliflari bu ikki ishlab chiqarish oqimining har biri o'z niche sohasiga ega ekanligini ko'rsatgan: frezalash yuqori mustahkamlikdagi keramika va kalibrlangan bloklar uchun, additiv usul esa metall karkaslar, xirurgik shablonlar va vaqtinchalik konstruksiyalar uchun samaraliroq [2].

Ish oqimini «to'liq raqamli» deb atash uchun zanjirning barcha bo'g'inlari raqamli bo'lishi shart. Amaliyotda ko'proq gibrid variant uchraydi: an'anaviy qolip olinadi, gips model quyiladi va laboratoriyada skanerlanadi. Bunday yondashuv raqamli loyihalash va ishlab chiqarishning afzalliklarini saqlab qoladi, ammo qolip va gips bosqichlariga xos xatoliklarni yo'qotmaydi. Aynan shu sababli raqamli texnologiyaning to'liq salohiyati faqat intraoral skanerlash joriy etilganda ochiladi.

2. Intraoral skanerlarning ishlash tamoyili va aniqligi

Zamonaviy intraoral skanerlar optik tamoyilda ishlaydi va asosan uch texnologiyaga tayanadi: uchburchaklash, parallel konfokal skanerlash va aktiv

to'liq fronti namunasini tahlil qilish. Kameradan olingan ketma-ket tasvirlar dasturiy ta'minot tomonidan bir-biriga ulanadi va yagona uch o'lchovli model shakllantiriladi. Zimmermann va hammualliflari ushbu tizimlarning umumiy sharhida ulanish (stitching) algoritmi aniqlikni belgilovchi asosiy omil ekanligini ta'kidlaganlar: har bir yangi kadr avvalgisiga nisbatan joylashtirilgani uchun kichik xatolik uzun masofada to'planib boradi [3].

Aniqlikni baholashda ikkita tushuncha farqlanadi: haqqoniylik — olingan modelning haqiqiy obyektga qanchalik mos kelishi, va takrorlanuvchanlik — bir necha marta skanerlashda natijalarning bir-biriga yaqinligi. Ender va Mel tomonidan taklif etilgan o'lchov metodikasi aynan shu ikki ko'rsatkichni ajratib baholash imkonini bergan va keyingi tadqiqotlar uchun me'yoriy asos bo'lib xizmat qilgan [4]. Ularning keyingi in vivo tadqiqotida kvadrant doirasidagi raqamli qolipning takrorlanuvchanligi an'anaviy usuldan kam emasligi, ba'zi tizimlarda esa undan ustunligi ko'rsatilgan [5].

Nedelchu va hammualliflarining in vivo tahlilida turli ishlab chiqaruvchilarning skanerlari o'rtasida sezilarli farq borligi aniqlangan, ya'ni «raqamli qolip» tushunchasini yagona sifat darajasi sifatida qarash noto'g'ri [6]. Amaliy nuqtai nazardan bundan muhim xulosa kelib chiqadi: klinikaga skaner tanlashda uning brendi emas, balki mustaqil tadqiqotlarda tasdiqlangan aniqlik ko'rsatkichlari va rejalashtirilayotgan ish turi — qisqa konstruksiyalarmi yoki to'liq jag' reabilitatsiyasimi — asos qilib olinishi kerak.

3. An'anaviy qolip bilan qiyosiy tahlil

Raqamli va an'anaviy qolip olish usullarini qiyoslovchi dalillar bazasi so'nggi o'n yilda sezilarli boyidi. Chochlidakis va hammualliflarining meta-tahlilida bir yoki bir necha tishga tayanuvchi qisqa qo'zg'almas konstruksiyalarda raqamli qolipning marginal va ichki moslashuvi an'anaviy qolipdan kam emasligi, aksariyat tadqiqotlarda esa undan yaxshiroq ekanligi ko'rsatilgan [7]. Alxolm va hammualliflarining sharhida ham qisqa konstruksiyalar uchun raqamli usul to'liq asoslangan, uzun ko'priqli protezlar va to'liq jag' holatlarida esa qo'shimcha tekshiruv talab etilishi qayd etilgan [8].

Alohida e'tiborga loyiq jihat — implantatga tayanuvchi konstruksiyalarda raqamli qolipning o'rni. Papaspiridakos va hammualliflarining tizimli sharhida qisman adentiyada raqamli implantat qolipi an'anaviy usul bilan taqqoslanadigan aniqlik berishi, to'liq adentiyada esa natijalar bir xil emasligi va skan-boditlar joylashuvi hamda ular orasidagi masofa hal qiluvchi ahamiyat kasb etishi ko'rsatilgan [9]. Bu xulosa klinik amaliyot uchun aniq chegara belgilaydi: bugungi dalillar darajasida to'liq jag' implantat protezlashda an'anaviy usuldan butunlay voz kechish uchun asos yetarli emas.

Bemorga yo'naltirilgan natijalar bo'yicha raqamli usulning ustunligi ancha yaqqol. Yuzbashio'g'lu va hammualliflarining tadqiqotida bemorlarning aksariyati raqamli skanerlashni an'anaviy qolipdan qulayroq deb baholagan va uni takror bajarishga ko'proq roziligini bildirgan [10]. Yoda va Bregger tomonidan o'tkazilgan tasodifiy kross-over tadqiqotida implantat sohasida raqamli qolip klinik vaqtni sezilarli qisqartirgani va bemorlarning noqulaylik hissi past bo'lgani aniqlangan [11]. Bu ayniqsa qusish refleksi kuchli bemorlar, bolalar va keksa yoshdagi bemorlar uchun amaliy ahamiyatga ega.

4. Virtual loyihalash bosqichining imkoniyatlari

CAD bosqichi shunchaki mumdan modellashtirishning elektron nusxasi emas: u an'anaviy usulda mavjud bo'lmagan bir qator imkoniyatlarni ochadi. Sement uchun bo'shliq kattaligi mikronlar aniqligida belgilanadi va butun konstruksiya bo'ylab bir xil bo'lib qoladi. Devor qalinligi, konnektorlar kesimi va okklyuzion kontaktlarning zichligi dastur tomonidan avtomatik nazorat qilinadi, bu esa mexanik jihatdan zaif dizayn variantlarining oldini oladi. Virtual artikulyator va bemorning yuz skanerini birlashtirish estetik natijani ish boshlanishidan oldin modellashtirish va bemor bilan kelishib olish imkonini beradi.

Beuer va hammualliflari raqamli loyihalashning asosiy ustunligi natijaning obyektivlashuvi ekanligini ta'kidlaydilar: an'anaviy usulda konstruksiyaning geometriyasi texnikning tajribasiga bog'liq bo'lsa, raqamli usulda u aniq raqamli parametrlar bilan belgilanadi va istalgan vaqtda qayta ishlab chiqarilishi mumkin [12]. Aynan shu takrorlanuvchanlik raqamli arxivlashning qiymatini belgilaydi: bemor konstruksiyani sindirsa yoki yo'qotsa, uni qayta klinik bosqichlarsiz, saqlangan fayl asosida tayyorlash mumkin. Rekov ta'kidlaganidek, raqamli ma'lumotlar bazasi vaqt o'tishi bilan klinikaning mustaqil qiymatga ega aktivga aylanadi [13].

5. Tashkiliy va epidemiologik afzalliklar

Raqamli ish oqimining afzalliklari klinik aniqlik bilan cheklanmaydi. Birinchidan, qolip materiali, qoshiqlar, gips va transport idishlariga bo'lgan ehtiyoj yo'qoladi, bu esa sarf materiallari xarajatlarini va chiqindilar hajmini kamaytiradi. Ikkinchidan, laboratoriyaga fayl bir necha soniyada yuboriladi, ya'ni geografik

masofa ish muddatiga ta'sir qilmaydi — bu hududiy klinikalar uchun alohida ahamiyatga ega. Uchinchidan, qolip materialini dezinfeksiya qilish va uni tashish bilan bog'liq infeksiyon nazorat muammolari bartaraf etiladi.

Yoda va hammualliflarining tizimli sharhida to'liq raqamli ish oqimi laboratoriya bosqichlari sonini qisqartirish hisobiga umumiy ishlab chiqarish vaqtini va mehnat sarfini sezilarli kamaytirishi ko'rsatilgan, biroq uskunaning boshlang'ich narxi yuqoriligi sababli rentabellik klinikadagi ish hajmiga bevosita bog'liqligi ta'kidlangan [14]. Bundan tashqari, raqamli model ta'lim jarayonida ham qimmatli vosita bo'lib xizmat qiladi: preparovka sifatini dasturiy vositalar yordamida obyektiv baholash, konuslik burchagi va materialga bo'shliq hajmini o'lchash rezidentlar tayyorlashda an'anaviy vizual baholashdan ancha aniqroq natija beradi.

6. Texnologiyaning cheklovlari

Raqamli usulning eng jiddiy cheklovi — to'liq jag' bo'ylab skanerlashda to'planuvchi xatolik. Skaner ketma-ket kadrlarni bir-biriga ulagani sababli, tishsiz yoki bir xil relyefga ega uzun sohalarda ulanish uchun aniq mos yozuvlar nuqtalari yetishmaydi va model deformatsiyaga uchraydi. Ikkinchi cheklov — subgingival joylashgan preparovka chegarasini qayd etish qiyinligi: optik tizim faqat ko'rinadigan sirtini o'qiy oladi, shuning uchun retraksiya sifati raqamli usulda an'anaviy usuldagidan ham muhimroq bo'lib qoladi. Qon, so'lak va desna suyuqligi skanerlash aniqligini keskin pasaytiradi.

Uchinchi cheklov tashkiliy xarakterga ega: uskunaning narxi, dasturiy ta'minot obunasi va o'quv egri chizig'i. Manganu va hammualliflari intraoral

skanerlarning sharhida shifokorning ko'nikma darajasi natijaga ta'sir qiluvchi mustaqil omil ekanligini va skanerlash strategiyasi — ya'ni harakat traektoriyasi ishlab chiqaruvchi tavsiyalariga muvofiq bo'lishi zarurligini ko'rsatganlar [15]. Alg'azzoviy amaliyotga joriy etishning bosqichma-bosqich modelini taklif qilgan: avval laboratoriya bilan hamkorlikda faqat skanerlash bosqichini raqamlashtirish, keyin CAD bosqichini o'zlashtirish va faqat yetarli ish hajmi shakllangandan so'ng o'z frezalash uskunasi olish [16]. Bunday yondashuv boshlang'ich sarmoyani taqsimlaydi va xatolik bahosini kamaytiradi.

XULOSA

O'tkazilgan tahlil quyidagi xulosalarni shakllantirishga imkon beradi. Birinchidan, intraoral skanerlash bir tishli tojlar, inlemlar, viniplar va qisqa ko'priqli protezlar tayyorlashda an'anaviy elastomer qolip bilan teng yoki undan yuqori aniqlik ko'rsatkichlarini ta'minlaydi, shuning uchun bu klinik holatlarda uni tanlov usuli sifatida qarash asoslangan. Ikkinchidan, bemorga yo'naltirilgan ko'rsatkichlar — qulaylik, klinik vaqt va davolashni qabul qilish darajasi bo'yicha raqamli usulning ustunligi ishonchli tarzda tasdiqlangan.

Uchinchidan, to'liq jag' reabilitatsiyasi va uzun implantat konstruksiyalarida hozirgi dalillar darajasi an'anaviy usuldan to'liq voz kechishga asos bermaydi; bu holatlarda gibrid yondashuv yoki natijani qo'shimcha tekshirish tavsiya etiladi. To'rtinchidan, raqamli texnologiya klinik bosqichlar sifatiga qo'yiladigan talablarni yumshatmaydi, aksincha kuchaytiradi: preparovka chegarasining aniqligi, retraksiya va namlik nazorati raqamli usulda hal qiluvchi ahamiyat kasb etadi. Nihoyat, texnologiyani joriy etish bosqichma-bosqich rejalashtirilishi, o'quv

tayyorgarligi bilan birga olib borilishi va klinikaning haqiqiy ish hajmiga muvofiq iqtisodiy asoslanishi lozim. Kelgusi tadqiqotlar to'liq raqamli ish oqimi bilan tayyorlangan konstruksiyalarning besh yil va undan ortiq kuzatuv muddatidagi klinik natijalarini an'anaviy texnologiya bilan qiyoslashga qaratilishi maqsadga muvofiq.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Miyazaki T., Hotta Y., Kunii J., Kuriyama S., Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience // Dental Materials Journal. – 2009. – Vol. 28, № 1. – P. 44–56.
2. Abduo J., Lyons K., Bennamoun M. Trends in computer-aided manufacturing in prosthodontics: a review of the available streams // International Journal of Dentistry. – 2014. – Vol. 2014. – Article ID 783948. – P. 1–15.
3. Zimmermann M., Mehl A., Mörmann W.H., Reich S. Intraoral scanning systems – a current overview // International Journal of Computerized Dentistry. – 2015. – Vol. 18, № 2. – P. 101–129.
4. Ender A., Mehl A. Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision // The Journal of Prosthetic Dentistry. – 2013. – Vol. 109, № 2. – P. 121–128.
5. Ender A., Zimmermann M., Attin T., Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods for obtaining quadrant dental impressions // Clinical Oral Investigations. – 2016. – Vol. 20, № 7. – P. 1495–1504.

6. Nedelcu R., Olsson P., Nyström I., Rydén J., Thor A. Accuracy and precision of 3 intraoral scanners and accuracy of conventional impressions: a novel in vivo analysis method // Journal of Dentistry. – 2018. – Vol. 69. – P. 110–118.
7. Chochlidakis K.M., Papaspyridakos P., Geminiani A. et al. Digital versus conventional impressions for fixed prosthodontics: a systematic review and meta-analysis // The Journal of Prosthetic Dentistry. – 2016. – Vol. 116, № 2. – P. 184–190.
8. Ahlholm P., Sipilä K., Vallittu P., Jakonen M., Kotiranta U. Digital versus conventional impressions in fixed prosthodontics: a review // Journal of Prosthodontics. – 2018. – Vol. 27, № 1. – P. 35–41.
9. Papaspyridakos P., Gallucci G.O., Chen C.J. et al. Digital versus conventional implant impressions for edentulous patients: accuracy outcomes // Clinical Oral Implants Research. – 2016. – Vol. 27, № 4. – P. 465–472.
10. Yuzbasioglu E., Kurt H., Turunc R., Bilir H. Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes // BMC Oral Health. – 2014. – Vol. 14. – Article 10. – P. 1–7.
11. Joda T., Brägger U. Patient-centered outcomes comparing digital and conventional implant impression procedures: a randomized crossover trial // Clinical Oral Implants Research. – 2016. – Vol. 27, № 12. – P. e185–e189.
12. Beuer F., Schweiger J., Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations // British Dental Journal. – 2008. – Vol. 204, № 9. – P. 505–511.

13. Rekow E.D. Digital dentistry: the new state of the art – Is it disruptive or destructive? // Dental Materials. – 2020. – Vol. 36, № 1. – P. 9–24.
14. Joda T., Zarone F., Ferrari M. The complete digital workflow in fixed prosthodontics: a systematic review // BMC Oral Health. – 2017. – Vol. 17, № 1. – Article 124. – P. 1–9.
15. Mangano F., Gandolfi A., Luongo G., Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature // BMC Oral Health. – 2017. – Vol. 17, № 1. – Article 149. – P. 1–11.
16. Alghazzawi T.F. Advancements in CAD/CAM technology: options for practical implementation // Journal of Prosthodontic Research. – 2016. – Vol. 60, № 2. – P. 72–84.