Journal of Medical Sciences. 8 Nov, 2025 - Volume 13 | Issue 5. Electronic - ISSN: 2345-0592
Medical Sciences 2025 Vol. 13 (5), p. 101-111, https://doi.org/10.53453/ms.2025.11.10

e-ISSN: 2345-0592
Online issue
Indexed in *Index Copernicus*

Medical Sciences

Official website:
www.medicsciences.com

Effect of auxiliary geometric device on the accuracy of complete arch implant scanning: a literature review

Brigita Mažeikytė[1], Vilma Belickienė[2]

[1]Zahnärzte Tempelhof MVZ: Khosravi und Kollegen, Berlin, Germany

[2]Clinic of Dental and Maxillofacial Orthopaedics, Faculty of Odontology, Medical Academy, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania

Abstract

Background. In recent years, advances in intraoral scanning have significantly contributed to a fully digital workflow in fixed dental prosthetics. However, for completely edentulous patients, accurately capturing implant positions remains challenging due to the lack of clear anatomical landmarks.

Aim. This systematic literature review aims to evaluate the accuracy of scanning using an auxiliary geometric device (AGD) and to examine the most favorable configurations of this device.

Materials and Methods. The search was conducted following PRISMA guidelines. The selection and review of scientific articles were performed up to March 1st, 2025, using databases such as PubMed, Science Direct, Wiley Online Library, and Web of Science. The study included articles written in English that evaluated trueness or precision criteria and applied an auxiliary geometric structure during intraoral scanning.

Results. A total of 11 publications were included in the literature review. The influence of AGD was assessed based on trueness and precision criteria, expressed through linear (LN), angular (KN), and overall 3D surface deviations. Recent in vitro studies indicate that the use of AGD significantly improves scanning accuracy by maintaining proper spatial orientation of implants during edentulous arch scanning, thereby reducing data stitching errors. On the other hand, when evaluating the precision of angular measurements, no statistically significant effect of AGD on angular deviation results was observed. Moreover, AGD properties — such as optical characteristics, shape, and positioning — affect the final scanning outcome.

Conclusion. The application of AGD in edentulous arch scanning generally contributes to the improvement of trueness and precision – both linear and overall 3D surface – parameters. In contrast, no significant effect of AGD on angular precision was observed.

Keywords: intraoral scanner; accuracy; auxiliary geometric device; scan body; edentulous jaw; dental implants.

Pagalbinės geometrinės struktūros įtaka bedančių dantų lankų intraoralinio skenavimo tikslumui, protezuojant ant implantų - literatūros apžvalga

Brigita Mažeikytė[1], Vilma Belickienė[2]

[1]*Zahnärzte Tempelhof MVZ: Khosravi und Kollegen, Berlynas, Vokietija*

[2]*Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, Medicinos akademija, Odontologijos fakultetas, Dantų ir žandikaulių ortopedijos klinika, Kaunas, Lietuva*

Santrauka

Įvadas. Pastaraisiais metais intraoralinio skenavimo pažanga reikšmingai prisidėjo prie visiškai skaitmena grindžiamos darbo eigos protezuojant fiksuotomis dantų restauracijomis. Tačiau pilnai bedančių pacientų atveju, tikslus implantų padėties fiksavimas vis dar yra komplikuotas dėl aiškių anatominių orientyrų trūkumo.

Tikslas. Šios mokslinės literatūros apžvalgos tikslas, įvertinti skenavimo su pagalbiniu geometriniu skenavimo kūnų įtvėrimo prietaisu (PGS) tikslumą ir apžvelgti palankiausias šio prietaiso konfigūracijas.

Metodika. Paieška atlikta remiantis PRISMA rekomendacijomis. Mokslinių straipsnių paieška ir atranka buvo atliekama iki 2025 metų kovo 1 dienos PubMed, Science Direct, Wiley Online Library ir Web of Science duomenų bazėse, naudojant raktažodžių kombinacijas bei tyrimų atmetimo ir įtraukimo kriterijus: straipsniai parašyti anglų kalba, tyrimai vertinę realistiškumo ar preciziškumo kriterijus bei taikę pagalbinę geometrinę struktūrą intraoralinio skenavimo metu.

Rezultatai. Į literatūros apžvalgą buvo įtraukta 11 publikacijų. PGS įtaka buvo vertinama realistiškumo ir preciziškumo kriterijais, išreikštais linijinio (LN), kampinio (KN) ir bendro 3D paviršiaus nuokrypiais. In vitro tyrimų duomenys rodo, kad PGS naudojimas reikšmingai pagerina skenavimo realistiškumą ir linijinių bei bendro 3D paviršiaus matavimų preciziškumą, padėdamas užfiksuoti tinkamą erdvinę implantų orientaciją atliekant bedančio dantų lanko skenavimą, sumažindamas duomenų sujungimo klaidas. Kita vertus vertinant kampinių matavimų preciziškumą, statistiškai reikšmingo PGS poveikio kampinio nuokrypio rezultatams nenustatyta. Be to, PGS savybės – optinės charakteristikos, forma ir padėtis, daro įtaką galutiniam skenavimo tikslumo rezultatui.

Išvados. PGS taikymas pagerina bedančių dantų lankų intraoralinio skenavimo linijinį ir 3D paviršiaus realistiškumą ir preciziškumą, tačiau reikšmingo poveikio kampiniam preciziškumui nenustatyta.

Raktažodžiai: intraoralinis skeneris; tikslumas; pagalbinė geometrinė struktūra; skenavimo kūnas; bedantis žandikaulis; dantų implantai.

1. Įvadas

Skaitmeninių technologijų diegimas odontologijoje iš esmės transformavo klinikinę praktiką, ypač ortopedinio gydymo planavimo procesus. Lyginant su tradicine atspaudų ėmimo technologija, intraoralinių skenerių (IOS) pritaikymas praktikoje užtikrina didesnį paciento komfortą ir trumpesnį procedūros laiką [1 – 5]. Nors IOS yra laikomas tinkamu pavienių ir mažos apimties restauracijų gamyboje, jų tikslumas viso dantų lanko implantais paremto protezavimo atveju vis dar išlieka diskusijų centre [6 – 11].

Vienas pagrindinių iššūkių atliekant pilno dantų lanko skenavimą – tikslus atskirų vaizdų sujungimas [12]. Skenuojant visą bedantį žandikaulį, ypač kelių implantų atvejais, neretai kyla papildomų sunkumų – apdorojant ir jungiant trimačius (3D) paviršius gali kauptis smulkios klaidos, kurios, didėjant skenuojamam plotui, virsta ženklesniais linijiniais ar kampiniais neatitikimais [13]. Geometrinio heterogeniškumo trūkumas bedančiame dantų lanke dar labiau apsunkina skenavimą, nes skeneris gali klaidingai interpretuoti skenavimo kūnus arba nesugebėti atskirti skirtingų paviršių [14, 15], o dėl blizgios gleivinės, suprastėja šio paviršiaus skenavimo kokybė [16, 17]. Srivastava su bendraautoriais atliktoje sisteminėje literatūros apžvalgoje [18] nurodė, jog norint tiksliai atkurti paslankios burnos ertmės gleivinės struktūras, reikalingi intraoralinio skenavimo proceso patobulinimai.

Vienas iš siūlomų sprendimų - skenavimo kūnų sujungimo į stabilias atramines struktūras koncepcija, kurios taikymas parodė daug žadančius rezultatus [19, 20]. 2019 metais Iturrate ir bendraautoriai vieni pirmųjų pristatė pagalbinės geometrinės struktūros (PGS) koncepciją ir pavartojo šį terminą mokslinėje literatūroje [21]. Šis pagalbinis įrenginys tarnauja kaip optinis orientyras arba kitaip, atlieka sekamos skenavimo trajektorijos funkciją, suteikdamas tinkamą paviršiaus morfologiją IOS. Tai leidžia optimizuoti duomenų sujungimo procesą bedantėje srityje ir galimai pasiekti geresnį intraoralinio skenavimo tikslumą.

Kadangi PGS tikslas – pagerinti skenavimo kokybę, tampa svarbu įvertinti šios struktūros poveikį intraoralinio skenavimo tikslumui, kuris literatūroje apibrėžiamas ISO (angl. International Organization for Standardization) standartu [22]. Remiantis ISO 5725 apibrėžtimi, tikslumą sudaro du komponentai: realistiškumas, kuris parodo, kiek rezultatas artimas tikrajai vertei, ir preciziškumas, nusakantis matavimų pakartojamumą [22]. Kadangi tikslūs skaitmeniniai implantų atspaudai yra būtini sėkmingai restauracijų adaptacijai ir komplikacijų prevencijai, tampa aktualu įvertinti PGS poveikį intraoralinio skenavimo tikslumui edentuliniuose lankuose su implantais.

Šios apžvalgos tikslas – įvertinti PGS įtaką skenavimo tikslumui protezuojant implantais paremtus bedančius lankus.

2. Metodika

Literatūros paieška atlikta PubMed, ScienceDirect, Web of Science ir Wiley Online Library duomenų bazėse 2024 m. rugpjūčio 17 d. – 2025 m. kovo 1 d. Naudoti raktažodžiai ir MeSH terminai: edentulous arch, intraoral scanner, scanning body, implant, accuracy (trueness, precision, linear, angular deviation) bei auxiliary geometric device. Raktažodžių deriniai sudaryti naudojant Boolean operatorius („AND“, „OR“). Papildomai atlikta rankinė atrinktų straipsnių bibliografinių šaltinių analizė. Įtraukti tik anglų kalba publikuoti straipsniai, išleisti 2015–2025 m. laikotarpiu. Į mokslinę literatūros apžvalgą iš viso įtraukta 11 publikacijų.

Įtraukti tyrimai vertino intraoralinio skenavimo tikslumą remiantis ISO 5725 apibrėžtimi: realistiškumą (angl. trueness) ir preciziškumą (angl.

precision). Realistiškumas nustatytas lyginant bandomuosius skenavimus su referenciniu („aukso standarto“) skenavimu, o preciziškumas – pagal skenavimų pakartojamumo stabilumą. Rezultatai pateikti kaip 3D paviršiaus nuokrypis (RMS), linijiniai (LN, µm) ar kampiniai (KN, °) nuokrypiai, išreikšti vidurkiu ± SD arba mediana [IQR].

Sisteminėje apžvalgoje skenavimas su papildomomis geometrinėmis struktūromis (PGS) vertintas kaip intervencinė sąlyga, o skenavimas be jų – kaip kontrolinė sąlyga.

3. Rezultatai

3.1. PGS poveikio skenavimo realistiškumui vertinimas

3.1.1. Tarpimplantinių atstumų analizė

Keturiuose tyrimuose [23 – 26] vertinusiuose PGS poveikį tarpimplantinių atstumų LN, nustatyti statistiškai reikšmingi skirtumai tarp PGS ir kontrolės grupių (P < 0,05 [23, 25, 26]; P < 0,001 [24]). Visuose tyrimuose [23 – 26] taikant PGS gauti mažesni tarpimplantinių atstumų LN rodikliai.

Pan ir bendraautorių tyrime [24], vertinusiame skirtingas PGS konfigūracijas (globalus lanko vertinimas), geriausi rezultatai gauti grupėse su dantų formos orientyrais tarp implantų (38,8 ± 20,3 µm) bei su referenciniu bloku bei keturiais sferiniais žymenimis (44,2 ± 25,4 µm), palyginti su kontrolės grupe (75,8 ± 60,2 µm).

3.1.2. Individualaus skenavimo kūno linijinio nuokrypio analizė

Penkiuose tyrimuose [27 – 31] buvo vertinamas PGS poveikis skenavimo realistiškumui, taikant individualaus skenavimo kūno LN analizės metodą. Canullo ir kt. tyrime [27] vidutinės individualių skenavimo kūnų LN reikšmės tarp PGS ir kontrolinės grupių statistiškai reikšmingai nesiskyrė (P = 0,302), nors LN sumažėjo ~17 µm. Vertinant atskiras skenavimo kūnų pozicijas (pozicijos skaičius atitinka implantų išsidėstymą bedančiame lanke pagal FDI (angl. Fédération Dentaire Internationale) dantų numeraciją), reikšmingas LN sumažėjimas nustatytas tik vienoje skenavimo kūno pozicijoje Nr. 16 (t.y.viršutinio dešiniojo ketvirčio pirmojo krūminio danties pozicija), o pozicijoje Nr. 26 (t.y. viršutinio kairiojo ketvirčio pirmojo krūminio danties pozicija) nustatytas LN reikšmių padidėjimas pritaikius PGS [27].

Bader Eddin ir bendraautorių tyrime [31] PGS poveikis LN buvo statistiškai reikšmingas kiekvienoje nagrinėtoje intraoralinio skenavimo kūno (ISB) pozicijoje (P < 0,001). Didžiausias absoliutus LN skirtumas tarp tiriamosios ir kontrolinės grupių (32,48 µm) buvo dešiniojo distalinio implanto pozicijoje, kuris atitiko krūminių – prieškrūminių dantų sritį.

Wu ir bendraautorių tyrime [30] PGS poveikis individualių skenavimo kūnų pozicijų fiksavimo tikslumui buvo vertinamas PGS pozicionuojant skirtingose bedančio dantų lanko srityse. Didžiausios LN reikšmės (t. y. prasčiausias realistiškumas) fiksuotos kontrolinėje grupėje, ypač distalinėje (Nr. 16) lanko pozicijoje. Grupėse, kuriose PGS buvo taikytas tik galinėje arba abiejose bedančio lanko srityse, LN reikšmės buvo statistiškai reikšmingai mažesnės nei grupėje be PGS (P < 0,05). Mažiausius LN rezultatus demonstravo grupė su PGS taikytu abiejose lanko srityse.

Kito Wu ir bendraautorių tyrimo rezultatai parodė [28], kad tam tikrų formų ir optinių savybių PGS (kubinės baltos ir geltonos dervos, cilindrinė pilka, sferinės pilkos ir geltonos dervos) statistiškai reikšmingai pagerino LN reikšmes (P < 0,05). Taip pat nustatytas reikšmingas optinių savybių poveikis (P = 0,001): skaidrūs PGS turėjo didesnes LN reikšmes nei baltos (P = 0,008) ar geltonos (P = 0,002) spalvų struktūros. Formos ir optinių savybių sąveika taip pat buvo reikšminga LN pokyčiams (P

= 0,011), tačiau forma kaip atskiras veiksnys nebuvo reikšminga.

3.1.3.Kampinio nuokrypio analizė

Penkiuose tyrimuose, skenavimo realistiškumas buvo vertinamas analizuojant KN (°) [23, 27, 29 – 31]. Dviejuose iš jų nustatytas statistiškai reikšmingas KN sumažėjimas grupėse, kuriose buvo taikytos PGS, palyginti su grupėmis be PGS [29, 31].

Canullo ir bendraautorių tyrime [27] nustatytas statistiškai reikšmingas KN padidėjimas pritaikius PGS, lyginant su grupe be PGS (P = 0,005), vertinant apibendrintą individualių skenavimo kūnų reikšmę. Vertinant atskiras skenavimo kūnų pozicijas, šie skirtumai tarp grupių nebuvo statistiškai reikšmingi (P > 0,05).

Kitų trijų tyrimų [23, 29, 31] rezultatai parodė priešingą tendenciją – PGS taikymas statistiškai reikšmingai sumažino KN rezultatus. Abdelrehim ir Wu bei jų bendraautorių tyrimuose [23, 30] nustatyta, kad KN reikšmių pokyčiai priklausė nuo skirtingų PGS konfigūracijų ir klinikinių situacijų.

Wu ir kt. tyrime [30], KN reikšmės grupėje be PGS svyravo nuo 0,17º (Nr. 13 pozicija) iki 0,49º (Nr. 26 pozicija). Grupė, kurioje PGS buvo taikytas tik galinėje srityje, įrenginys nebuvo pakankamai efektyvus tikslumui užtikrinti – ši grupė dažnai pasiekė prasčiausius rezultatus tarp visų vertintų PGS grupių, o Nr. 16 ir 23 padėtyse KN rezultatai buvo didesni nei kontrolinėje grupėje. Tuo tarpu PGS taikymas tik priekinėje srityje užtikrino didesnį tikslumo pagerėjimą lyginant su prieš tai minėtomis grupėmis (vidurkių reikšmės svyravo nuo 0,15º (Nr. 23 pozicija) iki 0,42º (Nr. 26 pozicija), tačiau neužtikrino gerų rezultatų distalinėse ISB pozicijose (Nr. 26 pozicija). Mažiausios KN reikšmės gautos grupėje, kurioje PGS buvo taikytas tiek priekinėje, tiek galinėje srityse, o statistinė analizė parodė reikšmingą pranašumą prieš kitas grupes daugelyje implantų pozicijų.

Abdelrehim ir bendraautorių atliktame tyrime [23] pritaikius PGS, KN reikšmingai sumažėjo daugumos klinikinių situacijų atvejais, išskyrus dviejų paralelinių implantų grupę, kurioje statistinis reikšmingumas nenustatytas.

3.1.4. 3D paviršiaus nuokrypio analizė

Šešių straipsnių analizė parodė, kad PGS paprastai reikšmingai sumažino RMSE ir pagerina skaitmeninio skenavimo tikslumą. Penkiuose tyrimuose PGS grupės pasižymėjo statistiškai geresniais rezultatais nei kontrolinės grupės (P < 0,001 [29, 31, 32]; P < 0,05 [33, 28]).

Canullo ir bendraautorių tyrime [27] PGS taikymas neturėjo statistiškai reikšmingo poveikio RMSE (P = 0,051) ir nesiskyrė nuo kontrolinės grupės rezultatų – vidutinė RMS paklaida padidėjo ~ 2 µm. Wu ir bendraautorių tyrimuose RMSE reikšmės priklausė nuo PGS dizaino ir pozicionavimo bedančiame lanke [28, 30, 33]. Kai PGS buvo išdėstyti tiek priekinėje, tiek galinėje lanko dalyse, RMSE šioje grupėje siekė 20,06 ± 2,89 µm ir šis rezultatas buvo reikšmingai mažesnis nei grupėje, kurioje PGS taikytas nebuvo (P < 0,001) [30].

PGS pozicionavimo atstumo nuo gleivinės ir formos analizė parodė, kad žemo profilio plokšti PGS užtikrino mažesnį RMSE (P < 0,001) nei aukšti ar išlenkti, o PGS aukštis yra svaresnis veiksnys (P < 0,001) vertinant bendro 3D paviršiaus skenavimo realistiškumą nei struktūros forma (P = 0,795) [33]. Kitame Wu ir bendraautorių tyrime [28] PGS formos poveikis RMSE rezultatams taip pat nebuvo reikšmingas (P = 0,409). Kita vertus, optinės savybės pateikė prieštaringus rezultatus: iš neskaidrių medžiagų (pilkos, baltos, geltonos dervos; P < 0,001) pagaminti PGS reikšmingai sumažino RMSE, o skaidrūs (pvz., cilindriniai ar sferiniai skaidrūs) PGS statistiškai reikšmingo

poveikio neturėjo. Šių skaidrių optinių savybių PGS rezultatai statistiškai nesiskyrė nuo kontrolinės grupės, o kai kuriais atvejais net prisidėjo prie RMS padidėjimo [28]. Reikšmingai mažesni bendro 3D paviršaus nuokrypiai, palyginti su kontrole, nustatyti kubinio, cilindrinio bei sferinio pilko, balto ir geltono PGS taip pat kubinio skaidraus PGS grupėse (P < 0,05) [28].

3.2. PGS poveikio skenavimo preciziškumui vertinimas

3.2.1. Tarpimplantinių atstumų analizė

Dviejuose tyrimuose [24, 25] skenavimo preciziškumas vertintas pagal tarpimplantinių atstumų parametrą. Iturrate ir bendraautorių tyrime [25], kuriame PGS imitavo išimamą protezą, nustatytas statistiškai reikšmingas LN sumažėjimas keturiose iš penkių atkarpų (P < 0,05), kai PGS buvo pritaikytas. Šių atkarpų reikšmės svyravo nuo 7 ± 7 mm iki 63 ± 46 mm taikant PGS, palyginti su 18 ± 14 mm iki 84 ± 74 mm be PGS.

Pan ir bendraautorių tyrime [24] kontrolinė grupė be PGS parodė didžiausią rezultatų variaciją (vidurkis: 71,0 ± 50,7 µm; intervalas: 5,1 – 290,3 µm). Visose PGS grupėse LN reikšmės buvo mažesnės, o geriausi rezultatai gauti grupėje su dantų formos orientyrais tarp implantų (vidurkis: 44,6 ± 18,6 µm; intervalas: 3,7–103,4 µm) [24].

3.2.2. Individualaus skenavimo kūno linijinio nuokrypio analizė

Visi tyrimai, vertinę LN, nustatė mažesnes reikšmes taikant PGS, palyginti su kontrole [28 – 30]. Wu ir bendraautorių tyrime [29] skirtumai tarp PGS ir kontrolinės grupės buvo statistiškai reikšmingi (P < 0,001), o dviejuose [28, 30] reikšmingumas nustatytas tik tam tikroms PGS morfologinėms konfigūracijoms ar pozicionavimui.

Wu ir kt. tyrime [28] vertintas skirtingų formų (kubinių, cilindrinių, sferinių) ir optinių savybių (pilka, balta, geltona ir skaidri) PGS efektyvumas. Visos struktūros sumažino LN (mediana svyravo nuo 34,47 µm iki 48,73 µm) palyginti su kontrole (mediana: 55,69 µm; P < 0,05), išskyrus skaidrius cilindrinius ir sferinius PGS (P > 0,05). Taip pat nustatytas statistiškai reikšmingas ryšys tarp optinių PGS savybių ir preciziškumo (P < 0,001): skaidrūs PGS turėjo didesnius LN nei pilkos, baltos ar geltonos struktūros (P < 0,001) [28]. Tačiau forma (P = 0,401) ar formos ir optinių savybių sąveika (P = 0,398) įtakos linijinio skenavimo preciziškumui neturėjo [28].

PGS pozicionavimas dantų lanke taip pat pasirodė esantis reikšmingas veiksnys skenavimo preciziškumui: orientyrų išdėstymas tiek priekinėje, tiek galinėje srityse leidžia efektyviausiai sumažinti LN, ypač distalinių implantų pozicijose (pvz., pozicijose Nr. 16 ir Nr. 26) [30].

3.2.3. Kampinio nuokrypio analizė

Analizuotuose tyrimuose reikšmingo PGS poveikio kampiniam preciziškumui nenustatyta (P = 0,474 [29]; P > 0,05 [30]). Wu ir bendraautorių tyrime [30], mažiausios KN reikšmės fiksuotos, kai PGS išdėstytas tiek priekinėje, tiek galinėje bedančio lanko srityse (vidurkiai svyravo nuo 0,08° iki 0,15°). Nors reikšmingo skirtumo tarp kontrolinės ir tiriamosios grupių atskirose ISB pozicijose nenustatyta (P > 0,05), visose skenavimo kūnų pozicijoje fiksuotas KN reikšmių sumažėjimas. Svarbu paminėti, kad PGS taikant tik galinėje lanko srityje, Nr. 16 pozicijoje buvo nustatytas minimalus KN padidėjimas. Kito Wu ir bendraautorių tyrimo duomenimis [29], PGS taikymas taip pat siejosi su nežymiu KN padidėjimu.

3.2.4. 3D paviršiaus nuokrypio analizė

PGS taikymas visuose analizuotuose tyrimuose buvo susijęs su statistiškai reikšmingu RMSE sumažėjimu. Keturiuose tyrimuose vertinta PGS įtaka RMSE, iš kurių viename nustatytas

reikšmingas sumažėjimas, nepriklausomai nuo PGS tipo (P < 0,001 [32]), o trijuose reikšmingumas priklausė nuo konkrečių PGS konfigūracijų (P < 0,05 [28, 30]; P < 0,001 [33]).

Wu ir bendraautorių tyrime [30], vertinusiame PGS pozicionavimo įtaką bedančiame lanke, RMSE reikšmės grupėje, kurioje dirbtiniai orientyrai buvo pritaikyti tik distaliniame dantų lanko segmente, buvo reikšmingai mažesnės nei kontrolinėje grupėje (P < 0,001). Mažiausios RMSE reikšmės nustatytos, kai PGS buvo taikytas tiek priekiniame, tiek galiniame dantų lanko segmentuose (P < 0,001), o PGS taikymas tik priekiniame segmente statistiškai reikšmingo poveikio neturėjo (P > 0,05). Kontrolinė grupė pasižymėjo didžiausiomis RMSE reikšmėmis.

Wu ir bendraautorių tyrime [33], analizuojant PGS formos įtaką, žemo profilio plokšti PGS užtikrino mažiausias RMSE reikšmes (P < 0,001), reikšmingai pralenkdami kitas formas ir kontrolinę grupę, kurioje RMSE buvo didžiausias. Reikšmingo skirtumo tarp žemo ir aukšto profilio konstrukcijų nenustatyta (P = 0,336), todėl PGS forma (plokščias ar išlenktas) buvo laikoma svarbesniu veiksniu 3D nuokrypiui (P < 0,001) nei pozicionavimo atstumas nuo gleivinės. Išlenkto tipo PGS pasižymėjo mažesniu tikslumu ir reikšmingai nesiskyrė nuo grupės be PGS.

Kito Wu ir bendraautorių tyrimo [28] duomenimis, pilkos, baltos ir geltonos dervos PGS reikšmingai sumažino RMSE reikšmes (P = 0,001), o skaidrūs (cilindriniai ir sferiniai) PGS statistiškai reikšmingo poveikio neturėjo. Nustatytas reikšmingas optinių ir formos savybių sąveikos poveikis RMSE rezultatams (P = 0,022), tačiau forma kaip atskiras veiksnys reikšmingos įtakos preciziškumui neturėjo (P = 0,072).

4. Diskusija

4.1. PGS įtaka skenavimo realistiškumui, vertinant tarpimplantinio atstumo, individualaus skenavimo kūno linijinius nuokrypius, kampinį nuokrypį bei bendrą 3D paviršiaus nuokrypį

Apibendrinus į apžvalgą įtrauktus tyrimus [23 – 26], nustatyta, kad PGS taikymas reikšmingai sumažina tarpimplantinių atstumų LN, kuris skenuojant be PGS dažnai viršija klinikinę ribą. Gauti duomenys taip pat rodo, kad PGS pritaikymas gali būti veiksmingas ne tik dviejų priekinių ar keturių lygiagrečių implantų atvejais, bet ir sudėtingesnėse klinikinėse situacijose, pavyzdžiui keturių implantų atvejuose, kai galiniai implantai pasvirę 30° distaliai [23]. Tai rodo, jog PGS gali būti naudingi ne tik standartinėse, bet ir nestandartinėse klinikinėse situacijose, kur padidėja klaidų tikimybė dėl skenavimo kūnų pasvirimo ar ilgesnio skenavimo kelio. Be to tyrime [24], vertinusiame skirtingų PGS konfigūracijų įtaką, globaliam dantų lanko skenavimo realistiškumui, ypač gerus rezultatus pateikė dantų formos orientyrai arba referencinis blokas su keturiais sferiniais žymenimis tarp implantų, kurie suteikia daugiau optinių atskaitos taškų skeneriui.

Individualaus skenavimo kūno nuokrypio vertinimas atskleidė, kad PGS gali pagerinti skenavimo realistiškumą, tačiau poveikis priklauso nuo jų konfigūracijos ir išdėstymo. Grupėse, kur PGS buvo taikytas tik galinėje arba abiejose bedančio lanko srityse, LN reikšmės buvo statistiškai reikšmingai mažesnės nei grupėje be PGS (P < 0,05) [30]. Kito tyrimo metu Wu ir kiti nustatė [28] reikšmingą PGS optinių savybių poveikį (P = 0,001): skaidrūs PGS rodė didesnius linijinio realistiškumo nuokrypius nei neskaidrios dervos PGS. Tyrime taip pat nustatyta, kad linijinio realistiškumo rezultatai priklausė nuo PGS formos ir optinių savybių derinio (P = 0,011), tačiau PGS forma kaip atskiras veiksnys reikšmingo poveikio realistiškumui neturėjo.

Kampinio nuokrypio analizė pateikė nevienareikšmius rezultatus: dalyje tyrimų KN

reikšmės sumažėjo taikant PGS, o kitose – nežymiai padidėjo. Vis dėlto, geriausi rezultatai buvo pasiekti, kai PGS buvo taikytas tiek priekinėje, tiek galinėje srityse – ši grupė pasižymėjo mažiausiu KN, o statistinė analizė patvirtino jos reikšmingą pranašumą prieš kitas grupes daugelyje implantų pozicijų. Tai reiškia, kad tinkamai išdėstyti PGS, ypač priekinėje ir galinėje lanko dalyse, sumažina kampinius netikslumus.

3D paviršiaus nuokrypio analizė parodė, kad PGS paprastai prisideda prie reikšmingo RMSE sumažėjimo ir pagerina skaitmeninio skenavimo tikslumą. PGS morfologijos įtaką pabrėžė Wu ir bendraautoriai [33], nustatę, kad žemo profilio PGS, ypač žemo plokščio dizaino, užtikrino ženkliai didesnį tikslumą nei aukšti ar išlenkti variantai. Tai leidžia teigti, kad PGS aukštis yra svaresnis veiksnys vertinant bendro 3D paviršiaus skenavimo realistiškumą nei pati formos konfigūracija. Nustatytas ir aiškus optinių savybių poveikis: iš neskaidrių medžiagų (pilkos, baltos, geltonos dervos; $P < 0,001$) pagaminti PGS reikšmingai pagerino skenavimo tikslumą [28].

4.2. PGS įtaka skenavimo preciziškumui, vertinant tarpimplantinio atstumo, individualaus skenavimo kūno linijinius nuokrypius, kampinį nuokrypį bei bendrą 3D paviršiaus nuokrypį

Daugumoje tyrimų nustatytas PGS teigiamas poveikis intraoralinio skenavimo preciziškumui vertinant tarpimplantinius atstumus. Iturrate ir bendraautorių tyrime, kuriame PGS imitavo išimamą protezą, nustatytas statistiškai reikšmingas linijinio nuokrypio sumažėjimas keturiuose iš penkių tirtų atstumų ($P < 0,05$) pritaikius PGS, o skenavimo preciziškumas didėjant tarpimplantiniam atstumui blogėja, tačiau PGS poveikis tampa ryškesnis [25].

Taip pat visi tyrimai, vertinę linijinį nuokrypį (LN), patvirtino teigiamą PGS poveikį intraoralinio skenavimo preciziškumui. Kaip ir tiriant realistiškumą, tyrimų rezultatai rodo, kad PGS spalva turi didelę reikšmę skenavimo preciziškumui – skaidrūs orientyrai buvo mažiau veiksmingi nei pilkos, baltos ar geltonos struktūros [28]. Tuo tarpu formos įtaka reikšmės neturėjo, kas leidžia teigti, kad vizualinės PGS savybės skenavimo preciziškumui yra svarbesnis veiksnys nei geometrinė konfigūracija. Be to PGS pozicionavimas dantų lanke taip pat turėjo įtakos: efektyviausi rezultatai gauti, kai orientyrai buvo išdėstyti tiek priekinėje, tiek galinėje srityje, ypač distalinių implantų zonoje [30].

Gauti rezultatai atskleidžia, kad reikšmingo poveikio, vertinant PGS įtaką kampiniam preciziškumui, nenustatyta [29, 30]. Wu ir bendraautorių tyrime [30] pastebėtas tikslumo pagerėjimas, kai PGS išdėstytas tiek priekinėje, tiek galinėje lanko srityse. Tai leidžia manyti, kad platesnis orientacinių taškų pasiskirstymas padeda sumažinti kampinio iškraipymo riziką. Visgi statistiškai reikšmingo poveikio nenustatyta. Kai kurie šaltiniai teigia, kad PGS gali sumažinti kampinius netikslumus, o šių skirtumų priežastys gali būti siejamos su skirtinga skenerių technologija, duomenų apdorojimo algoritmais ar tyrimų metodologiniais ypatumais. Todėl siekiant patikimesnių išvadų būtina atlikti standartizuotus tyrimus, kurie leistų tiesiogiai palyginti skirtingų PGS konfigūracijų ir skenavimo sistemų rezultatus.

PGS taikymas visuose analizuotuose tyrimuose buvo susijęs su statistiškai reikšmingu RMS paklaidos (RMSE) sumažėjimu. Rezultatai taip pat leidžia manyti, kad PGS pozicionavimas tik viename segmente (pvz. priekiniame) yra riboto efektyvumo, nes toks išdėstymas neužtikrina pakankamo erdvinio stabilumo skenavimo algoritmui bedančiame lanke [30]. Priešingai, didžiausias skenavimo preciziškumas pasiektas, kai PGS buvo išdėstytos tolygiai visame bedančiame lanke – tiek

priekiniame, tiek galiniame dantų lanko segmentuose. Ši kombinacija suteikia daugiau orientacinių taškų, todėl mažina geometrinius iškraipymus. PGS formos analizė atskleidė, kad plokščio profilio orientyrai efektyviau mažina 3D nuokrypį nei išlenkti, kai tuo tarpu struktūros pozicionavimo atstumas nuo gleivinės reikšmingos įtakos skenavimo rezultatams neturėjo [33]. Be to, nustatytas reikšmingas optinių ir geometrinės formos savybių sąveikos poveikis minėtajam parametrui, nors geometrinė forma kaip atskiras veiksnys įtakos 3D paviršiaus skenavimo preciziškumui neturėjo [28].

5. Išvados

Apibendrinant, atlikta mokslinės literatūros analizė parodė, kad PGS taikymas reikšmingai pagerina intraoralinio skenavimo realistiškumą bedančiame lanke su implantais, mažindamas linijinį, kampinį ir bendro 3D paviršiaus nuokrypius. Nustatyta, kad PGS taikymas statistiškai reikšmingai sumažina linijinio ir bendro 3D nuokrypio rodiklius, vertinant preciziškumą, tačiau reikšmingo poveikio kampinio nuokrypio rezultatams nenustatyta. Šie duomenys rodo, kad PGS gali būti veiksminga priemonė prisidedanti prie tikslesnio implantų padėties atkūrimo ir užtikrinanti aukštesnį intraoralinio skenavimo kokybės lygį skenuojant bedančius lankus su implantais. Apibendrinant galima teigti, kad intraoralinis bedančių lankų skenavimas taikant PGS, tampa tikslesnis tiek realistiškumo, tiek preciziškumo požiūriu, tačiau rezultatų heterogeniškumas rodo poreikį tolimesniems standartizuotiems tyrimams šiai tendencijai patvirtinti. Svarbu pabrėžti, kad PGS efektyvumas taip pat priklauso nuo jo ypatumų – formos, optinių savybių, profilio ir išdėstymo bedančiame lanke. Todėl, siekiant didesnio intraoralinio skenavimo tikslumo, būtina atsižvelgti į konkrečias PGS savybes ir jų tinkamą pritaikymą pagal klinikinę situaciją.

Literatūros šaltiniai

1. Ahmed S, Hawsah A, Rustom R, Alamri A, Althomairy S, Alenezi M, Alzahrani A, Alqarni A. Digital Impressions Versus Conventional Impressions in Prosthodontics: A Systematic Review. Cureus 2024; 16:e51537.

2. Pullishery F, Huraib W, Alruhaymi AS, Alharandah WA, AlDara EW, Benten MM, Bukhari AA, AlGhamdi AM. Intraoral Scan Accuracy and Time Efficiency in Implant-Supported Fixed Partial Dentures: A Systematic Review. Cureus 2023; 15: e38034200.

3. Huang R, Liu Y, Huang B, Zhang C, Chen Z, Li Z. Improved scanning accuracy with newly designed scan bodies: An in vitro study comparing digital versus conventional impression techniques for complete-arch implant rehabilitation. Clin Oral Implants Res 2020; 31: 625–33.

4. Ma B, Yue X, Sun Y, Peng L, Geng W. Accuracy of photogrammetry, intraoral scanning, and conventional impression techniques for complete-arch implant rehabilitation: an in vitro comparative study. BMC Oral Health 2021; 21: 636.

5. Ahmed KE, Peres KG, Peres MA, Evans JL, Quaranta A, Burrow MF. Operators matter – An assessment of the expectations, perceptions, and performance of dentists, postgraduate students, and dental prosthetist students using intraoral scanning. J Dent 2021; 105: 103570.

6. Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P, Jakonen M, Kotiranta U. Digital Versus Conventional Impressions in Fixed Prosthodontics: A Review. J Prosthodont 2018; 27: 35–41.

7. Gómez-Polo M, Sallorenzo A, Cascos R, Ballesteros J, Barmak AB, Revilla-León M. Conventional and digital complete arch implant impression techniques: An in vitro study comparing

accuracy. J Prosthodont 2024; 132: 809–18.

8. Andriessen FS, Rijkens DR, Van Der Meer WJ, Wismeijer DW. Applicability and accuracy of an intraoral scanner for scanning multiple implants in edentulous mandibles: A pilot study. J Prosthet Dent 2014;111:186–94.

9. Miyoshi K, Tanaka S, Yokoyama S, Sanda M, Baba K. Effects of different types of intraoral scanners and scanning ranges on the precision of digital implant impressions in edentulous maxilla: An in vitro study. Clin Oral Implants Res 2020; 31: 74–83.

10. Nagata K, Fuchigami K, Okuhama Y, Wakamori K, Tsuruoka H, Nakashizu T, Shigeta Y, Baba K. Comparison of digital and silicone impressions for single-tooth implants and two- and three- unit implants for a free-end edentulous saddle. BMC Oral Health 2021; 21: 495.

11. Miyoshi K, Tanaka S, Yokoyama S, Sanda M, Baba K. Effects of different types of intraoral scanners and scanning ranges on the precision of digital implant impressions in edentulous maxilla: An in vitro study. Clin Oral Implants Res 2020; 31: 74–83.

12. Zingari F, Meglioli M, Gallo F, Macaluso GM, Tagliaferri S, Toffoli A, Re D. Predictability of intraoral scanner error for full-arch implant-supported rehabilitation. Clin Oral Investig 2023; 27: 3895–905.

13. Richert R, Goujat A, Venet L, Viguie G, Viennot S, Robinson P, Farges JC, Fages M, Ducret M. Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. J Healthc Eng 2017; 2017: 8427595.

14. Giménez B, Özcan M, Martínez-Rus F, Pradíes G. Accuracy of a Digital Impression System Based on Active Triangulation Technology With Blue Light for Implants: Effect of Clinically Relevant Parameters. Implant Dent 2015; 24: 498–504.

15. Andriessen FS, Rijkens DR, Van Der Meer WJ, Wismeijer DW. Applicability and accuracy of an intraoral scanner for scanning multiple implants in edentulous mandibles: A pilot study. J Prosthet Dent 2014; 111: 186–94.

16. Çakmak G, Yilmaz H, Santos A, Kökat A. Accuracy of Different Complete-Arch Digital Scanning Techniques with a Combined Healing Abutment-Scan Body System. Int J Oral Maxillofac Implants 2022; 37: 67–75.

17. Dutton E, Ludlow M, Mennito A, Kelly A, Evans Z, Culp A, Looney JR, Scott RA, Phelps WCW, Brackett WC. The effect different substrates have on the trueness and precision of eight different intraoral scanners. J Esthet Restor Dent 2020; 32: 204–18.

18. Srivastava G, Padhiary SK, Mohanty N, Molinero-Mourelle P, Chebib N. Accuracy of Intraoral Scanner for Recording Completely Edentulous Arches—A Systematic Review. Dent J 2023; 11: 241.

19. Ashraf Y, Abo El Fadl A, Hamdy A, Ebeid K. Effect of different intraoral scanners and scanbody splinting on accuracy of scanning implant-supported full arch fixed prosthesis. J Esthet Restor Dent 2023; 35: 1257–63.

20. Shetty PS, Gangurde AP, Chauhan MR, Jaiswal N V., Salian PR, Singh V. Accuracy of the digital implant impression with splinted and non-splinted intraoral scan bodies: A systematic review. J Indian Prosthodont Soc 2025; 25: 3–12.

21. Iturrate M, Eguiraun H, Etxaniz O, Solaberrieta E. Accuracy analysis of complete-arch digital scans in edentulous arches when using an auxiliary geometric device. J Prosthet Dent 2019; 121: 447–54.

22. International Organization for Standatization. ISO 5725-1:2023 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 1: General principles and

definitions. Geneva: ISO; 2023.

23. Abdelrehim A, Sulaiman E, Rcs M, Sofian H, Salleh NM. Effect of geometric heterogeneity using an auxiliary device on the accuracy of complete – arch implant scanning: An in vitro study of different clinical simulations. J Prosthet Dent 2024; [Epub ahead of print]. doi:10.1016/j.prosdent.2023.12.011.

24. Pan Y, Tsoi JKH, Lam WYH, Zhao K, Pow EHN. Improving intraoral implant scanning with a novel auxiliary device: An in vitro study. Clin Oral Implants Res 2021; 32: 1466–73.

25. Iturrate M, Eguiraun H, Etxaniz O, Solaberrieta E. Accuracy analysis of complete-arch digital scans in edentulous arches when using an auxiliary geometric device. J Prosthet Dent 2019; 121: 447-454.

26. Retana L, Nejat AH, Pozzi A. Effect of splinting scan bodies on trueness of complete-arch implant impression using different intraoral scanners: an in vitro study. Int J Comput Dent 2023; 26: 19–28.

27. Canullo L, Pesce P, Caponio VCA, Iacono R, Luciani FS, Raffone C, Menini M. Effect of auxiliary geometric devices on the accuracy of intraoral scans in full-arch implant-supported rehabilitations: An in vitro study. J Dent. 2024; 145: 105774.

28. Wu HK, Leung S, Chen H, Kong Q, Huang X, Lin X, Zhang Z, Deng F. Effect of prefabricated auxiliary devices in different optical properties and shapes on the accuracy of intraoral scanning of the edentulous arch with multiple implants: An in-vitro study. J Dent 2024; 151: 105860.

29. Wu HK, Chen G, Wang J, Zhang Z, Huang X, Lin X, Deng F, Li Y. Effect of prefabricated auxiliary devices and scanning patterns on the accuracy of complete-arch implant digital impressions. J Dent 2024; 140: 105572.

30. Wu HK, Chen G, Zhang Z, Lin X, Huang X, Deng F, Li Y. Effect of artificial landmarks of the prefabricated auxiliary devices located at different arch positions on the accuracy of complete-arch edentulous digital implant scanning: An in-vitro study. J Dent 2024; 140: 105598.

31. Bellah Bader Eddin M, Önöral Ö. Influence of splinting scan bodies or incorporating three-dimensionally printed scan aids on the trueness of complete-arch digital scans. J Prosthet Dent 2024; [Epub ahead of print]. doi:10.1016/j.prosdent.2024.08.010.

32. Anwar H, Azer A, Aboelhassan RG. Influence of a specially designed geometric device and modified scan bodies on the accuracy of a maxillary complete arch digital implant scan: An in vitro study. J Prosthet Dent 2024; [Epub ahead of print]. doi:10.1016/j.prosdent.2024.02.003.

33. Wu HK, Wang J, Chen G, Huang X, Deng F, Li Y. Effect of novel prefabricated auxiliary devices attaching to scan bodies on the accuracy of intraoral scanning of complete-arch with multiple implants: An in-vitro study. J Dent 2023; 138: 105553.

34. Iturrate M, Eguiraun H, Solaberrieta E. Accuracy of digital impressions for implant-supported complete-arch prosthesis, using an auxiliary geometry part—An in vitro study. Clin Oral Implants Res 2019; 30: 1250–8.

35. Ke Y, Zhang Y, Wang Y, Chen H, Sun Y. Comparing the accuracy of full-arch implant impressions using the conventional technique and digital scans with and without prefabricated landmarks in the mandible: An in vitro study. J Dent 2023; 135: 105496.