

Válasz Dr. Nagy Katalin egyetemi tanár bírálói véleményére

Szeretném megköszönni, hogy Professor Asszony elvállalta a dolgozat bírálatát, és észrevételeivel, módosító javaslataival gazdagabbá tette az értekezést.

Professor Asszony kritikája teljesen jogos a 69. oldal két ábrájának felbontását illetően, azok valóban a többi ábrától eltérően valamelyest elmosódottabbak, amelynek oka a beillesztés során történt beállítási gond lehetett, amelynek eredménye elkerülte a figyelmemet.

Bíráló megjegyzi, hogy egy-két ábra és táblázat szövege angolul került bemutatásra, amely megjegyzés igaz, amiért elnézést kérek, azokat a hitelesség kedvéért hagytam benne ilyen módon, szerettem volna az eredetit, a hivatkozásban szereplő cikk ábráját beilleszteni. Remélem az olvasó számára a mondandó értelmezését nem zavarja.

Professor Asszony megjegyzi, hogy a Célkitűzések résznél utalásszerűen megjelenik eredmény és következtetés is, amelyhez hozzá teszi Professor Asszony, hogy „bár kétségtelen, hogy így a későbbi, részletesebb kifejtés már egyszerűbben áttekinthető”. Szeretném megköszönni ezt a kiegészítést, a megszokottól eltérő szerkezet használatával pont ez volt a szándék.

Bíráló a laboratóriumi szkennerre tett pontatlansági megjegyzésünket csak gyenge formában tudja elfogadni. Továbbra is fenn kívánom tartani az állítást, melyet több típusú intraorális szkennerek és Straumann laborszkenner összehasonlítása során kapott eredményből vontunk le, miszerint a hagyományos fogtechnikai lépések egyes laborszkennek esetén hozzájárulhatnak az indirekt digitális útvonal pontatlanságához. Ez nem a laborszkenner és az intraorális szkennerek leképezési pontosságában levő különbséget jelenti (nem is ez volt a cél), hanem az addigi úton kapott adatok összehasonlítása. Ezt már csak azért is tartom továbbra is helytállóknak, hiszen az intraorális szkennerek megjelenésének többek között az volt az oka, hogy már az első lépésben digitális információt tudjunk kapni, és ne hagyományos lenyomatvétel után nyert szkenneléssel térjünk a digitális útra, hiszen így a hagyományos út során alkalmazott eljárások természetes, az eljárásból fakadó pontatlanságával is kell számolni. Köszönjük, hogy Professor Asszony hasznos eredményként fogadja el 12 intraorális szkennerek összehasonlítása után kapott rangsorolást, de javasolja, hogy pillanatképként tekintsünk rá. Ezt maximálisan el tudom fogadni, hiszen egy dolgozat publikálásakor bemutatott eredmény nem is lehet más, mint a beadásakor meglévő adatokból, eredményekből levont akkori pillanatkép, ami természetesen a későbbi vizsgálatok eredményeivel folyamatosan változik. Így van ez a munkacsoportunk esetében is, a dolgozat beadása óta az abban vizsgált 12 intraorális szkennerek már 29-re nőtt, és nemcsak a számuk változott dinamikusan, hanem a vizsgálati szempontok is, hiszen értelemszerűen a technológia fejlődésével bizonyos paraméterek vizsgálata okafogyottá vált.

Kérdésekre adott válaszok:

1. 1a. A direkt és indirekt szkennelést összehasonlító tanulmányban merült-e fel olyan extrém pontatlanság, amelyeknek klinikai következményei lehetnének?

Vizsgálatunk és a klinikai tapasztalatok is azt mutatják, hogy nem kell extrém pontatlanság ahhoz, hogy az eltérés klinikai következményekkel járjon. Az irodalom a klinikailag elfogadható pontossági határt 50 és 120 μm között adja meg.

A kapott eredmények értékelésekor fontos figyelembe venni, hogy az említett direkt és indirekt szkennelést összehasonlító cikkünkben a szkennerek vizsgálatának időpontja 2014 volt. A technológia akkori fejlettségével készített szkennerek esetében nem is elsősorban a pontosság és pontatlanság kérdése volt elsődleges, hanem az, hogy az egyes rendszerek a kapott képek összeillesztése a kezdetlegesség miatt elég nagy szórást mutattak, ami értelemszerűen egyrészt

rontotta a pontosságot, de magát az adott készüléket is megbízhatatlanná tette. Ha megnézzük az eredményeket, azt látjuk, hogy volt olyan szkennerek, ahol mértünk szélsőségesen rossz értéket, azaz előfordult rossz szkennerek is, ami rontotta a készülékek statisztikáját, de ettől eltekintve általában hasonlóan teljesítettek a szkennerek.

Ugyanakkor azt is ki kell emelni, hogy a pontatlanság helye sem mindegy, az IOS gyártó cégek tájékoztatása szerint egy oldalsó zónába készült híd esetében „elég”, ha a pillérfogaknál, azaz a célterület kvadránsában jó a lenyomat és az, hogy például a nagymetsző elhúzódtott, lényegtelen klinikai szempontból. Ezt a magyarázatot szerző sosem fogadta el maradéktalanul, és már a kezdetekkor (2011-ben) a gyártó céggel vitát folytattunk ebben a témában, mondván nem tartjuk helyesnek, hogy a szkennelés után nem teljes fogívről kapunk mintát, csak részleges mintán küldik a pótlást. Igazunkat támasztja alá az a válasz, amit a cég hivatalosan kommunikál, miszerint ezek a részleges minták csak a pótlás hordozását szolgálják. A vizsgálati módszerünk kimutatta azt a különbséget is – hogy az előző magyarázatnak megfelelően, a pótlás szempontjából indifferens helyen, a metsző tájkának elhúzódnásából jöhet a 325 µm-es távolság torzulás, ami túlmegy a határon, de ez a pótlás szempontjából nem releváns. A laterál hídnál mért pontosság pedig több, mint megfelelő, ez látszik a vizsgált kis távolság esetén, ahol az indirekt eljárás 40, a direkt 22 µm eltérést mutat.

A pontatlanság kérdését a 2022-ben publikált cikkünkönél vizsgálva szintén találunk olyan szkennereket, melyeknél teljes minta vizsgálata során az eltérés meghaladja a 120 µm-t, de azt is fontos hangsúlyozni, hogy ezek a szkennerek chairside rendszerek, azaz nem teljes fogívre való a gyártói ajánlás szerint.

A szkennerek pontosságát 2024-ben megnézve a szkennerek már nagyon jól teljesítenek. A piacvezető szkennerek esetén a pontosságban talán kicsi visszaesés is történt, a fejlesztéseknél más dolgok kerültek előtérbe, mint gyorsaság, stabilitás. Az a tendencia is megfigyelhető, hogy manapság már a kevésbé prémium gyártók szkennerei (Helios, VivaScan, Shining) is hozzák a klinikai felhasználáshoz szükséges pontosságot.

1b. Ismer-e a jelölt olyan technikákat vagy eljárásokat, amelyekkel kézi (intraorális) szkennelés esetén a távolság pontosságot rontó hatása ellensúlyozható?

A távolság pontosságot rontó hatása mind a fogas és a fogatlan állcsont esetében is fennáll. Az oka az, hogy minél hosszabb fogív területet szkennelünk, annál több képet kell összeilleszteni a rendszernek és az összefűzés/stiching mechanizmusba több hiba csúszhat. A legnagyobb eltérést az ív szkennelési origótól legtávolabbi, a fogívnek a szkennelés kezdőpontjától távoli végen tapasztaljuk.

Ha fogatlan állcsontról, vagy fogatlan állcsontra készül, implantátumokon elhorgonyzott fogpótlás készítéséhez veszünk lenyomatot intraorális szkennerekkel, akkor az anatómiai referenciapontok hiánya tovább rontja a helyzetet, erre az utolsó válaszomban szeretnék kitérni bővebben.

A távolság pontosságot rontó hatásának egyik legfontosabb „ellenszere” a helyes szkennelési stratégia betartása. A helyes szkennelési stratégiát a gyártó cégek közlik az adott szkennerekkel, és ez szkennereként el is térhet. Érdemes megjegyezni, hogy a legújabb generációs szkennereket a gyártók azzal hirdetik, hogy bármilyen szkennelési stratégiával, bárhogy mozgatva, bármilyen szkennelési útvonalon használhatóak, a fejlesztések ez irányba haladnak. Ennek azért van jelentősége, mert így sokkal kevésbé lesznek az eltérő rendszerek felhasználó függőek, technológia szenzitívek.

Az intraorális szkener (IOS) precizitását és valódiságát is meghatározza a használt szkenstratégia. Az irodalomban bizonyos szkennerek esetében az S-útvonal, míg más szkennerek esetében a lineáris útvonal esetén publikáltak a pontosságban eltérést. Ugyanakkor meg kell azt is említeni, hogy a szkenstratégia a képillesztő szoftvertől is függ. A lineáris szkenstratégia ajánlott pl. Cerec, Trios, Medit esetében, de ezt a lineáris stratégiát a front területen azért kell a szkenerfej billegtetésével kiegészíteni, mert ha a szkener csak vékony incizális élt lát, nem tudja pontosan illeszteni a bukkális és palatinális vagy linguális képeket. A szkennelés kezdőpontja meghatározza a pontosságot, a rotációs, vertikális irányú forgató mozdulatok, hirtelen irányváltoztatások és a túl gyors mozgás negatívan befolyásolják a stitching mechanizmusát. Klinikai körülmények között az a célszerű, ha a digitális lenyomatot gyakorlott operátor, időkorlát nélkül, a gyártói utasításnak megfelelően veszi. A Fogpótlástani Klinikán használt Trios, Cerec és Medit szkennerek esetében a teljes fogív szkennelése során a gyártói ajánlás a lineáris szkenstratégia. Első lépés a fogív leképezése, melynek során a legtöbb referencia ponttal rendelkező moláris okkluzális felszínről indulva haladunk a premolárisok okkluzális felszínén, majd a frontfogak incizális területén kicsit billegtetve a szkennert egészen a fogív túlsó végéig haladunk. Ehhez az első ívhez, fogív szkennelés, ami lehetőség szerint megszakadás nélküli folytonos szkennelés eredménye, hozzá lehet adni a bukkális és linguális, palatinális képeket. A legnagyobb torzulást az az illesztési hiba okozza, ahogyan a teljes íven végighalad a szkener és a képeket összefűzi (stitching). Ha a szkener mozgása túl gyors, vagy túl nagy mozdulatokkal változik a szkener orientációja, akkor az illesztés romlik. A rotációs és a vertikális síkban történő forgó mozgások adják a legtöbb hibát. A nagyobb szkenerfej szintén előnyösebb a szkennelés pontossága szempontjából, mert egyszerre nagyobb területet lát a szkener.

A távolság pontosságot rontó hatásának ellensúlyozására használható további szkennelési technika a felső állcsonton, ahol ajánlott a palatum szkennelése, mivel így zárni tudjuk a térbeli objektum hálót. Ez a megoldás is csökkenti az illesztési hibák összeadódása miatt a fogív végpontján lévő molárisok közötti megnövekedett távolságot (az origótól távoli molárisoknál szélesedik kifelé a fogív).

2. Az intraorális szkennelés tanulási görbéjét illető vizsgálat következtetése végső soron az, hogy sem túl kevés, sem túl sok kép nem kívánatos, azaz, hogy a legjobb, ha az operátor sem túl kevés, sem túl sok időt nem tölt a szkenneléssel, mert mindkét esetben romlik a leképezés minősége. A jelölt véleménye szerint nagyjából meghatározható-e egy olyan, rendszerfüggetlen időablak, amelyen belül a már gyakorlott felhasználó nagy bizonyossággal megfelelő minőségű és pontosságú lenyomatot tud venni? Az intraorális szkennelés oktatása során a szkener mozgásának megfelelő sebessége tanítható-e valamilyen módon?

A rendszerfüggetlen időablakra vonatkozó kérdésre a rövid válasz az, hogy vizsgálataink alapján a legkorszerűbb szkennerekkel a lenyomatvételhez már csak 2.5-3 perc szükséges, és még ennél is kevesebbel hirdetik a cégek a szkennereket (45 másodperc egy állcsontra).

De véleményem szerint nincs sok klinikai relevanciája ennek a számadatnak, mert ez olyan, a mindennapi életben nem túl gyakori esetre vonatkozik, amikor hiánytalan, szabályos fogazatról kívánunk tanulmányi lenyomatot venni, tehát ha ezt az ideális körülményt vesszük alapul, akkor levonhatjuk azt a következtetést, hogy ha 2 percnél is gyorsabban mozgatjuk a szkennert, akkor az nem fogja tudni adatvesztés nélkül rögzíteni a képet.

Az intraorális szkennerek tanulási görbéjének 2023-ban publikált vizsgálata során azt találtuk, hogy a Trios4 intraorális szkennerral a lenyomatvétele ideje: 2.2 perc és a Cerec Primescan szkennerral a lenyomatvétele ideje: 2.45 perc volt.

2022-ben, amikor az értekezés alapjául szolgáló 12 szkennerek vizsgálatát közzétettük, eredményeink alapján a lenyomatvétele ideje (alsó-felső állcsont és az interkuszipidációs helyzet (IKP) klinikai rögzítésének átlagos időtartama) 29.32 és 3.85 perc között volt, tehát nagyon széles érték között mozgott. Ugyanakkor azt is hangsúlyozni kell, hogy a szkennelési idő szorosan összefügg a szkennelés folytonosság megszakadásával. A 2022-es cikk megjelenésekor a folytonosság megszakadás 9 és 2 között változott.

A szkennelés folytonosság megszakadás a 2022 óta vizsgált legfrissebb szoftverekkel és hardverekkel rendelkező szkennerek esetén 1 vagy 2, és az összehasonlítás szempontjai közül éppen ezért ki is került.

A Fogpótlástani Klinika által vizsgált 29 szkennerek közül a leggyorsabb idő 1.96 perc volt az alsó-felső fogív és IKP klinikai rögzítése során. A legújabb szoftverekkel és új hardverrel rendelkező szkennerek esetében 2.9-1.96 perc között mutatkozott a szkennelési idő.

Fontos tudni, hogy ez a 2-3 perc nem a precíziós-szituációs lenyomat szkennelési ideje, hanem a tanulmányi lenyomaté, hibátlan fogazatban, vagyis nem lehet olyat kijelenteni, hogy intraorális szkennerral 2-3 perc a lenyomatvétele ideje. Maximum azt mondhatjuk, hogy 2-3 perc az ajánlott minimális időintervallum, ami alatt a szkennert a fogak felszínei felett mozgatva az alsó és a felső állcsont fogainak hiánytalan lenyomatát és az IKP rögzítését ideális körülmények között el tudjuk végezni.

Tehát ilyen időablak csak korlátokkal adható meg, hiszen a szkennelési idő függ az intraorális szkennertől, az adatfeldolgozást végző számítógéptől, de leginkább attól a státustól, amellyel a páciens rendelkezik, amit be kívánunk szkennelni, hiszen másként birkózik meg a szkennerek fogatlan területtel, fogpótlással, szubgingivális széli záródási vonallal vagy bármi más, ideálistól eltérő körülménnyel.

A szkennelés sebességének tanítására azt szeretném válaszolni, hogy úgy tanítható a leghatékonyabban, ha egyúttal a szkennerek felvétel kiértékelését is megtaníthatjuk a hallgatónak. A szkennerek felvétel kiértékelése során a hallgató látja, hogy a túl gyors mozgás miatt hol hiányos a virtuális modell, hol láthatóak üres lyukak.

A mesterséges intelligencia (MI) feltölti a „lyukakat” az utómunkálatok során, ezért az adatfeldolgozást követően már egy hiánytalan modell jut el a laborba. A szkennerek felvételt ezért még a poszt processzálas előtt meg kell nézni, ki kell értékelni, ez a lépés segít a szkennerek mozgásának helyes sebességének elsajátításában.

3. Az IOS rendszereket összehasonlító tanulmány kapcsán gyakran szó esik a szkennelés folytonosságának megszakadásáról, ami ezeknek a rendszereknek valóban a mai napig az egyik legfontosabb gyengéje. Bizonyos indikációkban ezt a problémát megoldhatja az extraorális sztereofotogrammetrikus (vagy SPG) kamerák alkalmazása, azonban ez a technológia egyfelől nem alkalmazható minden indikációban, másfelől fejlesztése jóval korábbi szakaszában jár, mint az intraorális szkennerek, nem elterjedt és igen költséges is. Ebből következően olyan megoldásokat célszerű találni, ami a jelenleg elérhető IOS rendszerek képrögzítés-folytonossági problémáit csökkentik. A jelölt véleménye szerint klinikai körülmények között hogyan csökkenthető leghatékonyabban a kézi szkennereknek ez a deficitje?

A hazai piacon elérhető intraorális szkennereket összehasonlító vizsgálatunkban kiértékeljük a „folytonosság megszakadás”-t, ami vizsgálatunkban a teljes fogív szkennelése során a szkennelés folyamatosságának megszakadását jelentette, ez az érték a szkennelési időt

befolyásolta. A folytonosság megszakadás értéke a 2022-ban publikált eredményeink alapján, a vizsgált 12 szkener esetében 9 és 2 között változott. Ez az érték 2024-re, az általunk vizsgált szoftverfrissített és/vagy új generációs szkenneres esetében – ahogy az előző kérdésre adott válasz során már hivatkoztam - 1-re csökkent és már nem volt különbség a szkenneres között a folytonosság megszakadása szempontjából, így ezért a szempontrendszerünkben kikerült.

A folytonosság megszakadását követően a korábbi szoftververzióknál ki kellett jelölni, hogy melyik fog felszíne fölé helyezve folytatódik a szkennelés. Mára már a mesterséges intelligencia automatikusan ismeri fel, hogy a szkennert a fogív mely pontja fölé helyeztük, és onnan automatikusan folytatódik a szkennelés. Természetesen továbbra is célszerű sok referencia ponttal rendelkező premoláris vagy moláris fog felszínéről folytatni a szkennelést, ha a folytonosság megszakadt. A teljes fogatlan állcsont, illetve implantátumokon elhorgonyozott híd készítésének szkennelése során a kevesebb referencia pont komoly kihívás az intraorális szkenneres számára. Az intraorális szkenneres egymás utáni képeket rögzítenek, amelyeket a szoftver a best-fit alignment algoritmus segítségével összefűzi, ez a stitching mechanizmus. Az összeillesztéshez (stichinghez) stabil és részletes anatómiai referencia pontok szükségesek. A fogatlan állcsont hossza, formája, a keratinizált mucosa mennyiség, az implantátum szkennelések közötti távolsága negatívan befolyásolja a szkennelés pontosságát. A sztereofotogrammetria megoldást nyújthat a problémára, de rendkívül magas ára határt szab rutinszerű felhasználásának. Ezekben az esetekben az intraorális szkennelést készített digitális lenyomatok pontosságát mesterséges referencia pontokkal javíthatjuk. Ezek a referencia pontok lehetnek az implantátumok közötti „gingiva pöttyök”, azaz folyékony kofferdam markerek, vagy nyomás jelző paszta jelölések, a szkennelések közé pozícionálhatunk geometriai formákat, vagy összeköthetjük a szkenneléseket fogselyemmel, vagy a rendelésben kinyomtatható elemekkel. Ezek kompozittal a szkennelésekhez illeszthetőek, illetve használhatunk gyári összekötő szettek, amelyek jól látható, követhető nyomvonalat adnak a szkenneléshez. A szakirodalom az all-on-4/all-on-6 implantációs fogpótlások digitális lenyomatozásához kiegészítésként ajánlja a sztereofotogrammetriás kamerát, amely az implantátumok pozícióját adja meg. Ennek az alternatívájaként jelenik meg az Optisplint rendszer, amely a speciális szkenneléseknek köszönhetően pontosabb lenyomatvételt ígér, mint ami a hagyományos szkennelésekkel lehetséges. Ezek a speciális szkennelések nyúlványokkal rendelkeznek és egy fém háló köti össze őket, így a fogatlan állcsont felett egységbe foglalja a szkenneléseket, a szkennelés számára referenciapontokat adva az információszegény fogatlan állcsontgerinc felett. A szkennelést ilyenkor két lépésben végzi az orvos, elsőként egy szkennelést készíti a szkennelések nélkül a lágy szövetek leképezése céljából, ezután kerülnek behelyezésre a szkennelések és készül el a végleges STL fájl. Sajnos sztereofotogrammetriás módszer, vagy az Optisplint alkalmazásáról nincs személyes tapasztalatunk, hiszen nem állnak ezek a rendszerek rendelkezésünkre.

Végezetül szeretném megköszönni Professzor Asszony értékes észrevételeit és hogy a doktori értekezést nyilvános vitára alkalmasnak találta.



Dr. Hermann Péter