



Universidad  
del País Vasco

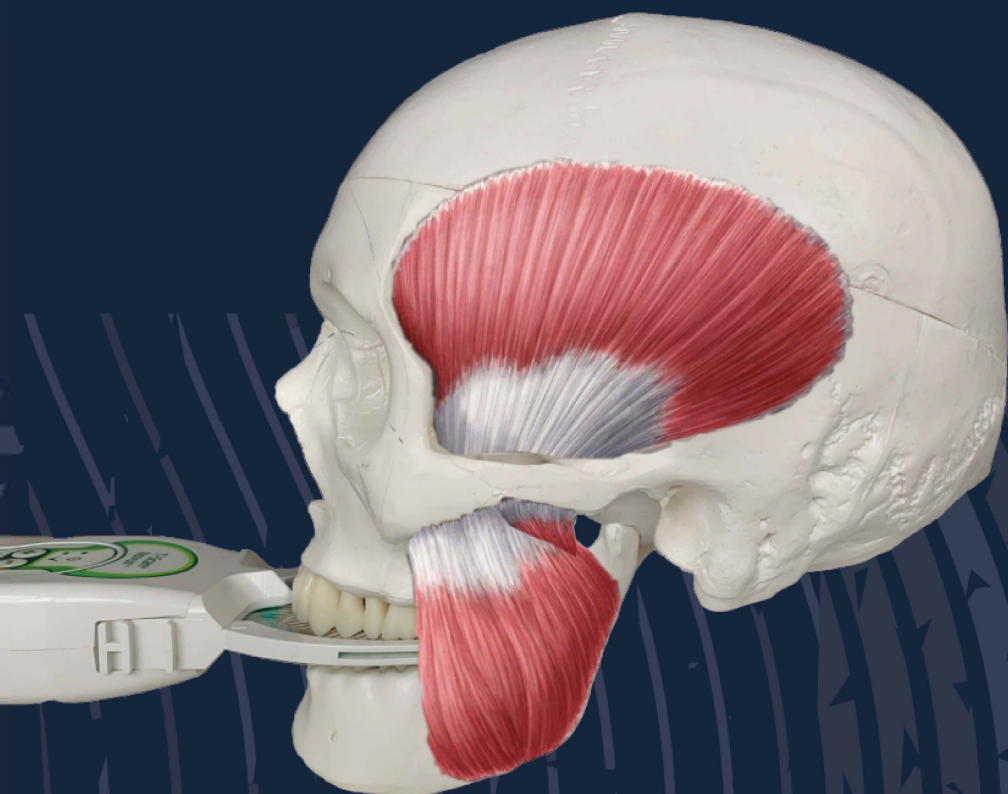
Euskal Herriko  
Unibertsitatea

GIPUZKOAKO  
INGENIARITZA  
ESKOLA

DOKTOREGO TESIA

# GIZA OKLUSIO BIOMEKANIKAREN ANALIZATZAILE DIGITALEN ZEHAZTASUNAREN AZTERKETA ETA HOBEKUNTZA TEKNIKAK

Mikel Jauregi Odriozola



TESI ZUZENDARIA

Eneko Solaberrieta Méndez

Adierazpen grafikoa eta ingeniartzako proiektuak saila

DONOSTIA, 2023.EKO ABENDUA



eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

GIPUZKOAKO INGENIARITZA ESKOLA

## DOKTOREGO TESIA

**GIZA OKLUSIO BIOMEKANIKAREN ANALIZATZAILE  
DIGITALEN ZEHAZTASUNAREN AZTERKETA ETA  
HOBEKUNTZA TEKNIKAK**

Egilea:

**Mikel Jauregi Odriozola**

Tesi Zuzendaria:

**Eneko Solaberrieta Mendez**

Adierazpen grafikoa eta ingeniartzako proiektuak saila

Donostia, 2023.eko abendua



*Duela urte asko, oraindik gazteegi ginela utzi behar izan gintuzun, eta orain inoiz baino gertuago sentitzen zaitut. Zuretzat aita, eta zure hutsune beteezina betetzen ahalegindu diren guztientzat*



## LABURPENA

---

Garai digitalean bizi gara eta digitalizazioak gure bizitzaren arlo guztietan eragin zuzena duela geroz eta nabarmenagoa da. Medikuntzan eta Odontologian ere garai digitala iritsi da, eta horrek betiko lan egiteko modu konbentzionalak guztiz aldatu ditu. Nahiz eta tresneri digital berriek aukera oso interesgarriak eskaini, horien erabilpenak ezagutza berriak eskatzen ditu eta betiko ezagutza modu berrietan ulertzeko beharra ekarri du. Giza oklusioaren biomekanikaren informazioa jaso eta neurtzeko, oklusio analizatzaile digitalak garatu dira. Horiek paper artikulatuak modu konbentzionaletan ematen dutena baino askoz informazio osatuagoa ematen dute oklusioari buruz.

Oklusio analizatzaile digitalek hortzen arteko kontaktu puntuen lokalizazioa edo kokapena emateaz gain, puntu horietan denboran zehar ematen diren kontaktu indarrak neurtu eta grabatu ditzakete. Hala ere, hasiera batean odontologoentzako hain informazio interesgarria eman dezaketen gailu horiek, ez dira hertz kliniketan uste bezain beste zabaldu.

Alde batetik, uste da kontaktu indarren informazioa ondo ulertu, interpretatu eta hertz tratamenduetan aprobetxatzeko oinarrizko ezagupenak falta direla. Oklusioa ekintza biomekaniko konplexua da, parte hartzen dutelako, besteak beste, buruaren

hezurrek, hortzeriaren geometriak, murtxikatze giharrek, baraila eta garezuraren arteko artikulazio tenporomandibularra (ATM) izeneko lotura mugikorak, ahoaren mugimendu posibleak. Beharrezkoa da horiek guztiek hortzen arteko kontaktu indarretan sortu dezaketen eragina ulertzea.

Bestalde, zehaztasun zalantzak sortu daitezke indar magnitude jakin bat neurtzeko eraikitako aparatu berri baten neurriek. Erreferentziazkoa den T-Scan analizatzaile digitala, merkaturatzen aurrenekoa izan zen eta duela urte gutxi merkeagoak diren eta antzerako funtzionalitatea duten beste analizatzaile batzuk merkaturatu dira. Ondorioz, merkatuan dauden analizatzaile digitalen artean aukeraketa egiterako garaian erabiltzaileak zalantzak izan ditzake.

Hau guztia kontutan izanik, artikuluen bildumaren bidez egin den doktorego tesi honetan zenbait galderei erantzuna eman nahi izan zaie eta argitaratutako hiru artikuluetan, ikerketa lerro honen barruan osagarriak diren hiru gai desberdin landu dira.

Lehenengo artikuluan, oklusioaren biomekanika hobeto ulertzeko, in-vitro saiakuntzak egiteko metodologia berri bat garatu da eta murtxikatze indarren kokapen-aldaketak kontaktu indarren magnitude eta zentroetan eragin zuzena dutela ondorioztatu da. Horrek agerian utzi du, odontologoek ezin dutela kontaktu indar orekatu bat betirako lortu hortzen geometriari aldaketak eginez soilik.

Bigarrenengo artikuluan, merkatuan dauden bi analizatzaile digitalak kontaktu indarren oreka neurtzeko duten doitasuna aztertu eta konparatu da in-vitro saiakuntzen bidez. Análisi eta konparaketa industrian ezaguna den GRR "Gage repeatability and reproducibility" metodologia aplikatuz burutu da, bi ondorio nagusi ateraz: T-Scan erreferentziazko gailuak, OccluSense gailuak baino burutu dagoen doitasun altuagoa duela, eta OccluSense analizatzailearen erreproduzigarritasun baxua modu esanguratsuan



hobetu daitekeela, sentsore pizioelektrikoa hortzerian ondo zentratuta kokatzeko pieza batekin erabilia.

Azkenik, behin sentsorearen kokapenaren garrantziaz ohartuta, hirugarren artikulan sentsorea beti modu erreproduzigarri batean hortzerian kokatzeko teknika bat garatu da. Teknika hori, gizaki bakoitzarentzat indibidualizatu beharreko kubeta baten erabileran oinarritzen da. Erabili beharreko kubeta berdina da T-Scan eta OccluSense analizatzaileentzat, eta kubetaren zein kubeta analizatzaile bakoitzean ezartzeko beharrezkoa den egokitzailea online jarri dira eskuragarri, nahi duenak erabil ditzan. Teknika horrekin, egun desberdinetako oklusio erregistroak elkarrekin doitasunez konparatu daitezke.

Aurrera eramandako 3 ikerketa lan konkretu horiekin, analizatzaile digitalen azterketa eta erabilpenean aurrerapauso bat eman da, eta proposatu diren metodologiak, ikerketa berriak aurrera eramateko baliagarriak izango dira.



## ESKERRAK

---

Tesi abentura honetan hasi aurretik, urte batzuk neramatzan lanerako motibazioa agortuta nuela, eta nire buruarengan konfiantza gutxirekin lan eginez. Aitortzen dut tesia bukatzeko konfiantza gutxirekin hasi nuena bidea, baina tesiak eskatzen dituen lanak egiten joan naizen bezala; bilerak, saiakuntzak, kongresuak, parrandaren bat, idatziak, argitalpenak, eta abarrek ilusioa eta niregan konfiantza berreskuratuarazi didatela esan dezaket.

Lehenik eta behin, lanean goibel nengoenean bere gertutasuna azaldu izan didatenei eskerrak eman nahi nizkieke, Ugutzeri, Iñakiri, Juaneri, besteak beste. Baita Mikel Iturrateri, behin eta berriro niregan sinetsi eta tesia egiten hasteko animatzeagatik. Baita ere zailtasunak gainditzen lagundu didaten Xabier Amezua bezalako DEHI taldeko, ingeniari mekanikoko, eta Gipuzkoako ingeniari eskolako lankide guztiei, eta baita bereziki ere, tesia bere zuzendaritzapean egiteko aukera eman didan Eneko Solaberrietari. Zuzendari aparta izan da, beti bidea errazteko eta laguntzeko prest, momentu oro animatzen, eta horretaz gain, nik nahi izaten dudana lanerako askatasuna eta autonomia eskatu behar gabe errespetatzen.

Eskertze hauetan familia ezin dut ahaztu, eskerrak aita eta amari beraien baldintza gabeko betiko maitasun eta laguntzagatik. Nere arrebari eta bere hortz klinikako lankideei eskaini dizkidaten baliabideengatik, ezagutza eta laguntzagatik. Bukatzeko nola ez, etxekoen animoak eta laguntza ere eskertu behar ditut: Ane alabari irudiekin eta ingelesarekin laguntzeagatik, Aitor semeari saiakuntzekin eta Excel-arekin laguntzeagatik, eta bereziki Nerea nire bikoteari, elkarrekin daramagun bide luze honetan zehar, beharra izan dudan guztietan hor egoteagatik.

## 0. AURKIBIDEA

---

<b>0. AURKIBIDEA .....</b>	<b><i>i</i></b>
<b>1. SARRERA .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 SARRERA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 GIZA OKLUSIOKO FUNTSEZKO ELEMENTU BIOLOGIKOEN AZALPENA .....</b>	<b>10</b>
2.2.1 GAREZURRA .....	10
2.2.2 HORTZAK .....	12
2.2.3 ATM: ARTIKULAZIO TENPOROMANDIBULARRA .....	15
2.2.4 MURTXIKATZE GIHARRAK.....	18
<b>2.3 OKLUSIOAREN INGURUKO TERMINOLOGIA ETA DEFINIZIOAK.....</b>	<b>22</b>
2.3.1 TERMINOLOGIA .....	22
2.3.2 HORTZEN ARTEKO KONTAKTU PUNTUAK ETA INDARRAK.....	24
2.3.3 ERREFERENTZI GEOMETRIKOAK .....	26
<b>2.4 ARTIKULADOREAK.....</b>	<b>29</b>
2.4.1 ARTIKULADOREAREN FUNTZIOA ETA OSAGAIK .....	29
2.4.2 ARTIKULADORE MOTAK ETA SAILKAPENA.....	31
2.4.3 PAZIENTEEN ERREGISTROAK ETA ARTIKULADOREAREN PRESTAKUNTZA .....	36
<b>2.5 OKLUSIO ANALIZATZAILE DIGITALAK.....</b>	<b>39</b>
2.5.1 SARRERA .....	39

## 0. AURKIBIDEA

---

2.5.2	T-SCAN OKLUSIO ANALIZATZAILE DIGITALA .....	44
2.5.3	OCCLUDENSE OKLUSIO ANALIZATZAILE DIGITALA .....	50
2.5.4	T-SCAN ETA OCCLUDENSE ANALIZATZAILEEN KONPARAZIO TAULA.....	53
<b>2.6</b>	<b>ANALIZATZAILE DIGITALEI BURUZKO GAIAREN EGOERA .....</b>	<b>56</b>
2.6.1	OKLUSIOA ANALIZATZEKO METODO TRADIZIONALAK ETA DIGITALEN GARAPENA	56
2.6.2	ANALIZATZAILEEN INDARREN NEURKETA ALDAGAIK.....	60
2.6.3	GIZA OKLUSIO BIOMEKANIKAREN INDAR KONTZEPTUEN ULERMENA ETA SAIKUNTZAK .....	67
2.6.4	ANALIZATZAILEEN ZEHAZTASUN DEFINIZIOAK ETA ESTUDIOAK .....	72
2.6.5	MOMENTU EZBERDINETAN HARTUTAKO OKLUSIO ERREGISTROEN DOITASUNA ..	81
<b>3.</b>	<b>BALIABIDE METODOLOGIKOAK .....</b>	<b>85</b>
<b>3.1</b>	<b>SARRERA .....</b>	<b>85</b>
<b>3.2</b>	<b>IN-VIVO ETA IN-VITRO SAIKUNTZAK.....</b>	<b>85</b>
3.2.1	IGELTSUZKO HORTZERIAK.....	87
3.2.2	EZ-ARCON MOTAKO ARTIKULADORE ERDI DOIGARRIA .....	88
3.2.3	MURTXIKATZE INDARRA SIMULATZEKO SISTEMA ETA ELEMENTUAK.....	89
3.2.4	OKLUSIO ANALIZATZAILE DIGITALEN KOKAPENAK .....	93
<b>3.3</b>	<b>NEURKETA APARATUEN DOITASUNA NEURTZEKO GRR METODOLOGIA .....</b>	<b>94</b>
3.3.1	ZEHAZKAKO GRR METODOLOGIAREN planteamendua eta HELBURUA.....	94
3.3.2	ZEHAZKAKO GRR METODOLOGIA BURUTZEKO PAUSOAK .....	97
<b>4.</b>	<b>HELBURU OROKORRAK .....</b>	<b>101</b>
<b>5.</b>	<b>ARTIKULUEN AZALPENA.....</b>	<b>103</b>
<b>5.1</b>	<b>1. ARTIKULUA: Murtxikatze indarren zentroak, oklusioko kontaktu indarren posizioan duen eragina, oklusio analizatzaile digital bat erabiliaz.....</b>	<b>103</b>
5.1.1	HELBURU ZEHAZKAK ETA HIPOTESIAK.....	103

5.1.2	METODOLOGIA.....	104
5.1.3	EMAITZAK ETA EZTABAIDA.....	107
<b>5.2</b>	<b>2. ARTIKULUA: Oklusio kontaktu indarren ezker eta eskuin oreka neurtzeko, 2 oklusio analizatzaile digitalen errepikakortasuna eta erreproduzigarritasuna: in-vitro azterketa.....</b>	<b>113</b>
5.2.1	HELBURU ZEHATZAK ETA HIPOTESIAK.....	113
5.2.2	METODOLOGIA.....	114
5.2.3	EMAITZAK ETA EZTABAIDA.....	117
<b>5.3</b>	<b>3. ARTIKULUA: Oklusio analizatzaile digitalekin hartutako erregistroen doitasuna hobetzeko teknika.....</b>	<b>123</b>
5.3.1	HELBURU ZEHATZAK ETA HIPOTESIAK.....	123
5.3.2	TEKNIKAREN AZALPENA.....	123
5.3.3	EZTABAIDA.....	128
<b>6.</b>	<b>ONDORIOAK.....</b>	<b>131</b>
<b>7.</b>	<b>ETORKIZUNERAKO LANAK.....</b>	<b>135</b>
<b>8.</b>	<b>LANAREN EKARPENAK.....</b>	<b>141</b>
<b>9.</b>	<b>ERREFERENTZI BIBLIOGRAFIKOAK.....</b>	<b>143</b>

## **IRUDIEN AURKIBIDEA:**

<b>2-1. irudia.</b> CBCT “Cone Beam Computed Tomography” makina digitalarekin jasotako hortz eta masailezurren irudiak.....	7
<b>2-2. irudia.</b> Eskaner digitalarekin jasotako hortzerien 3 dimentsiotako gainazalen irudiak.....	7
<b>2-3. irudia.</b> Hortz ordezkoen sorrera, guztiz digitalizatua dagoen prozedura erabiliz.....	8
<b>2-4. irudia.</b> Oklusioa digitalizatzeke gailua.....	9
<b>2-5. irudia.</b> Garezuraren irudia.....	10
<b>2-6. irudia.</b> Barailaren irudia.....	11
<b>2-7. irudia.</b> Maxilarraren irudia.....	12
<b>2-8. irudia.</b> Gizakien hortzen taldekatzea.....	13
<b>2-9. irudia.</b> 36 hortz eta hagin dituen gizaki helduen hortzeria.....	14
<b>2-10. irudia.</b> ATM: artikulazio tenporomandibularra.....	15
<b>2-11. irudia.</b> ATM-aren mugimendu nagusiak.....	17
<b>2-12. irudia.</b> ATM-aren ahoa irekitzeko mugimenduak. A; ahoa itxita, B; ahoa gradu gutxiz irekita. C; ahoa oso irekita.....	18
<b>2-13. irudia.</b> Gihar maseteroa.....	19
<b>2-14. irudia.</b> Gihar tenporala.....	20
<b>2-15. irudia.</b> A; gihar pterigoideo mediala, B; gihar pterigoideo albokoa.....	20
<b>2-16. irudia.</b> Gihar digastrikoa.....	21
<b>2-17. irudia.</b> Kondiloen posizioa erlazio zentriko posizioan daudenean.....	23
<b>2-18. irudia.</b> Aho barrunbetik eta albotik ikusitako hortzerien IMP-a.....	23
<b>2-19. irudia.</b> Goiko eta beheko hortz uztaien arteko kontaktu puntuak.....	24
<b>2-20. irudia.</b> Hagin bateko kontaktu puntuak eta kontaktu indarrak.....	25
<b>2-21. irudia.</b> Hortzerian zehar sortzen diren kontaktu indarrak.....	25



<b>2-22. irudia.</b> Giza gorputzaren erreferentzia planoak.....	26
<b>2-23. irudia.</b> Giza gorputzaren erreferentzia planoak.....	27
<b>2-24. irudia.</b> Odontologiako erreferentzia planoak.....	28
<b>2-25. irudia.</b> Artikuladore mekanikoaren osagai nagusiak.....	29
<b>2-26. irudia.</b> Artikuladore mekanikoaren egitura orokorra.....	30
<b>2-27. irudia.</b> Artikuladore mekanikoaren mugimendu erlatiboa.....	31
<b>2-28. irudia.</b> Ezagutzen den historiako lehen artikuladore mekanikoa.....	32
<b>2-29. irudia.</b> A; Arcon motako artikuladorea, B; ez-Arcon motako artikuladorea.....	32
<b>2-30. irudia.</b> Technoflux markako artikuladorea.....	33
<b>2-31. irudia.</b> Mestra markako artikuladorea.....	34
<b>2-32. irudia.</b> Artex markako artikuladorea.....	35
<b>2-33. irudia.</b> Panadent markako artikuladorea.....	35
<b>2-34. irudia.</b> Artikuladorearen muntaketa egiteko jarraitu beharreko urratsak.....	36
<b>2-35. irudia.</b> Artikuladorearen goiko osagaiaren plano eta Frankfort plano bat datoz.....	38
<b>2-36. irudia.</b> Camper plano pazientean eta artikuladorean.....	38
<b>2-37. irudia.</b> 100 kgf-ko gaitasuna duen IDDK dinamometro digitala.....	39
<b>2-38. irudia.</b> FSR 151 sentorearekin eginiko indar neurketa.....	40
<b>2-39. irudia.</b> Flexiforce sentorearekin eginiko indar neurketa.....	40
<b>2-40. irudia.</b> GM10 indar transduktorearekin eginiko indar neurketa.....	41
<b>2-41. irudia.</b> Dental Prescale presio sentikor filmarekin eginiko presio neurketa.....	41
<b>2-42. irudia.</b> T-Scan sistema. A, T Scan dispositiboa eta sentorea. B, paziente bati hartutako erregistroa. C, software programa.....	42
<b>2-43. irudia.</b> OccluSense sistema. A, OccluSense dispositiboa eta bere sentorea. B, paziente bati hartutako erregistroa. C, software programa.....	43

## 0. AURKIBIDEA

---

<b>2-44. irudia.</b> Accura sistema; Accura dispositiboa eta bere sentsorea, software programa....	43
<b>2-45. irudia.</b> T-Scan Novus sistema osatzen duten 3 elementu nagusiak: eskuko pieza, sentsorea eta software programa propioa. ....	44
<b>2-46. irudia.</b> T-Scan Novus sentsorearen neurriak eta "senselak". ....	45
<b>2-47. irudia.</b> T-Scan programak eskaintzen duen pantaila nagusia. ....	47
<b>2-48. irudia.</b> Eskaneatutako STL artxiboa inportatu eta hertz neurri errealak. ....	48
<b>2-49. irudia.</b> Implanteak dauden tokietan jarritako oharrak. ....	48
<b>2-50. irudia.</b> Ezker-eskuin oreka, zentroaren ibilbidea, denbora barra. ....	49
<b>2-51. irudia.</b> OccluSense sistema osatzen duten 3 elementu nagusiak: eskuko pieza, sentsorea eta software programa propioa. ....	50
<b>2-52. irudia.</b> Occlusense sentsoreak hertz kontaktu puntuetan utzitako markak.....	51
<b>2-53. irudia.</b> OccluSense programak eskaintzen duen pantaila nagusia.....	53
<b>2-54. irudia.</b> Silikonak hortzaren forma erreplikatzeko du.....	56
<b>2-55. irudia.</b> Paper artikulatuek hortzak margotuz oklusio puntuak detektatzen dituzte. ....	57
<b>2-56. irudia.</b> T-Scan HD sentsorearen azalera efektiboaren hobekuntza. ....	59
<b>2-57. irudia.</b> Oklusioa ebaluatzeko sistemen erabilera tasa. ....	60
<b>2-58. irudia.</b> Sensel bakoitzean dagoen indar intentsitatea kolore eskalan adierazita.....	61
<b>2-59. irudia.</b> Sensel bakoitzean dagoen indar aldaketa eta intentsitatea.....	61
<b>2-60. irudia.</b> Sensel bakoitzean dagoen indar altueraren eta kolorearen esanahia.....	62
<b>2-61. irudia.</b> Hertz bakoitzean dagoen indar ehunekoaren balio numerikoaren kalkulua. ....	62
<b>2-62. irudia.</b> T-Scan-ak ezker-eskuin indarren orekak kalkulatu eta adierazten ditu. ....	64
<b>2-63. irudia.</b> OccluSense-ak hertz sektore bakoitzaren indar ehunekoa ematen du. ....	64
<b>2-64. irudia.</b> T-Scan sistemaren softwareak kalkulatuak kontaktu indarren zentroa eta bere ibilbidea. ....	65

<b>2-65. irudia.</b> T-Scan sistemaren softwareak, bi hortzeria desberdinetan azaltzen dituen kontaktu indar zentroen posizioak eta beraien ibilbideak.....	66
<b>2-66. irudia.</b> IMP-an, oklusioan jarduten duten indarrak.....	69
<b>2-67. irudia.</b> IMP-an, parte hartzen duten indarren eskema.....	70
<b>2-68. irudia.</b> Indar zentroak kokatzeko erreferentzi sistema: (X): alboetarako ardatza, (Y): luzeetarako ardatza.....	71
<b>2-69. irudia.</b> In-vitro saiakuntza egiteko erabilitako hortzeria eta prentsa. ....	73
<b>2-70. irudia.</b> In-vitro saiakuntza eginda, kontaktu puntuen kokapenak. ....	73
<b>2-71. irudia.</b> In-vitro saiakuntzekin, kontaktu puntuen indar intentsitateak. ....	74
<b>2-72. irudia.</b> T-Scan eta Accura sentsoreak igeltsuzko hortzerietara gainjarri ziren kontaktuen detekzio zehaztasuna aztertzeke ....	74
<b>2-73. irudia.</b> T-Scan-aren emaitzen eta STL eskaneaketaren arteko lerrokatzea eta proiektzioa. ....	75
<b>2-74. irudia.</b> In-vitro egindako kontaktu indarren zehaztasunen konparaketak.....	76
<b>2-75. irudia.</b> In-vitro egindako kontaktu indarren zehaztasunen konparaketak.....	77
<b>2-76. irudia.</b> Zehaztasunaren, egiazkotasunaren eta doitasunaren azalpena.....	78
<b>2-77. irudia.</b> Errepikakortasunaren azalpena.....	79
<b>2-78. irudia.</b> A, B eta C neurketa baldintza desberdinak izanik, erreproduzigarritasunaren azalpena.....	79
<b>2-79. irudia.</b> A, B eta C neurketa baldintza desberdinak izanik, doitasunaren azalpen grafikoa. ....	80
<b>2-80. irudia.</b> A, T-Scan sentsorearen bi kokapen ebakortzen arteko ardatzarekiko biratuz, B, sentsorea A posizioetan egonik hartutako oklusio erregistroak. ....	83
<b>3-1. irudia.</b> Oklusio indarrak aztertzeke in-vitro saiakuntza.....	87
<b>3-2. irudia.</b> Bi gizabanakoren igeltsuzko hortzeriak.....	88
<b>3-3. irudia.</b> Artex CN (Amann Girrbach) artikuladore erdi doigarria. ....	89

## 0. AURKIBIDEA

---

<b>3-4. irudia.</b> A; zulagailu bertikala, B; zapaltzeko punta esferikoa, C; kontrolatutako indarra ezartzeko pisua eta dinamometroa.....	90
<b>3-5. irudia.</b> Puntaren desplazamenduaren azalpen grafikoa. ....	91
<b>3-6. irudia.</b> Murtxikatze indar desorekatua kontrolatzeko txantiloia. (X): zeharkako ardatza, (Y): luzeetarako ardatza. ....	92
<b>3-7. irudia.</b> Oklusio analizatzaileentzat neurria fabrikatutako euskarriak. ....	93
<b>3-8. irudia.</b> Analizatzaileen sentsorea hortzerietan kokatzeko sistema. ....	93
<b>3-9. irudia.</b> Zeharkako GRR metodologiaren neurriak hartzeko eskema. ....	95
<b>3-10. irudia.</b> GRR metodologiak neurketen doitasun falta kuantifikatu dezake. ....	95
<b>3-11. irudia.</b> GRR metodologiak errepikakortasun eta erreproduzigarritasun falta kuantifikatu dezake.....	96
<b>5-1. irudia.</b> Saiakuntzaren sarrera-indarra 9 posizioetan aplikatzeko txantiloia.....	105
<b>5-2. irudia.</b> 169 N-ko magnitudea duen sarrera-indarraren aplikazioa.....	106
<b>5-3. irudia.</b> KI-Z-aren X eta Y koordinatuen kutxa diagramak, 3 hortzerientzat. ....	108
<b>5-4. irudia.</b> KI-Z-aren, 3 hortzerientzat, kokapenen grafikoak. ....	109
<b>5-5. irudia.</b> KI-M ehunekoen, 3 posizio multzoen, balio grafikoak. ....	110
<b>5-6. irudia.</b> A, T-Scan analizatzailea; B, OccluSense analizatzailea; C, OccluSense analizatzailea zentratzailearekin. ....	114
<b>5-7. irudia.</b> 145 N-ko magnitudea duen sarrera-indarraren aplikazioa.....	115
<b>5-8. irudia.</b> T-Scan eta OccluSense analizatzaileentzat erabili beharreko piezak. ....	124
<b>5-9. irudia.</b> 3D inprimagailuan fabrikatutako piezak: A, egokitzailea, B, kubetaxoa. ....	124
<b>5-10. irudia.</b> Kubeta bi ebakortzen tartean ondo sartzeko prozesua.....	125
<b>5-11. irudia.</b> Pazientearen hortz inpresioak hartzen. ....	126
<b>5-12. irudia.</b> Goiko hortzeriaren aurrealdeko inpresioa.....	126
<b>5-13. irudia.</b> Pertsonalizatutako kubeta, T-Scan analizatzaileera egokituta. ....	127

<b>5-14. irudia.</b> T-Scan analizatzailearekin erregistro hartzea.....	127
<b>7-1. irudia.</b> Elementu finitoen metodoaz eginiko analisi estatikoak ematen dituen indar balioak .....	136
<b>7-2. irudia.</b> Bolen zurruntasuna aldatuz, kontaktu indarren erantzuna aztertu. ....	137
<b>7-3. irudia.</b> Egiatzotasuna kuantifikatzeko 3 hanka dituen pieza simetrikoa.....	138
<b>7-4. irudia.</b> Kontaktu puntuen posizioen egiatzotasunaren saiakuntza-erantzua.....	138
<b>8-1. irudia.</b> INGEGRAF 2023 kongresuaren aurkezpen agiria. ....	142

**TAULEN AURKIBIDEA:**

**2-1. taula.** T-Scan Novus sentsoarearen ezaugarri teknikoak ..... 46

**2-2. taula.** OccluSense sentsoarearen ezaugarri teknikoak ..... 52

**2-3. taula.** T-Scan eta OccluSense sistemen arteko prestazio konparaketa ..... 54

**2-4. taula.** T-Scan sentsoarearen eboluzioa ..... 58

**2-5. taula.** IMP-ra iristean, oklusio indarrentzat erabilitako laburdurak ..... 70

**3-1. taula.** GRR metodoaren emaitza taula adibidea ..... 98

**3-2. taula.** AIAG erakundeak doitasuna, errepikakortasuna eta erreproduzigarritasuna ebaluatzeko proposatzen duen irizpidea ..... 99

**5-1. taula.** Kontaktu indarren oreka neurtzeko protokolo esperimentalak ..... 116

**5-2. taula.** T-Scan gailuaren GRR metodoaren emaitza taula ..... 117

**5-3. taula.** OccluSense gailuaren GRR metodoaren emaitza taula ..... 118

**5-4. taula.** OccluSense zentratzeko pieza duela gailuaren GRR metodoaren emaitza taula ..... 118

**5-5. taula.** Hiru oklusio analizatzaile aukeren doitasunen konparazio taula ..... 119

## 1. SARRERA

---

Odontologia, gizateriaren historian zehar bilakaera esanguratsua izan duen zientzia medikoa da. Aitzinean anestesia gabeko hortzen estrakzioak egitetik, gaur egun egiten diren prozedura oso espezializatuetaraino, odontologia, hortzetako arazoak eta gaixotasunak konpontzeaz gain, aho barrunbearen ematen den eta konplexutasun maila altua duen biomekanika ulertzen saiatzen da. Aho barrunbeko biomekanikak osasunaren egoerarekin harreman zuzena duenez, historian zehar hozkadaren mekanika beti izan da funtsezko azterketa eremua odontologian.

Oklusio indarrak, hau da, goiko eta beheko hortzeriak kontaktuan daudenean elkarren arteko indarrak, hortzetako biomekanikaren funtsezko alderdia dira. Indar horiek, askotan eguneroko bizitzan oharkabean pasatzen diren arren, berebiziko garrantzia dute murtxikatze funtzioan, hitz egiteko fonazioan eta aho barrunbearen egonkortasunean. Hortzetako eta aurpegi masailetakoko gaixotasun ugari diagnostikatzeko eta tratatzeko, oklusio indarrak behar bezala ulertzea funtsezkoa da, beraz azpimarratzekoa da hozkadaren mekanika ikuspegi sakon batetik ikertzeak duen garrantzia.

Hozkadaren biomekanika, eta bereziki oklusio indarrak sakon ulertzeko, aho barrunbearen dauden elementu biologikoak eta berain erlazioak ezagutzea ezinbestekoa da. Tesi honetan egiten den azterketa biomekaniko honetan, edozein sistema mekanikotan gertatzen den bezala, sistemaren egitura elementuak (garezurra eta ahoko hezurak), egitura elementuen arteko kontaktu formak (hortzen geometriak), egitura elementuen arteko loturak (giltzadura tenporomandibularra),

## 1. SARRERA

---

eta egitura elementuetan dauden kanpo indar eragileak (murtxikatzeko giharrak), eta horien guztien elkarren arteko lotura eta erlazioak aztertu dira.

Oklusio indarren izaera eta ezaugarriak, eta indar hauek nola banatzen diren ere aztertu da. Goiko eta beheko hortzak kontaktuan jartzen direnean, beraien artean interakzio konplexuak dituzte, eta ahoa ixten doan heinean, hortzek ahoan duten kokapenaren arabera indarrak aldatzen doaz, ahoa guztiz itxita egon arte. Une horretan hortzak egoera estatiko batera iritsiko dira, baina horrela izanda ere oklusio indarrak ez dute zergatik guztiz estatiko edo konstanteak izan beharrik, beraz oklusio indarren ulermena gai konplexu bat da.

Oklusio indarrak ulertzeaz gain, praktika odontologikoan, hauen neurketak eta ebaluazioak funtsezkoak dira. Honela bada, pazienteen oklusio indarrak neurtzeko eta aztertzeko erabiltzen diren teknikak eta tresnak ere aztertu dira. Oklusio indarren ebaluazioak hortzetako gaixotasunak (aho inplanteen porrotak, egitura protesikoan haustura, bruxismoa, artikulazio tenporomandibularren gaixotasuna, besteak beste) diagnostikatzeko eta tratatzeko lagun dezake, horregatik hauek neurtzeko erabiliko diren teknika eta gailuen fidagarritasuna eta zehaztasuna kritikokoak dira.

Oklusio analizatzaile digitalak hozkada ematen den bitartean gertatzen diren kontaktuak eta horietan azaltzen diren indarrak neurtzeko gailuak dira. Gailu hauek presio sentore sentikorrek dituzte, eta hauek goiko eta beheko hortzerien arteko ukipen puntuetan kokatzen dira. Sentore hauek, hozkada ematean denbora errealean egindako indarra erregistratzen dute. Indarren datuak, denbora errealean ordenagailu pantailan bistaratu daitezke, eta horri esker, odontologoak grafikoki ikus dezake nola banatzen diren indarrak hozkadan zehar. Gailu hauen zehaztasuna eta fidagarritasuna alderdi kritikokoak direnez, merkatuan dauden analizatzaile digital hauen zehaztasuna ebaluatu beharra dago. Zentzu honetan, fabrikatzaileak egindako



balioztatze kliniko kontuan hartzea garrantzitsua da, baina ikerketa independenteak burutzea beharrezkoa da, fabrikatzailearenak kontrastatu eta osatzeko.

Odontologian ez ezik, gaur egungo medikuntzan oklusio indarrek pazientearen osasun orokorrean izan dezaketen eraginak gero eta interes handiago du. Duela gutxi egindako ikerketek, erakutsi dute hortzetako oklusio desegokiek arazo sistemiko batzuk eragin ditzaketela, hala nola, zefalea, loaren ezintasuna eta min kronikoa, besteak beste [1–5]. Beraz, doktorego tesi honetan aztertu diren oklusioaren biomekanika eta hortzen arteko kontaktu indarrak, diziplinarteko lankidetzaren desberdinen artean ikerketa eremu izaten jarraitzen dute. Hau horrela izanik, lan hau eremu horretan aurrerapauso bat izatea espero da.

## 1. SARRERA

---

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

---

### 2.1 SARRERA

Doktorego tesi hau UPV/EHU-ko Doktorego Eskolara atxikitako Proiektuen Ingeniaritza doktorego programan, UPV/EHU-ko Adierazpen Grafikoa eta Ingeniaritzako Proiektuak saileko Dental Engineering – Hortz Ingeniaritza (DEHI: [www.ehu.eus/dehi](http://www.ehu.eus/dehi)) ikerketa taldean garatu da. DEHI ikerketa taldearen ikerketa jarduera, bere izenak adierazten duen bezala, ingeniari-tza eta odontologia arloetara dago zuzenduta. Horrela bada, ikerketa talde honen jarduera, ZTBP EUSKADI 2030 planaren ikerketa eta berrikuntza politikarekin zein plan honen printzipio nagusienetako bat den RIS3 Euskadi txostenean zehaztutako fabrikazio aurreratua eta biozientziak nahiz osasuna lehentasun estrategikoekin lerrokatuta dago.

Ikerketa talde honen helburua ordenagailuz lagundutako diseinuaren eremuan eta honekin erlazionaturiko alderantzizko ingeniari-tza, diseinu generatiboa, fabrikazio gehigarria eta errealitate areagotua bezalako eremuetan ikerketa egitea da. Hala, doktorego tesi hau DEI ikerketa taldeak abian duen “Dinamika mandibularra” izeneko ikerketa lerroaren barruan garatu da.

Ingeniaritza eta osasunaren arteko loturak, azken urteotan indarra hartu du eta Bioingeniaritza izenez egin da ezagun. Bioingeniaritza, EAMBES-en (European Alliance for Medical and Biological Engineering and Science) arabera, ingeniari-tzako diseinu eta analisi printzipioak sistema biologikoetan eta teknologia biomedikoetan

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

---

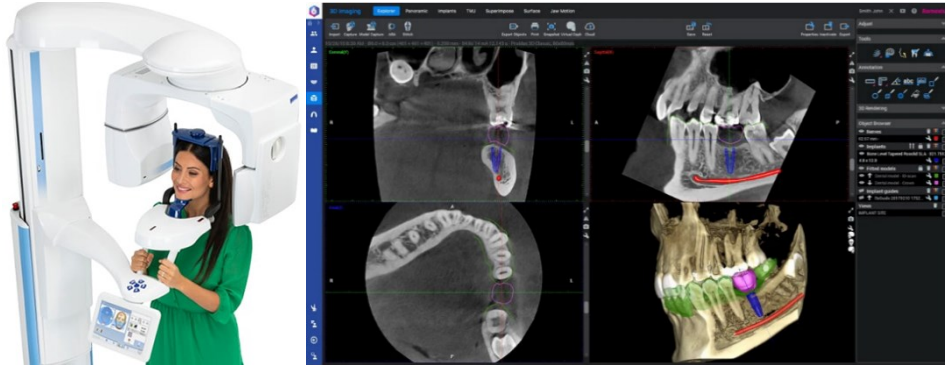
aplikatzen dituen diziplina da [6]. Tesi honetan lantzen diren gaiak teknologia biomedikoen artean kokatzen dira eta hauek azpitalde ezberdinetan sailkatu daitezkeen arren, lan honetan aztertu diren oklusio analizatzaile digitalak, odontologiarako instrumentazio biomediko eta irudien analisirako tresnen multzoan sartzen dira.

Odontologia Osasun-Zientziatako ezagutza arlo bat da eta aparatu estomatognatikoan gerta daitezkeen gaixotasunak tratatzeaz, hauen prebentzioaz eta diagnosiaz arduratzen da. Aparatu estomatognatikoa organo eta ehun multzo bat da, eta multzo honek gizakietan ohikoak diren funtzio fisiologikoak betetzea ahalbidetzen du: jan, hitz egin, ahoskatu, murtzikatu, irentsi, eta abar. Beraz, odontologoa, aurpegi-masailezur eremuaren eta bertako egituren gaitz edo desordenen ebaluazioa, diagnostia, prebentzioa eta tratamendua (kirurgikoa edo ez-kirurgikoa) zehazteaz eta gauzatzeaz arduratuko den profesionala da.

### **Odontologia digitala**

Teknologia digitala, lan arlo gehienetan bezala, odontologian lana egiteko modua eta metodoak aldatzen ari da, eta teknologia digitalizatuak hortzetako tratamenduak geroz eta hobeak izan daitezzen laguntzen dute [7]. Odontologia digitalaren bitartez lan ingurune berri bat sortzen da, non ordenagailuak, software programak eta hauekin integratutako odontologiarako gailuak erabiltzen diren. Tresna digital hauekin guztiekin, datuak, irudiak, ordezko hortz piezak lantzeko modu berritzaileak sortu dira.

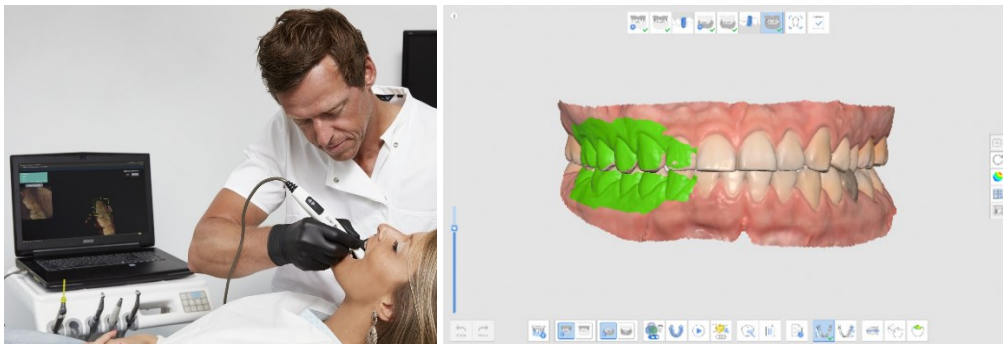
Odontologia digitalaren funtsezko elementu bat erradiografia digitala da (2-1. irudia), honek erradiografia tradizionalak, bereizmen handiko irudi digitalekin ordezkatzen ditu [8]. Erradiografia digitalaren bitartez, erradiazioarekiko esposizio txikiagoa, irudien berehalako bistaratzea eta datuak modu eraginkorragoan biltegitratzeko eta partekatzeko gaitasuna ahalbidetzen da [9, 10].



*Iturria: Norberak egindakoa, Planmeca katalogotik hartutako irudiak erabilia.*

**2-1. irudia.** CBCT “Cone Beam Computed Tomography” makina digitalarekin jasotako hortz eta masailezurren irudiak.

Ontologia digitalean, aho barruko eskaneatzea funtsezko beste teknika bat da. Eskaner intraorala deituriko gailuek (2-2. irudia), paziente baten ahotik hiru dimentsioko geometria zehatzak digitalizatzeko aukera ematen dute [11].



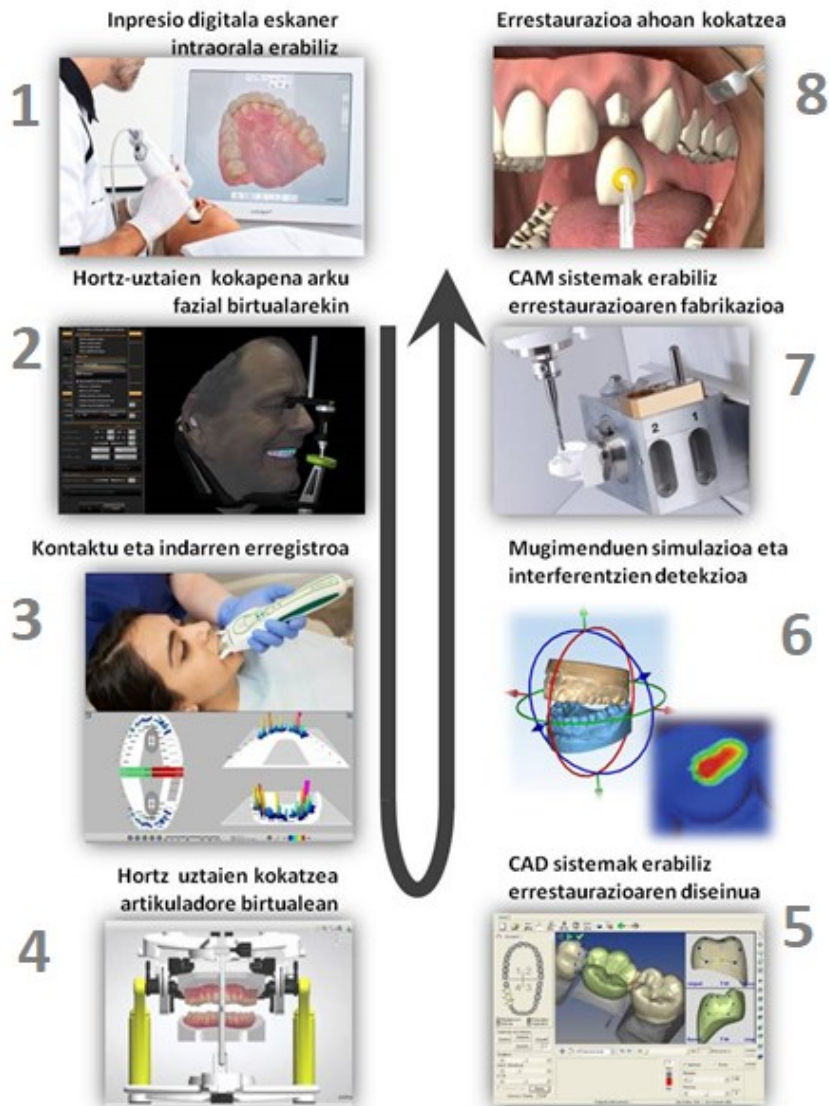
*Iturria: Norberak egindakoa, Medit katalogotik hartutako irudiak erabilia.*

**2-2. irudia.** Eskaner digitalarekin jasotako hortzerien 3 dimentsiotako gainazalen irudiak.

Eskaneaturiko geometriak, adibidez CAD/CAM teknologia digitalak erabiliaz [12] ordeztuak diren protesi pertsonalizatuak diseinatzeko (2-3. irudia), eta kirurgiarako gida pertsonalizatuak egiteko [13] erabiltzen dira,.

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

---



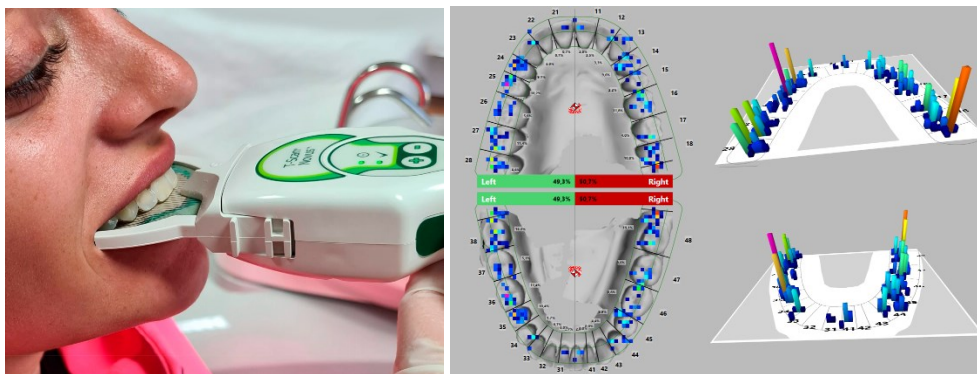
Iturria: [14] tesi lana.

**2-3. irudia.** Hartz ordezkoen sorrera, guztiz digitalizatua dagoen prozedura erabiliz.

Gainera, odontologia digitalak, odontologoek, hartz laborategien, eta pazienteen arteko komunikazioa hobetu du, datuak Internet bidez azkar eta zehatz bidali baitaitezke. Honek guztiak, hartz tratamendu askotan (hartz inplanteak [15],

protesien sorrera, ortodontzia digitala [16], irribarren diseinuaren plangintza [17], eta abar) iraultza teknologiko bat eragin du.

Lan honetan, odontologiako hainbat espezialitatetan eta hortz tratamendutan integratu daitezkeen oklusio analizatzaile digital izeneko gailu digitalak aztertu dira. Gailu hauen helburua, giza oklusio dinamikan zehar hortzen artean ematen diren kontaktuak detektatu eta bertan gertatzen diren indarrak neurtzea da (2-4. irudia). Odontologoak datu horiek ordenagailuko pantaila batean ikus ditzake, eta horri esker, pazientearen oklusioa sakonago uler eta azter dezake [18].



*Iturria: Norberak egindakoa T-Scan katalogoa eta programa erabiliz.*

### **2-4. irudia.** Oklusioa digitalizatzeko gailua.

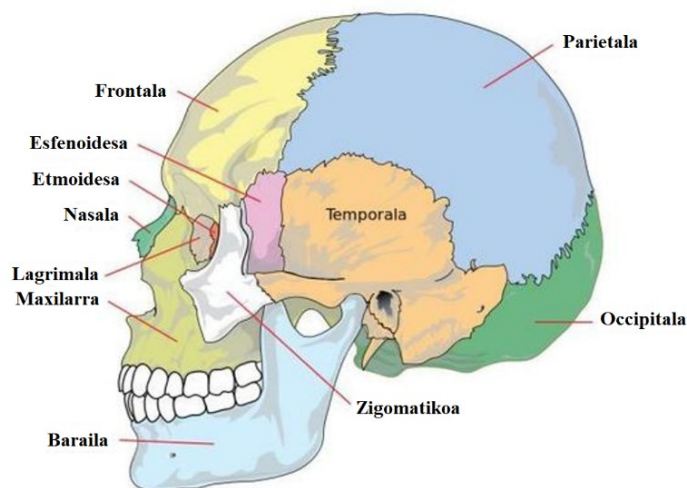
Analizatzaile digitalek zehaztasun egokia izatea ezinbestekoa denez, gaur arte merkatuan dauden gailuen zehaztasun konparaketa independenteak egin dira [19–23]. Baina horretaz gain, gailu hauen erabilera eta ematen duen informazioa zentzuz tratatu ahal izateko, jarraian azalduko diren oklusioaren biomekanikako elementuak eta kontzeptuak ulertzea ezinbestekoa da.

## 2.2 GIZA OKLUSIOKO FUNTSEZKO ELEMENTU BIOLOGIKOEN AZALPENA

Giza oklusioaren definizio asko daude, baina erraz ulertzeko honela definitu daiteke: ahoa ixteko mugimenduan zehar masailezurreko edo goiko hortzen eta barailako edo beheko hortzen arteko harremana eta kontaktua [24]. Ahoa ixteko mugimendua arrazoi askorengatik eman daiteke: murtxikatzeko, arnasa hartzeko, hitz egiteko, edo lo egiteko, besteak beste. Giza oklusioa prozesu biologiko konplexua da, eta hainbat elementu eta faktore biltzen ditu [25]. Jarraian giza oklusioan parte hartzen duten funtsezko elementu biologikoak laburki deskribatzen dira [26].

### 2.2.1 GAREZURRA

Garezurra buruaren barrunbea osatzen duen hezur egitura da. Garuna hartzeaz gain, aurpegiko eta ahoko egitura asko ere hartzen ditu. Ondorengo 2-5. irudian, garezurraren forma eta osagai garrantzizkoenak erakusten dira.



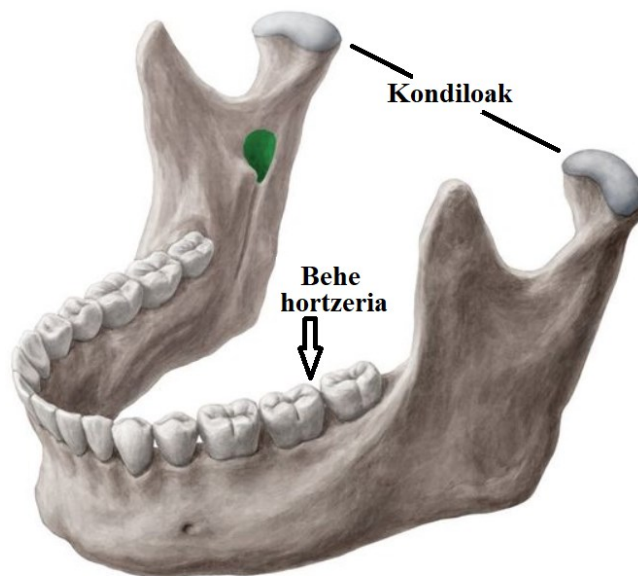
*Iturria: Norberak egindakoa [27] egokituz.*

**2-5. irudia.** Garezurraren irudia.



Garezurraren parte izanik, goiko eta beheko hortzei eusten dieten hezurak, hurrenez hurren goiko masailezurra (maxila) eta beheko masailezurra (baraila) dira. Hezur horien formak eta posizioak, neurri handi batean, oklusioa baldintzatzen dute [28].

Baraila edo beheko masailezurra ere deitua, giza garezurreko hezur mugikor bakarra da (2-6. irudia) eta murtxikatzeko nahiz hitz egiteko funtsezko hezurra da. Bere mugimendua konplexua da eta horregatik garezurraren hezur tenporalarekin kondiloetatik giltzatuta dago. Hezur tenporala eta barailaren lotura mugikor honi artikulazio tenporomandibularra (ATM) deitzen zaio. Beraz, jateko eta hitz egiteko behar diren masailezurren arteko mugimenduak ahalbidetzen dituena ATM-a da.



### **BARAILA**

*Iturria: Norberak egindakoa [27] egokituz.*

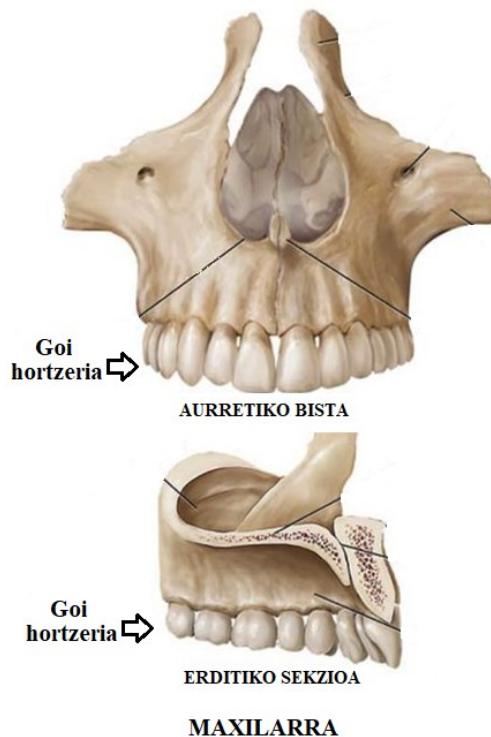
**2-6. irudia.** Barailaren irudia.

Maxilarra, edo goiko masailezurra ere deitua, hezur finkoa bat da (2-7. irudia). Ahosabaiko gangaren erdiko zatia da, eta hortzak goiko hortz albeoloetan sartuta ditu.

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

---

Gainera, goiko masailezurra sudur barrunbearen oinarria da, eta begi orbitaren zatia da, sudur egiturari eta begiaren kokapenari lagunduz [28].



*Iturria: Norberak egindakoa [27] egokituz.*

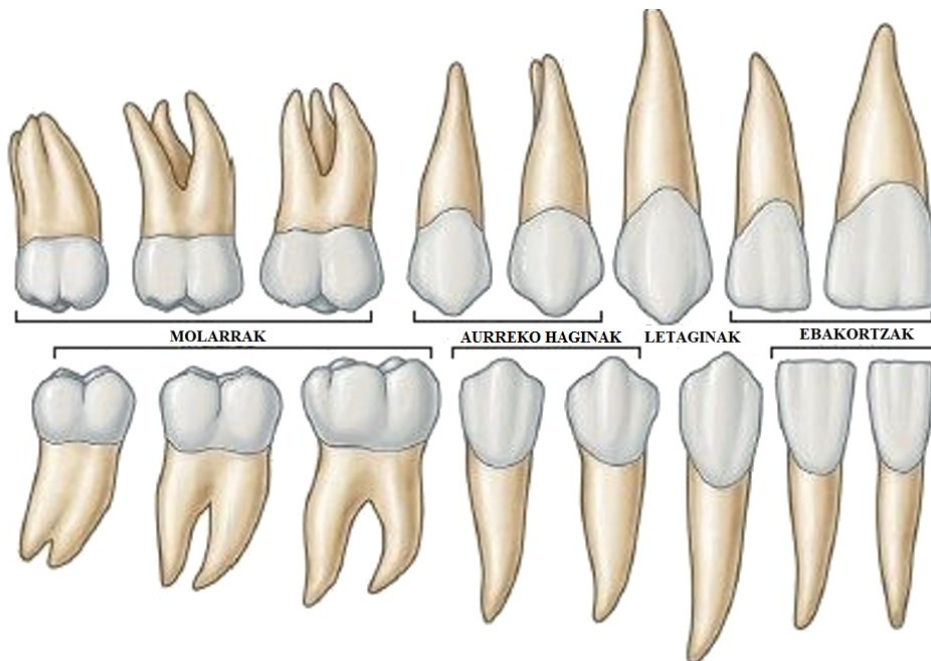
**2-7. irudia.** Maxilarraren irudia.

### 2.2.2 HORTZAK

Gizakien hortzak, aho barrunbeto baraila eta maxilar hezurretan kokatuta dauden eta oso gogorrak diren egitura anatomiko espezializatuak dira. Hortzen funtsezko zeregina elikagaien murtxikatzea da, baina fonazioan eta aurpegi itxuran ere izugarrizko garrantzia dute. Gizaki heldu batek guztira 36 hortz edo hagin izan ditzake, eta behe hortzerian kokatzen den hortz bakoitzeko, goiko hortzerian bere antagonista

bat du. Beraz, bere funtzioak ondo betetzeko, beheko hortzeria eta goikoa modu osagarri batean diseinatuta eta kokatuta daude.

Bere posizioa eta betetzen duten funtzioaren arabera, gizakien hortzak lau taldetan banatu daitezke (2-8. irudia).



*Iturria: Norberak egindakoa [27] egokituz.*

**2-8. irudia.** Gizakien hortzen taldekatzea.

**Ebakortzak:** aurrealdeko hortzak dira eta forma laua eta ebakitzaila dute. Goiko hortzerian lau ebakortz daude (erdiko bi eta alboko bi), eta beheko hortzerian hauen lau ebakortz antagonistak. Hortz hauek jaterakoan elikagaiekin kontaktuan sartzen diren aurrenak dira eta ebakitzeko forma zorrotza dute.

**Letaginak:** ahoaren izkinetan dauden hortz zorrotzak dira, bi goialdean eta bi behealdean. Forma konikoa dute eta elikagaiak zatitzeko eta urratzeko erabiltzen dira.

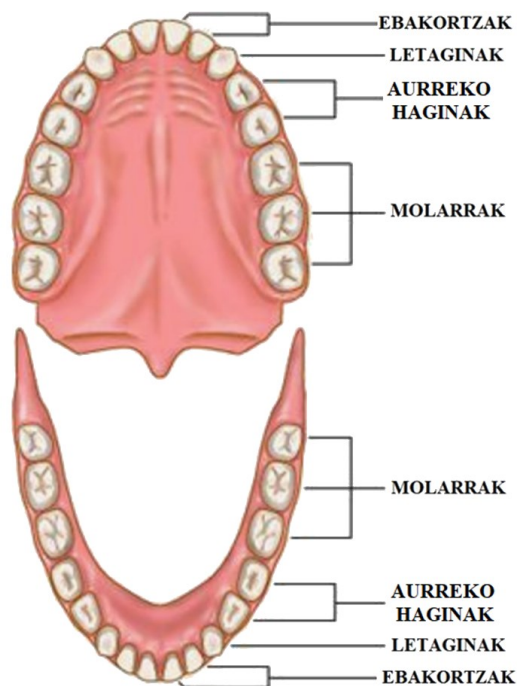
## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

---

**Aurreko haginak:** aurreko haginak, letaginen atzean kokatuak dauden hortz handiagoak eta lauagoak dira. Hortzeria erdi bakoitzean bi aurreko hagin daude, beraz lau goialdeko hortzerian eta lau behealdekoan. Aurreko haginak elikagaiak birrintzeko eta ehotzeko diseinatuta daude.

**Molarrak:** atzeko haginak ere deitzen zaie eta ahoko hortz pieza handienak eta zabalenak dira. Hortzeria erdi bakoitzak hiru molar ditu. Hortz hauek gainazal lauak eta zimurtsuak dituzte, eta elikagaiak modu eraginkorren birrintzeko erabiltzen dira. Hirugarren haginak, "epaiketa haginak" bezala ezagutzen direnak, sortzen azkenak dira, eta askotan sor ditzaketen ahoko espazio arazoengatik kentzen dira.

2-9. irudian giza heldu baten 36 hortzen posizioa erakusten da. Beheko hortzeriak, goian hortzeria antagonista du eta berdin gertatzen da hortz indibidual bakoitzarekin.

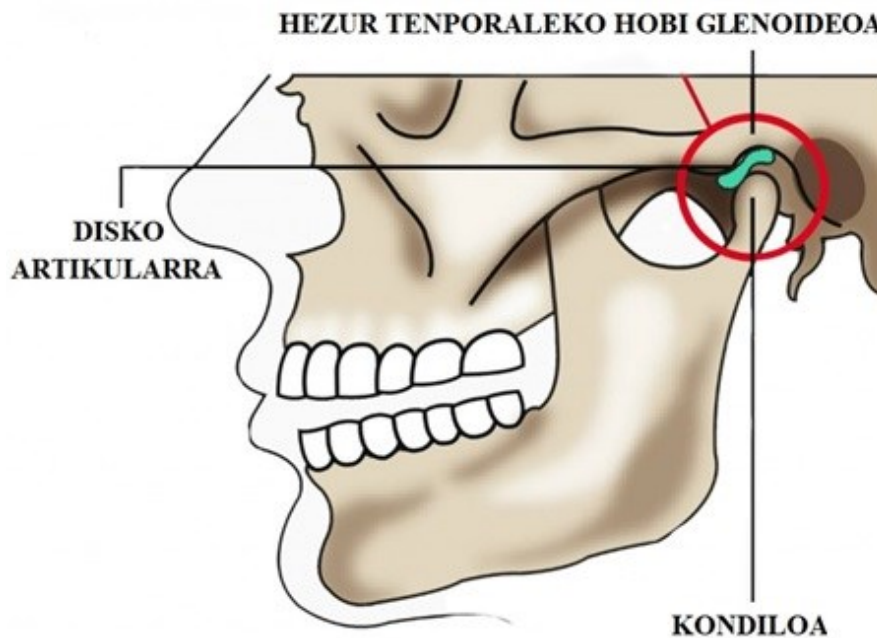


Iturria: Norberak egindakoa [27] egokituz.

**2-9. irudia.** 36 hortz eta hagin dituen gizaki helduen hortzeria.

### 2.2.3 ATM: ARTIKULAZIO TENPOROMANDIBULARRA

Artikulazio tenporomandibularra (ATM) oso espezializatua den giltzadura bat da, baraila eta garezurreko hezur tenporala elkarrekin lotzen du, eta bien arteko mugimendua ahalbidetu [24]. Giza gorputzaren artikulazio konplexuenetako bat da, eta murtzikatze, irenste eta hitz egite funtsezko funtzioetan ezinbesteko zeregina betetzen du [26, 29, 30]. ATM-aren zati garrantzitsuenak 2-10. irudian erakusten direnak dira.



*Iturria: Norberak egindako, [31] informazioa egokituz.*

**2-10. irudia.** ATM: artikulazio tenporomandibularra.

**Barailako kondiloa:** kondiloa hezur tenporalarekin artikulatzen den barailako zatia da. Barailak, bere adarretako kanpoko bi muturretan bi kondilo ditu, eta bi kondiloak hezur tenporalean dauden bi “hobi glenoidea” deitzen diren barrunbetan sartzen dira.

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

---

**Hobi glenoidea:** hobi glenoidea hezur tenporalean dagoen barrunbe ahur bat da. Bertan barailako forma ganbila duen kondiloa ahokatzen da eta bi hezur zati gogor hauen arteko kontaktuak malgutzeko, bien artean ehun kartilaginosoak daude.

**Disko articularra:** ehun kartilaginosoko disko honek, barailako kondiloaren eta hobi glenoidearen arteko kontaktua babesten du. Ahoa irekitzean eta ixtean, ahoarekin batera mugitzen da, eta mugimendu leuna eta urradurarik gabea ahalbidetzen du.

**Kapsula articularra:** kapsula articularra ehun konektiboko egitura bat da, ATM artikulazioa inguratu eta egonkor mantentzen du, eta giltzadura lubrifikatu eta elikatzen duen likido sinobiala du.

Goiko eta beheko hortzeriak zuzen lerrokatzeko, goiko masailezuraren eta barailaren posizio egokia funtsezkoa da. Horretaz gain, baraila eta maxilarrean arteko edozein mugimendu eta posizio lortzeko artikulazio tenporomandibularraren funtzioak ezinbestekoak dira [32–34]. ATM-an gertatzen diren mugimendu nagusiak honako hauek dira (2-11. irudia).

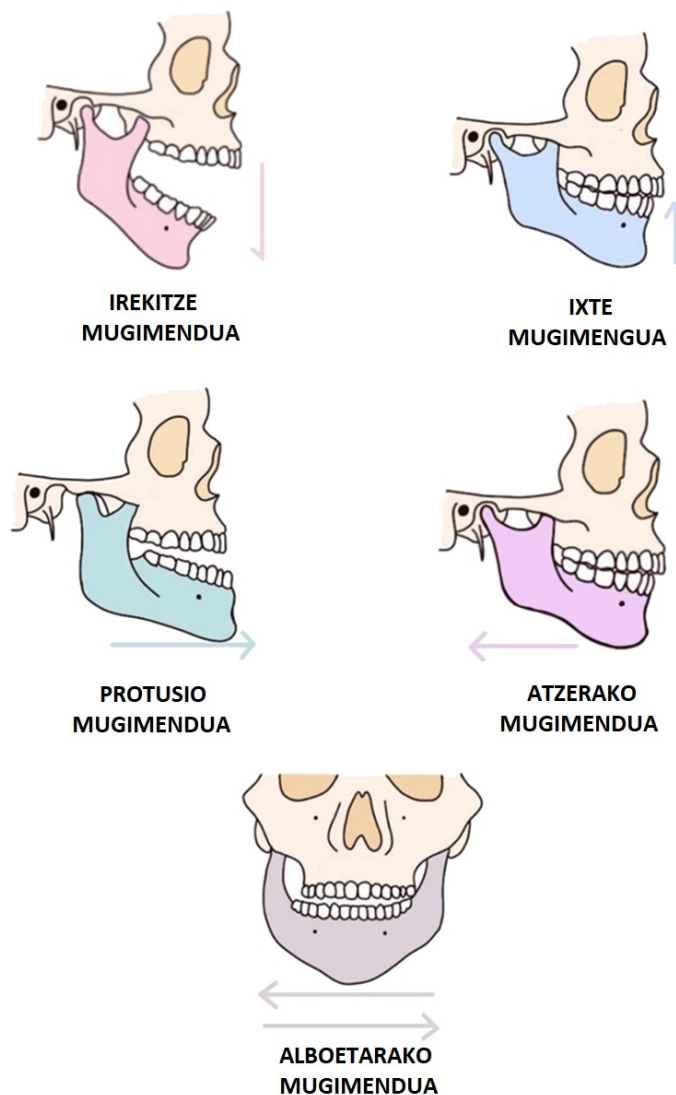
Irekitze mugimendua: mugimendu honek goiko eta beheko hortzen aldentzea eragiten du, baraila beherantz eta aurrerantz mugituz. Ahoa irekitzean, kondiloa beherantz eta aurrerantz mugitzen da hobi glenoidean zehar.

Ixte mugimendua: irekitzearen kontrako mugimendua da, goiko eta beheko hortzak hurbiltzeko baraila gorantz eta atzerantz mugitzen da. Kondiloa, hobi glenoidean zuen hasierako lekura itzultzen da.

Protrusio mugimendua: protrusioa baraila aurrerantz mugitzean ematen da, beheko hortzak goikoekiko aurrerantz eramanez.

Atzerako mugimendua: atzera egitea protrusioaren kontrako mugimendua da.

Alboko mugimendua: baraila alboetarantz mugi daiteke, eskuinerantz zein ezkerrerantz. Alboko mugimendua elikagaiak birrintzeko eta hitz egitean mugimendu espezifikoak egiteko baliagarria da.



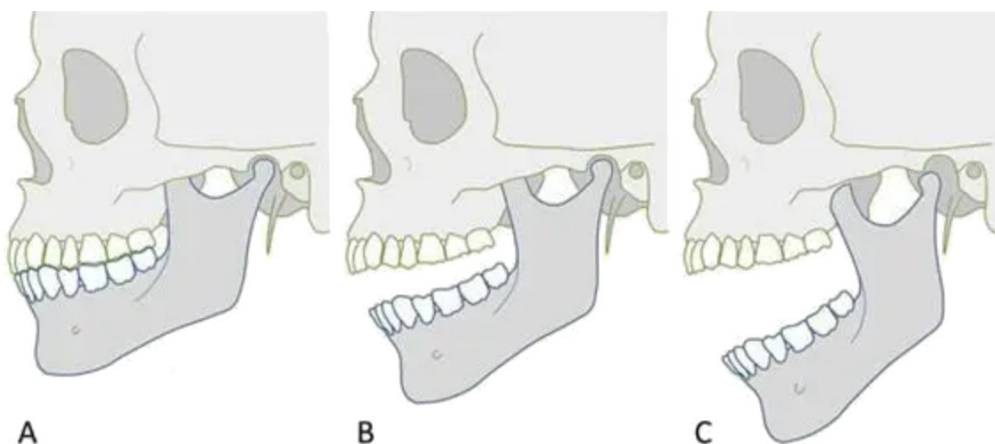
*Iturria: Norberak egindako, [35] informazioa egokituz.*

2-11. irudia. ATM-aren mugimendu nagusiak.

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

---

Ahoa gutxi (12-19 gradu arte edo 20-25 mm arte) ireki nahi bada (2-12. irudiaren A-tik B-ra), kondiloek teorikoki hobi glenoidearen barruan biraketa mugimendua bakarrik egiten dute (errotazio hutsa), baina ahoa asko irekitzeko edo mugimendu luzeagoak egiteko (2-12. irudiaren B-tik C-ra), kondiloek hasieran biraketa mugimendua eta gero hobitik aterata translazio mugimendua ere egiten dute (2-12. irudia).



*Iturria: Norberak egindako, [36] informazioa egokituz.*

**2-12. irudia.** ATM-aren ahoa irekitzeko mugimenduak. A; ahoa itxita, B; ahoa gradu gutxiz irekita. C; ahoa oso irekita.

Murtxikatzeko, arnasa hartzeko, hitz egiteko, edo lo egiteko, besteak beste mugimendu guzti hauen konbinazioak egiten dira.

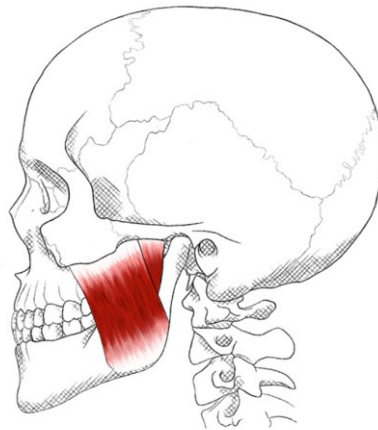
### 2.2.4 MURTXIKATZE GIHARRAK

Murtxikatze giharrak buruan eta lepoan kokatutako gihar talde bat dira, eta elikagaiak murtxikatzeko eta masailezurraren beste mugimendu batzuk lortzeko funtsezko eginkizuna betetzen dute. Gihar talde honek, ahoa ireki, itxi eta mugitu ahal izateko modu koordinatuan egiten du lan. Murtxikatzean, elikagaiak birrindu behar direnez,



hautako gihar batzuk indar handiak egiteko gaitasuna dute. Jarraian, murtxikatzeko gihar nagusien deskribapena eta irudiak azaltzen dira [26, 37].

**Gihar maseteroa:** gihar maseteroa murtxikatzeko giharrik indartsuena da eta aurpegiaren alboetan kokatuta dago, masail-hezuraren azpian hain zuzen ere (2-13. irudia). Gihar hori masailezurreko barailan ere txertatzen da, eta baraila altxatzeaz eta ixteaz arduratzen da. Elikagaiak birrintzeko behar den indarra egiteko garaian, maseteroa da uzkuertzen den gihar nagusia.



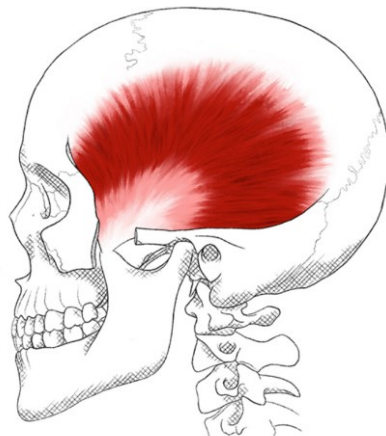
*Iturria: Norberak egindakoa, [38] egokituz.*

**2-13. irudia.** Gihar maseteroa.

**Gihar tenporala:** gihar tenporala buruko bi alboetan lokiak estaltzen dituen gihar handia da. Bi zati ditu; aurreko gihar tenporala eta atzeko gihar tenporala. Gihar hauek masailezurreko barailan eta hezur tenporalean txertatzen dira (2-14. irudia), eta masailezurra igotzearen eta ahoa ixtearen erantzule dira.

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

---

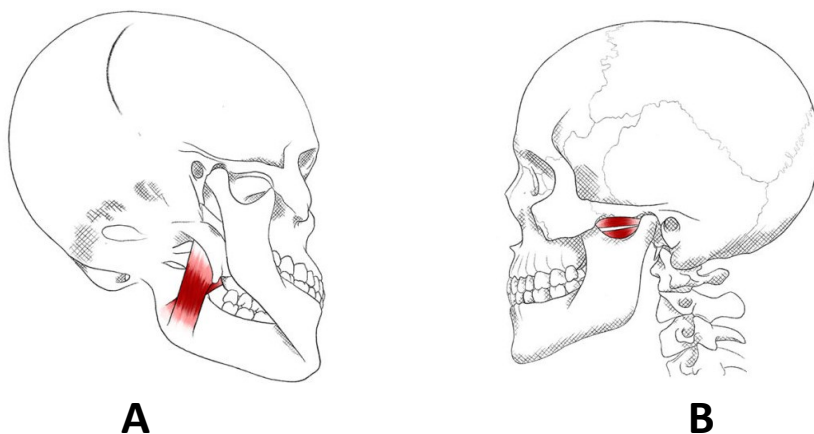


*Iturria: Norberak egindakoa, [38] egokituz.*

**2-14. irudia.** Gihar tenporala.

**Gihar pterigoideo mediala:** gihar hau masailezurraren barnealdean dago, artikulazio tenporomandibularretik gertu (2-15. irudia). Ahoaren alboko mugimenduetan eta murtxikatze mugimenduetan laguntzen duen giharra da.

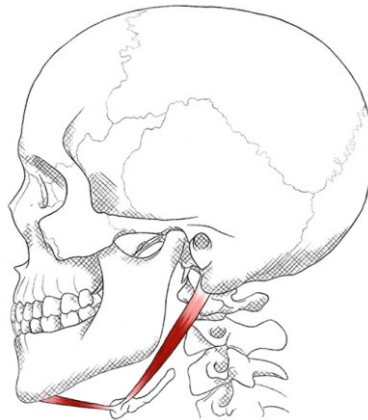
**Gihar pterigoideoa albokoa:** gihar hau erdiko pterigoideoaren ondoan dago eta masailezurraren alboko mugimenduetan eta murtxikatzean ere laguntzen du (2-15. irudia).



*Iturria: Norberak egindakoa, [38] egokituz.*

**2-15. irudia.** A; gihar pterigoideo mediala, B; gihar pterigoideo albokoa.

**Gihar digastrikoa:** gihar digastrikoa tarteko tendoi batekin konektatutako bi zuntz muskularrez osatuta dago. Barailaren behealdean eta lepoaren atzealdean txertatzen da eta ahoa irekitzen eta baraila altxatzen laguntzen du (2-16. irudia).



*Iturria: Norberak egindakoa, [38] egokituz.*

**2-16. irudia.** Gihar digastrikoa.

**Gihar milohioideoa:** V formako gihar fina da. Mingainaren azpitik, ahoaren behealdean kokatua, baraila altxatzen eta elikagaiak irensten laguntzen du.

Murtxikatze gihar guztietatik, maseterora eta tenporala giharrik indartsuenak dira eta konpresio indar handiak egiten direnean besteekiko nagusitzen dira. Besteen funtzioa, indar handiak egitea baino mugimenduen sorrera eta koordinazioa izan ohi da [39].

## 2.3 OKLUSIOAREN INGURUKO TERMINOLOGIA ETA DEFINIZIOAK

Oklusioa, goiko eta beheko hortzak elkarrekin nola egokitzen diren eta ahoko jardueretan nola jokatzeko duten azaltzen duen odontologiako terminoa da. Giza oklusioaz hitz egiten denean, oklusio estatikoa eta oklusio dinamikoa bereizi daitezke [24].

**Oklusio estatikoa:** ahoa itxita eta geldirik dagoenean, goiko hortzen eta beheko hortzen arteko ukipenari dagokio, hau da, hortzak kontaktuan egonda baina mugimendurik ez dagoenean. Oklusio estatiko ideal batean, hortzak modu uniformearekin eta orekatuan egokitu behar dira, eta horrela egonik, kontaktu indarrak ere modu orekatu batean banatu behar dira.

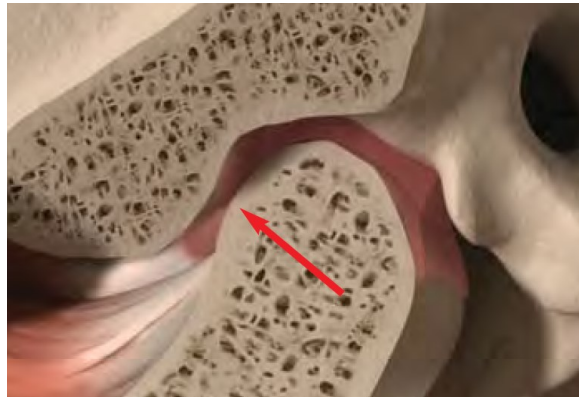
**Oklusio dinamikoa:** murtzikatzean, irenstean eta hitz egitean, goiko eta beheko hortzen arteko interakzioari oklusio dinamikoa deitzen zaio. Mugimendu horietan, hau da, irekitze-ixte, alboetarako eta aurrera-atzera mugimenduetan hortzek ez dute beti kontaktu berdina mantentzen, eta ukipen erlazio horri guztiari oklusio dinamikoa deitzen zaio.

### 2.3.1 TERMINOLOGIA

Oklusioaren inguruan erabiltzen den zenbait definizio eta terminologia ezagutzea komeni da, eta jarraian oklusioaren posizioaz hitz egiten denean erabiltzen diren zenbait terminoren definizioak zehazten dira [40].

**Erlazio zentrikoa:** hortzerien arteko posizioa kontutan hartu gabe, kondiloen egoera egonkor, eroso eta orekatu bati dagokion maxilar eta barailaren arteko posizio estatiko egonkor bat da (2-17. irudia) [41]. Egoera hau, hortz protesiak diseinatzeko,

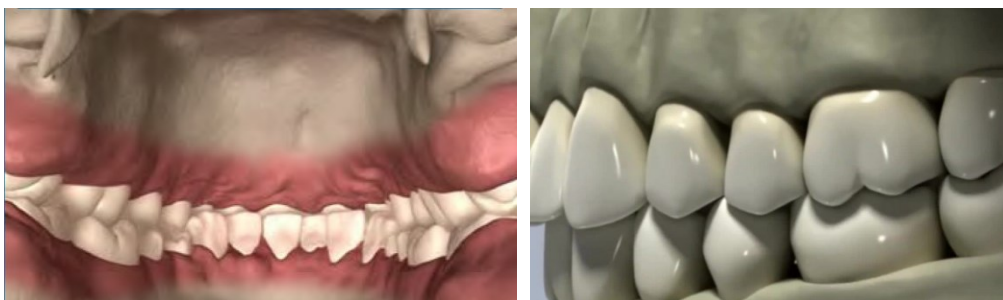
deskarga ferulak fabrikatzeko, edo ortodontzia tratamenduak planifikatzeko abiapuntuko posizioa izan ohi da.



*Iturria: Norberak egindakoa Bausch-en katalogoetako informazioa egokituz.*

**2-17. irudia.** Kondiloen posizioa erlazio zentriko posizioan daudenean.

**Interkuspidadzio maximoko posizioa (IMP):** pertsona batek hozkada normal bat eginez, ahoa modu naturalean ixten duenean, hortzeriak oklusio estatiko posizio horretan aurkitzen dira (2-18. irudia). Hortzeriak posizio horretara iristen direnean, hortzen arteko egokitzeak gerturatze maximoa du eta hortzerien arteko kontaktu puntuak maximizatu egiten dira.

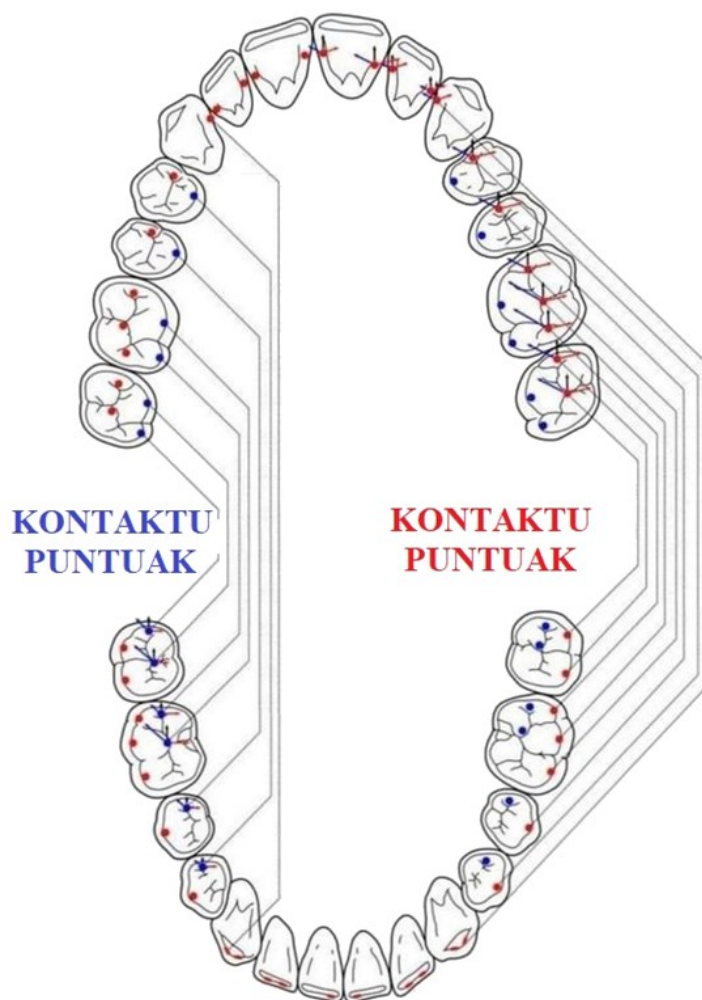


*Iturria: Norberak egindakoa Bausch-en katalogoetako informazioa egokituz.*

**2-18. irudia.** Aho barrunbetik eta albotik ikusitako hortzerien IMP-a.

### 2.3.2 HORTZEN ARTEKO KONTAKTU PUNTUAK ETA INDARRAK

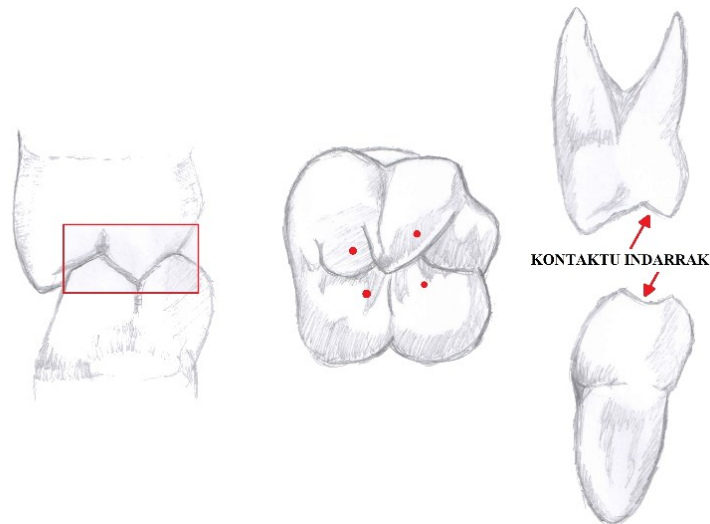
**Kontaktu puntuak:** ahoa ixten denean goiko eta beheko hortzak ukipenean sartzen diren hortzen gainazaleko leku espezifikoak dira (2-19. irudia). Idealki, oklusio estatiko egonkor batek, hortz uztaien atzeko eta aurreko kontaktu puntu ugari izan behar ditu, hortzetan zehar banatuta [24].



*Iturria: Norberak egindakoa, [27] informazioa egokituz.*

**2-19. irudia.** Goiko eta beheko hortz uztaien arteko kontaktu puntuak.

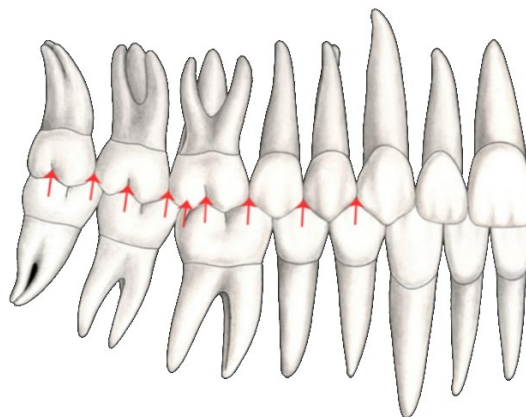
**Kontaktu indarrak:** ahoa ixtean ukipenean sartzen direnean hartz gainazaleko puntuetan azaltzen diren indarrak dira (2-20. irudia).



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**2-20. irudia.** Hagin bateko kontaktu puntuak eta kontaktu indarrak.

Idealki, hartz bakoitzean dagoen kontaktu indarra, hartzaren sustriaren norabide berdinean egotea komeni da, eta hortzeri guztian zehar azaltzen diren kontaktu indarrak puntu askotan banatuak eta simetrikoki orekatuak egotea komeni da (2-21. irudia) [24, 42].

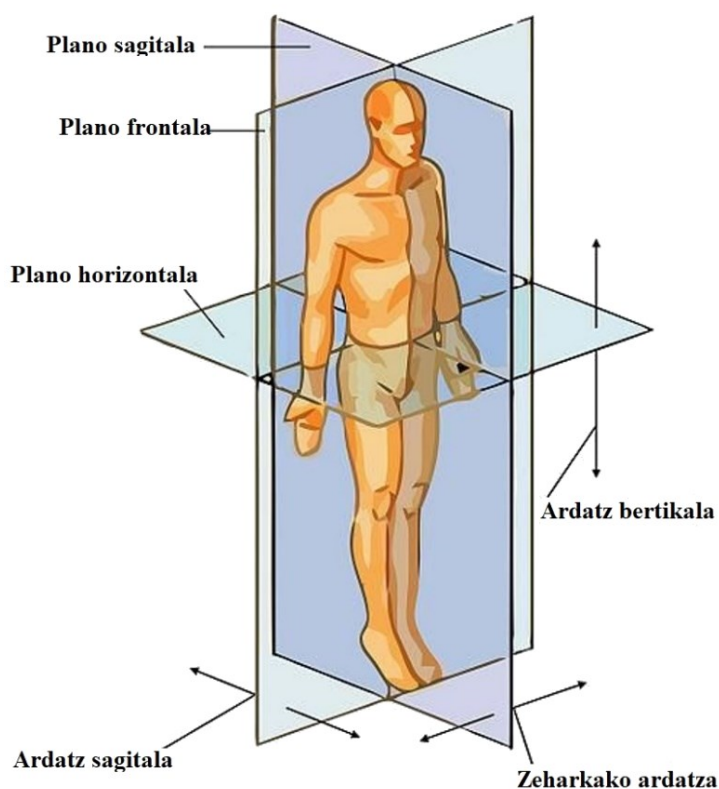


*Iturria: Norberak egindakoa, [27] informazioa egokituz.*

**2-21. irudia.** Hortzerian zehar sortzen diren kontaktu indarrak.

### 2.3.3 ERREFERENTZI GEOMETRIKOAK

Giza gorputzaren erreferentzia planoak, gorputz anatomia atal espezifikoetan banatzeko eta deskribatzeko erabiltzen diren erreferentzia imaginarioak dira. 2-22. irudian gorputzaren erreferentzia planoak ikus daitezke.



*Iturria: Norberak egindakoa, [27] informazioa egokituz.*

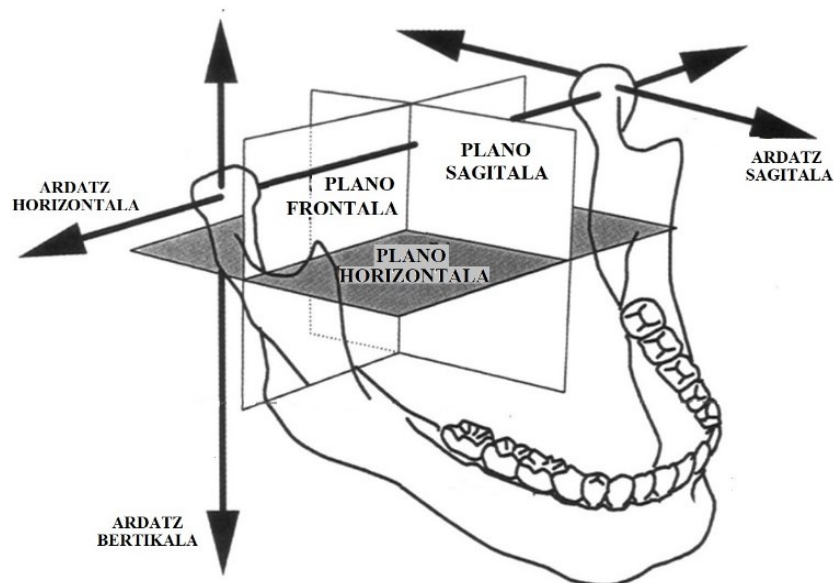
2-22. irudia. Giza gorputzaren erreferentzia planoak.

- a) **Plano sagitala:** plano honek gorputza bi zatitan banatzen du, ezkerre eta eskuina. Plano sagitalak gorputza bi zati berdinetan banatzen duenean, "plano sagital ertaina" edo "erdiko plano sagitala" esaten zaio.
- b) **Plano frontala edo koronala:** plano honek, gorputza aurreko eta atzeko zatietan banatzen du. Horrek gorputzaren aurrez aurreko ikuspegia sortzen du.



- c) **Plano horizontala edo zeharkakoa:** plano honek gorputza goiko eta beheko zatietan banatzen du, eta aurreko bi planoekiko perpendikularra da.

Erreferentzia plano berdin horiek gizakien beheko masail hezurrera eramanda adieraz daitezke (2-23. irudia) [24].



*Iturria: Norberak egindakoa, [43] informazioa egokituz.*

**2-23. irudia.** Giza gorputzaren erreferentzia planoak.

Giza gorputzaren planoak izateaz gain, badaude odontologiarako espezifikagoak diren eta gizakien buruan definitu daitezkeen plano imajinario batzuk ere (2-24. irudia) [44].

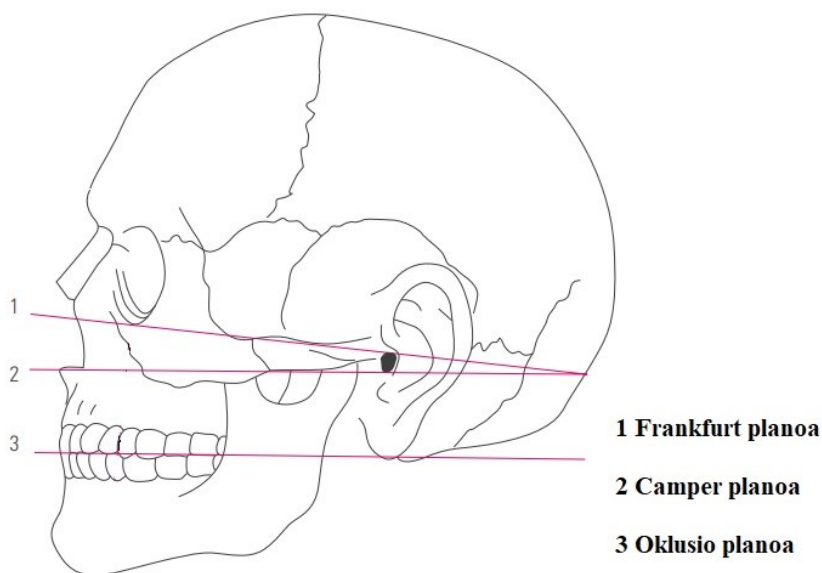
- a) **Frankfurt plano:** begi zuloen beheko ertzaren punturik baxuenetik, kanpoko entzumen hodian punturik altueneraino igarotzen den plano zelaformetrikoa da. Giza gorputzaren plano horizontalarekiko paraleloa dela kontsideratzen da.
- b) **Camper plano:** sudur hegaldaren beheko ertzetik, kanpoko entzumen hodian punturik baxueneraino igarotzen den plano da. Nahiz eta gizabanako bakoitzean

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

---

zerbait aldatu daitekeen, Camper planoaren eta Frankfurt planoaren arteko inklinazio angelua 15 gradu ingurukoa izaten da.

- c) **Oklusio plano**a: barailaren aurrealdeko ebakortzen goi ertzetatik, atzeko molarren kuspideetara doan plano imajinarioa da. Hurbilketa bat eginez, hortzen arteko kontaktu puntuak plano imajinario honetatik oso gertu geratzen direla kontsidera daiteke. Hortz errestaurazio osoak edo oso handiak egin behar direnean, oklusio plano a eta Camper plano a paraleloak direla kontsideratuz egiten da [45].



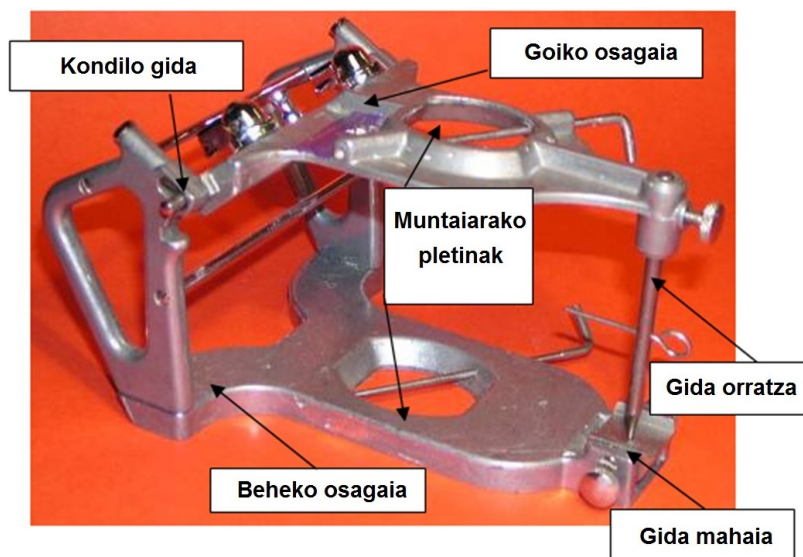
*Iturria: Norberak egindakoa, [35] informazioa egokituz.*

**2-24. irudia.** Odontologiako erreferentzia planoak.

## 2.4 ARTIKULADOREAK

### 2.4.1 ARTIKULADOREAREN FUNTZIOA ETA OSAGIAIK

Artikuladore mekanikoak, hortz oklusioan, goiko eta beheko hortzerien artean ematen diren mugimenduak simulatzeko eta aztertzeke erabiltzen diren gailuak dira. Tresna hauek hortz protesiak eta ortodontzia bezalako tratamenduak planifikatzeko eta gauzatzeko funtsezkoak dira (2-25. irudia). Artikuladore mekanikoak, artikulazio tenporomandibularra, masailezurra eta baraila ordeztu, horretarako masailezurreko eta barailako hortzerien igeltsuzko erreplikak finkatzeko osagai finko eta mugikor batzuk ditu, eta osagai horien arteko lotura motaren arabera, mugimenduen simulazio zehatzagoak edo sinpleagoak lor daitezke.



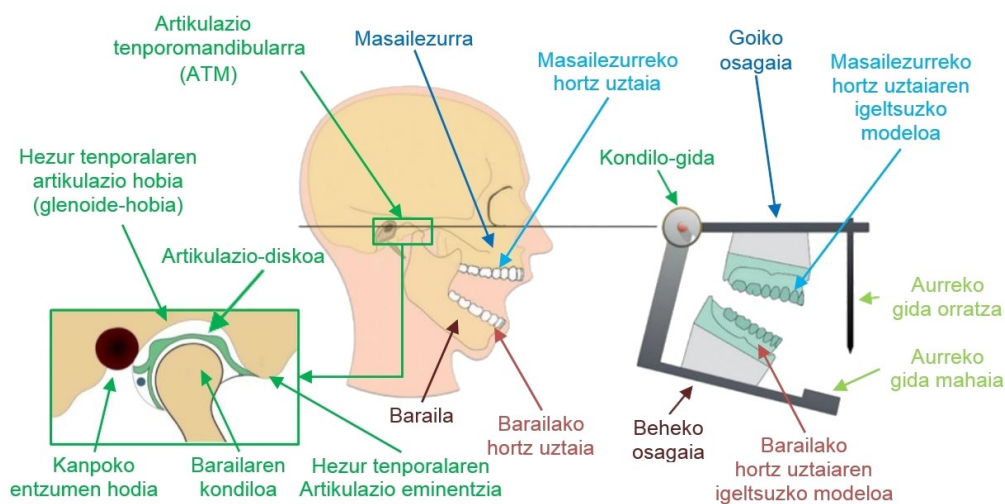
*Iturria: Norberak egindakoa [46] egokituz.*

**2-25. irudia.** Artikuladore mekanikoaren osagai nagusiak.

Urteetan zehar, anatomiaren, barailaren mugimenduen eta printzipio mekanikoen inguruko ezagutza areagotu ahala, egitura eta funtzionamendu printzipio

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

desberdineko artikuladore mekanikoak garatu dira. Hala ere, funtzionamendu printzipio desberdina izan arren, gaur egun erabili ohi diren artikuladore mekaniko gehienek antzeko egitura orokorra dute (2-26. irudia). Masailezurra ordeztzen duen goiko osagai mugikor bat eta baraila ordeztzen duen beste beheko osagai finko bat daude, eta bi osagai horiek artikulazioa tenporomandibularra ordeztzen duen kondilo gida bidez lotuta daude. Gainera, goiko eta beheko osagaien artean ezarritako tarte bertikala mantentzeko, beheko osagaiari lotutako mahai batekin (aurreko gida mahaia deiturikoa) kontaktatzen duen, goiko osagaiari lotutako hagaxka bat (aurreko gida orratza deiturikoa) dute. Horrela, artikuladore mekanikoen goiko eta beheko osagaien arteko mugimendua, kondilo gidek eta aurreko gida orratzak eta gida mahaiek gidatzen dute.



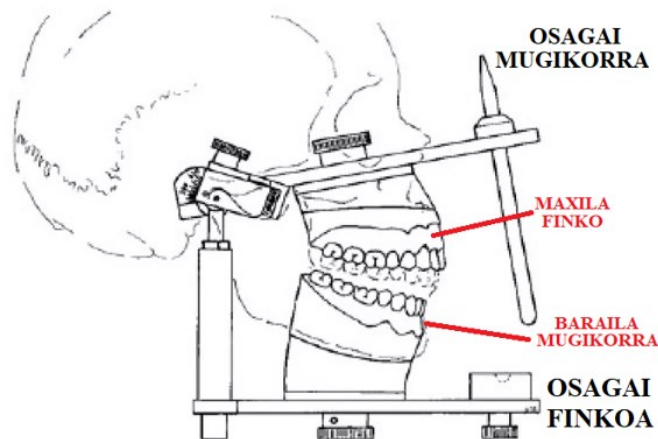
Iturria: Norberak egindakoa [47]-ko irudia egokituz.

**2-26. irudia.** Artikuladore mekanikoaren egitura orokorra.

Artikuladore mekanikoak, paziente bakoitzaren barailaren mugimendu indibidualak simulatzeko, programatu edo doitu egiten dira. Artikuladore mekanikoak simulatutako barailaren mugimenduen eta pazientearen barailaren mugimendu indibidualen arteko adostasun gradua zenbat eta handiagoa izan, printzipioz haren

laguntzarekin garatutako hortz protesiak orduan eta hobeto egokitzen dira. Eta ondorioz, odontologoek hortz protesia ahoan kokatzeko momentuan, doikuntza gutxiago egin behar izaten dituzte [41, 48–52].

Giza ahoaren mugimenduetan, goi hortzeria geldirik eta behe hortzeria mugimenduan egoten da, baina artikuladorearen erreproduzio mugimenduetan justu alderantzikoa da. Hala ere, teorian bi kasuetan goiko eta beheko hortzerien arteko mugimendu erlatiboa berdina izango da (2-27. irudia).



*Iturria: Norberak egindakoa [47]-ko irudia egokituz.*

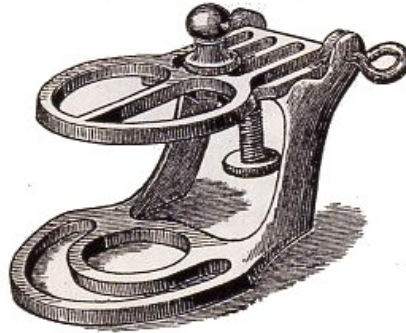
**2-27. irudia.** Artikuladore mekanikoaren mugimendu erlatiboa.

### 2.4.2 ARTIKULADORE MOTAK ETA SAILKAPENA

1805. urtean, Jean Baptiste Garriot zientzialariak artikuladoreen historiari hasiera eman zion [53, 54], eta haren atzetik, hainbat zientzialari ezberdinek, beraien ikerkuntza eta mekanismo propioekin, artikuladorearen kontzeptua garatzen joan dira [55–58].

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

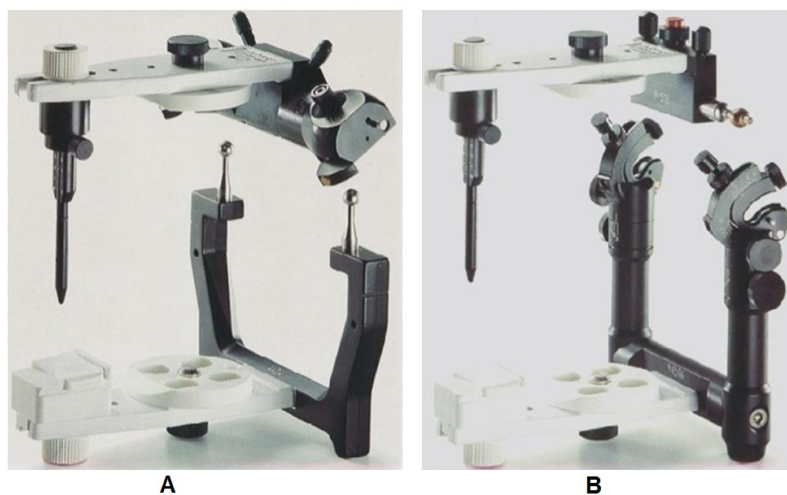
---



*Iturria: Norberak egindakoa [46] egokituz.*

**2-28. irudia.** Ezagutzen den historiako lehen artikuladore mekanikoa.

Artikuladore mekanikoen kontzeptualizazioan bi oinarritzko diseinu bereiz daitezke, Arcon eta ez-Arcon motak (2-29. irudia). Arcon artikuladore motan kondiloak simulatzen dituen elementuak beheko osagaian kokatuta daude eta goiko osagaian garezurraren hobi glenoideak simulatzeko elementuak kokatzen dira. Ez-Arcon diren artikuladore mekanikoen kasuan alderantziz da, kondiloak goiko osagaian eta hobi glenoideak beheko osagaian kokatzen dira.



*Iturria: Norberak egindakoa [46] egokituz.*

**2-29. irudia.** A; Arcon motako artikuladorea, B; ez-Arcon motako artikuladorea.

Arcon eta ez-Arcon artikuladoreen arteko desberdintasun estatiko eta zinematikoak aztertu diren zenbait ikerkuntzetan ondorioztatzen denez [59, 60], nahiz eta teoriarik bere geometriaren antzekotasunagatik, Arcon artikuladoreek simulazio mekaniko zehatzagoa lortu, praktika klinikoan desberdintasunik ez da nabaritzen.

“Journal Of Prosthetic Dentistry” aldizkariak, 1999 urtean, artikuladore mekanikoen sailkapen bat argitaratu zuen, eta hauek lau motatan banatu zituen [61].

### I. mota: artikuladore ez doigarriak

Erregistro bakarra onartzeko gai den joera sinpleko tresna da, eta bakarrik mugimendu bertikala egin dezake. Instrumentu ekonomikoak dira, eta giltzadura artikuladorea edo artikuladore sinpleak ere deitzen zaie (2-30. irudia).



*Iturria: Fabrikatzailearen katalogotik hartuta.*

**2-30. irudia.** Technoflux markako artikuladorea.

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

---

### II. mota: batezbesteko balioak dituen artikuladorea

Mugimendu horizontala eta bertikala ahalbidetzen duen tresna da, baina ez du artikulazio tenporomandibularren mugimendua orientatzeko gaitasunik (2-31. irudia), eta gizakien neurri biologikoen batezbestekoak hartuta diseinatzen dira kondiloen mugimenduak.



*Iturria: Fabrikatzailearen katalogotik hartuta.*

**2-31. irudia.** Mestra markako artikuladorea.

### III. mota: artikuladore erdi-doigarriak

Kondiloen ibilbidea simulatzen duen gailua. Mugimendu osorako edo mugimendu batzuetarako, giza banakoen anatomiaren datu zehatz partikularrak erabili ordez, batezbesteko balio batzuk erabiltzen ditu (2-32. irudia).





*Iturria: Fabrikatzailearen katalogotik hartuta.*

**2-32. irudia.** Artex markako artikuladorea.

IV. mota: artikuladore guztiz doigarriak

Hiru dimentsioko erregistroak onartzen dituen tresna da. Tresna hauetan, edozein gizabanakoren artikulazio tenporomandibularra simulatu daiteke, horretarako gizabanako horren anatomiaren datu geometriko zehatzak erabiliz (2-33. irudia).



*Iturria: Fabrikatzailearen katalogotik hartuta.*

**2-33. irudia.** Panadent markako artikuladorea.

### 2.4.3 PAZIENTEEN ERREGISTROAK ETA ARTIKULADOREAREN PRESTAKUNTZA

Paziente bakoitzaren hortzerien erreplika eta beraien arteko oklusioaren ezaugarriak artikuladore mekanikoetara transferitzeko, estandarizatuko zenbait pauso jarraitu behar dira (2-34. irudia). Horretarako, artikuladore mekaniko motaren arabera prozedura desberdinak erabiltzen diren arren, oro har, honako urrats hauek jarraitzen dira [41, 49, 50].



Iturria: Iturria: Norberak egindakoa [14] egokituz.

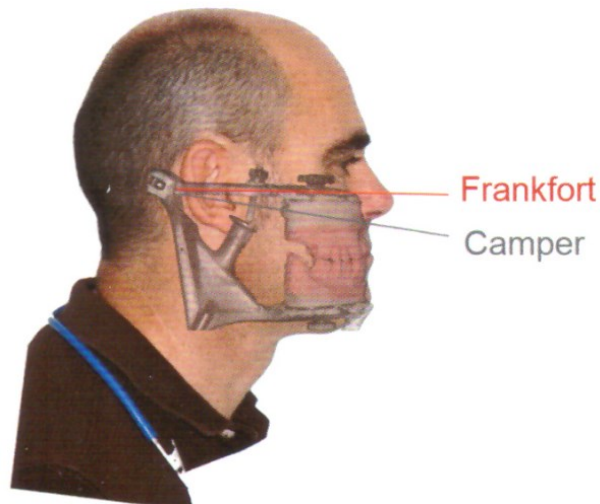
2-34. irudia. Artikuladorearen muntaketa egiteko jarraitu beharreko urratsak.

1. Pazientearen aho tamainara egokitutako urkila estandar bat aukeratu eta gogortze denbora laburra behar duten silikona baten laguntzaz goiko eta beheko hortz uztaien aurreneko inpresio bat hartzen da.
2. Lehenengo urratsean hartutako inpresioan, hortzerien igeltsuzko aurreneko erreplika bat sortzen da, eta igeltsuzko erreplika hauek erabilia, pazientearen hortz neurritara hobeto egokitutako urkila pertsonalizatu bat sortzen da.
3. Urkila pertsonalizatua, eta kalitatezko silikona bat erabilia, pazientearen behin betiko hortz uztaien inpresio berri bat hartzen da.
4. Masailezurreko eta barailako hortz uztaien artean kokaturiko hozkada erregistroak hartzeko material baten bidez, ahoa itxi eta baraila interkuspidozko maximoko posiziora eramaten da, horrela kokapen horretako bi hortz uztaien arteko posizio erlatiboa erregistro materialean erregistratuta geratzen da.
5. Hirugarren pausoan sortutako hortz uztaien inpresioekin, kalitate handiagoa eta gogortasun maila kontrolatua duten igeltsuzko modelo behin betikoak lortzen dira. Igeltsuzko modelo behin betiko hauek, hortzen geometriak xehetasun handiz erreplikatzeko dituzte.
6. Arku fazial izeneko instrumentu mekaniko bat erabiliz, masailezurreko hortz uztaiak, erreferentzia puntu anatomiko batekiko edo batzuekiko duen erlazio espaziala hartzen da. Transferentzia mahaia izeneko beste instrumentu bat erabiliz, masailezurreko hortz uztaiaren igeltsuzko modeloa, arku fazialak erregistratu duen erlazio espazial berdina mantenduz, artikuladore mekanikoaren goiko zatian finkatzen da.
7. Azkenik, laugarren pausoan erregistratutako hozkada erregistroak erabiliz, barailaren igeltsuzko hortz uztaiaren masailezurraren igeltsuzko hortz uztaiarekiko kokatu eta artikuladorearen beheko zatira finkatzen da.

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

---

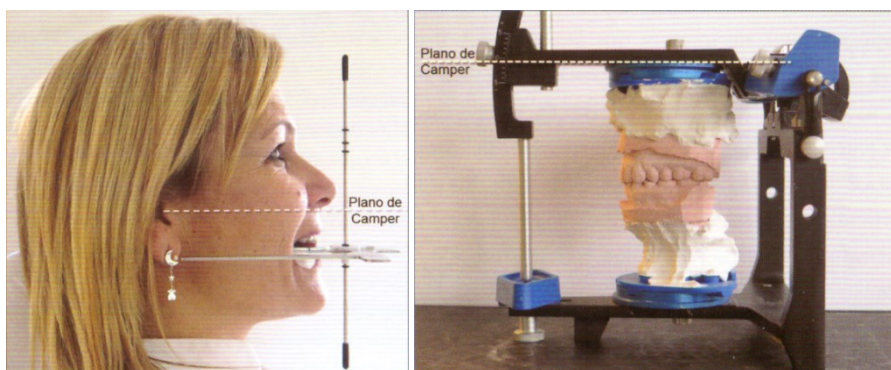
Merkatuan existitzen diren arku fazial gehientsuenetan, artikuladorearen goiko osagaiaren plano horizontala, pazientearen Frankfurt plano zefalometrikoarekin bat etorriko den muntaia egiten da (2-35. irudia).



*Iturria: Norberak egindakoa [25] egokituz.*

**2-35. irudia.** Artikuladorearen goiko osagaiaren plano eta Frankfurt plano bat datoz.

Artikuladorearen goiko osagaiaren plano horizontala, pazientearen Camper planoarekin bat egitea nahi bada, horretarako bereziki diseinatutako arku fazialak erabili behar dira (2-36. irudia).



*Iturria: Norberak egindakoa [25] egokituz.*

**2-36. irudia.** Camper plano pazientean eta artikuladorean.

## 2.5 OKLUSIO ANALIZATZAILE DIGITALAK

### 2.5.1 SARRERA

Oklusio indarraren ikerketak historia luzea du, 1681. urtean, Borellik gnatodinamometro bat diseinatu eta murtxikatze indarrak aztertu zituen [62]. Ondoren, hainbat ikertzaileek gailuak garatzen jarraitu zuten, eta gaur egun, oklusioko kontaktu indarrak neurtzeko gailu elektronikoak erabili daitezke.

Gailu hauek, konprimatuz energia elektriko sortzeko gaitasuna duten sentsoareak erabiltzen dituzte. Sortutako energia elektriko hori kuantifikagarria denez, neurtua izan den energia eta aplikatua izan den indarrean arteko baliokidetasun erlazio bat aplikatuz, oklusioan egon den indar mekaniko maila jakin daiteke.

Gailu hauek sentsoarearen izaeraren arabera sailkatu daitezke [63], eta ondorengo zerrendak sentso izaera desberdinekin fabrikatutako gailuak sailkatzen ditu [64].

Deformazio neurgailu transduktorea duten gailuak:

- Dentoforce 2 (ITLAB, Suedia)
- IDDK (Kratos, Brasil) (2-37. irudia)



*Iturria: [65] erreferentziatik hartutako irudia.*

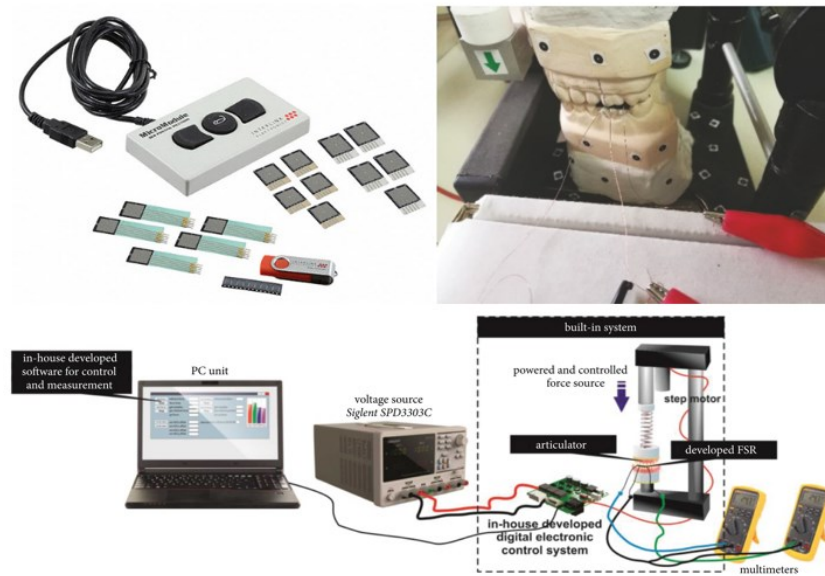
**2-37. irudia.** 100 kgf-ko gaitasuna duen IDDK dinamometro digitala.

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

---

### Transduttore piezoerresistiboa duten gailuak:

- FSR 151 (Interlink Electronics Inc., Amerikako Estatu Batuak) (2-38. irudia)



Iturria: [66] erreferentzietatik hartutako irudia.

**2-38. irudia.** FSR 151 sentsoareekin eginiko indar neurketa.

- Flexiforce (Tekscan, Amerikako Estatu Batuak) (2-39. irudia)

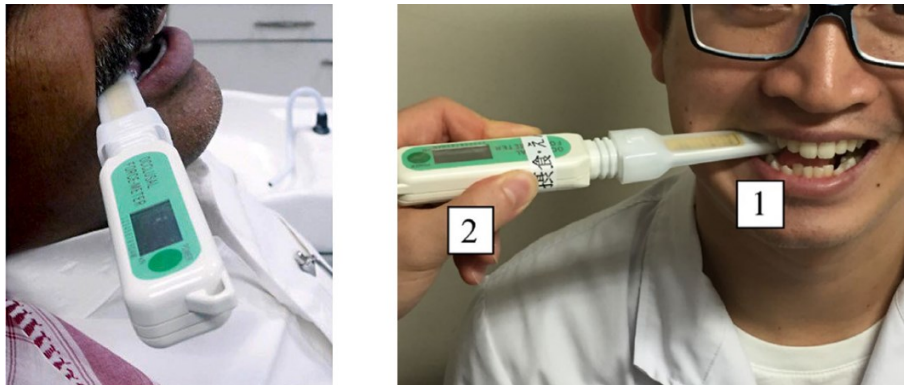


Iturria: [67] erreferentzietatik hartutako irudia.

**2-39. irudia.** Flexiforce sentsoareekin eginiko indar neurketa.

Indar transduktorea duten gailuak:

- GM10 (Nagano Keiki, Japonia) (2-40. irudia)

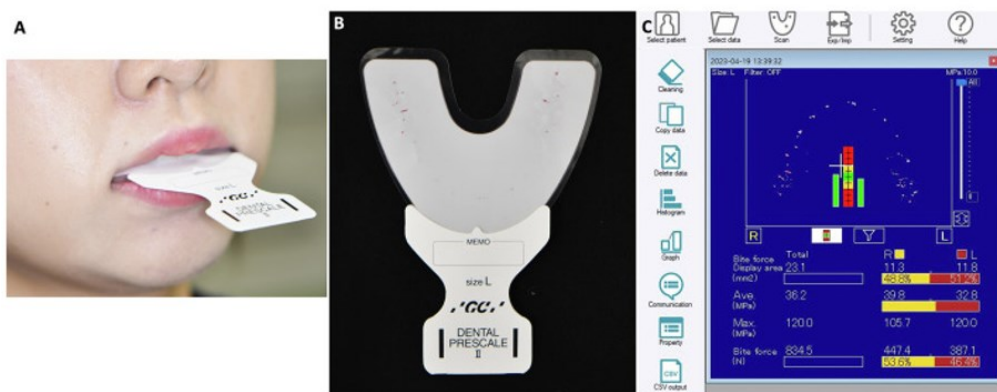


Iturria: [68] eta [69] erreferentziatik hartutako irudiak.

**2-40. irudia.** GM10 indar transduktorearekin eginiko indar neurketa.

Presio sentikor filma duten gailuak:

- Dental Prescale (Fuji Film, Tokio, Japonia) (2-41. irudia)



Iturria: [70] erreferentziatik hartutako irudiak.

**2-41. irudia.** Dental Prescale presio sentikor filmarekin eginiko presio neurketa.

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

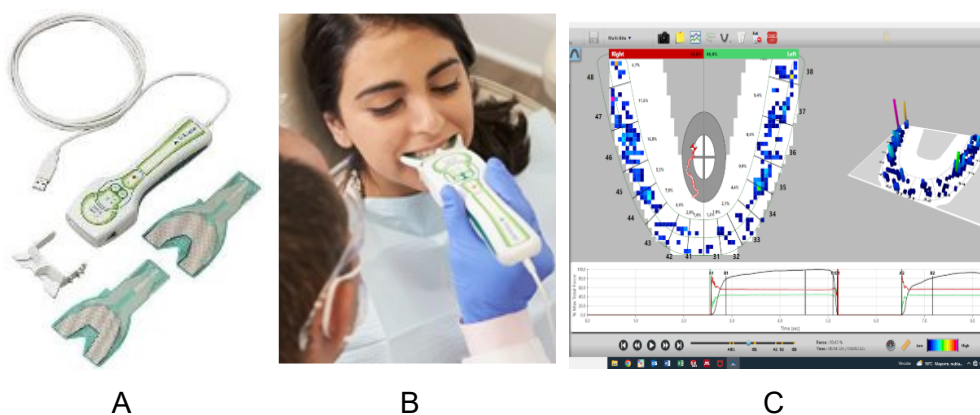
---

### Transduttore piezoelektrikoa duten gailuak:

- T-Scan (Tekscan, Inc., Hego Boston, Amerikako Estatu Batuak)
- OccluSense (Dr. Jean Bausch GmbH & Co., Alemania)
- Accura (Dmetec, Bucheon, Hego Korea)

Hortz kliniketan sortu daitezkeen beharretarako, erabilera errazena eta osoena eskaintzen dutenak, transduttore piezoelektrikoa duten neurketa gailuak dira. Transduttore piezoelektrikoa erabiliz, oklusio indarrak neurtzen dituzten gailuei “oklusio analizatzaile digitalak” deitu zaie eta zenbait enpresek gailu hauek hortz kliniketako merkatuan komertzializatzeko apustu garbia egin dute. Ondorengo 2-42. irudian, 2-43. irudian eta 2-44. irudian, oklusio analizatzaile digital hauen fabrikatzaileak beraien web orrietan eskaintzen duten informazio ikus daiteke.

a) **T-Scan sistema** (2-42. irudia): (<https://www.tekscan.com/products-solutions/systems/t-scan-novus>)



*Iturria: Norberak egindakoa, [71] erreferentzietatik hartutako irudiak erabilia.*

**2-42. irudia.** T-Scan sistema. A, T Scan dispositiboa eta sentsorea. B, paziente bati hartutako erregistroa. C, software programa.

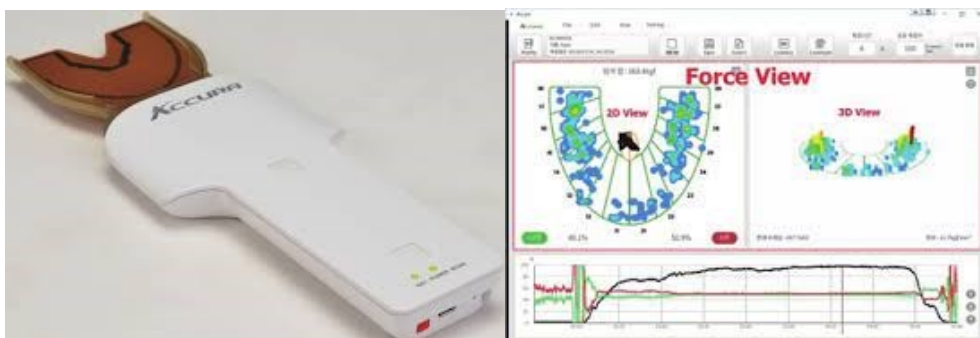


b) **OccluSense sistema** (2-43. irudia): (<https://es.occlusense.com/>)



*Iturria: Norberak egindakoa, [72] erreferentzietatik hartutako irudiak erabilia.*  
**2-43. irudia.** OccluSense sistema. A, OccluSense dispositiboa eta bere sentsorea. B, paziente bati hartutako erregistroa. C, software programa.

c) **Accura sistema** (2-44. irudia): ([http://www.dmetec.com/e\\_index.php](http://www.dmetec.com/e_index.php))



*Iturria: Norberak egindakoa, [73] erreferentzietatik hartutako irudiak erabilia.*  
**2-44. irudia.** Accura sistema; Accura dispositiboa eta bere sentsorea, software programa.

### 2.5.2 T-SCAN OKLUSIO ANALIZATZAILE DIGITALA

T-Scan sistema, 1984. urtean sortu zen, eta ordutik, garapen eta hobekuntza nabarmena izan du. Hardware edo eskuko piezaren azken bertsioak T-Scan Novus izena du, v10 bertsioa duen software programa propioa du eta bi tamainako (“small” eta “large”) sentsore piezoelektikoak erabili ditzake (2-45. irudia).



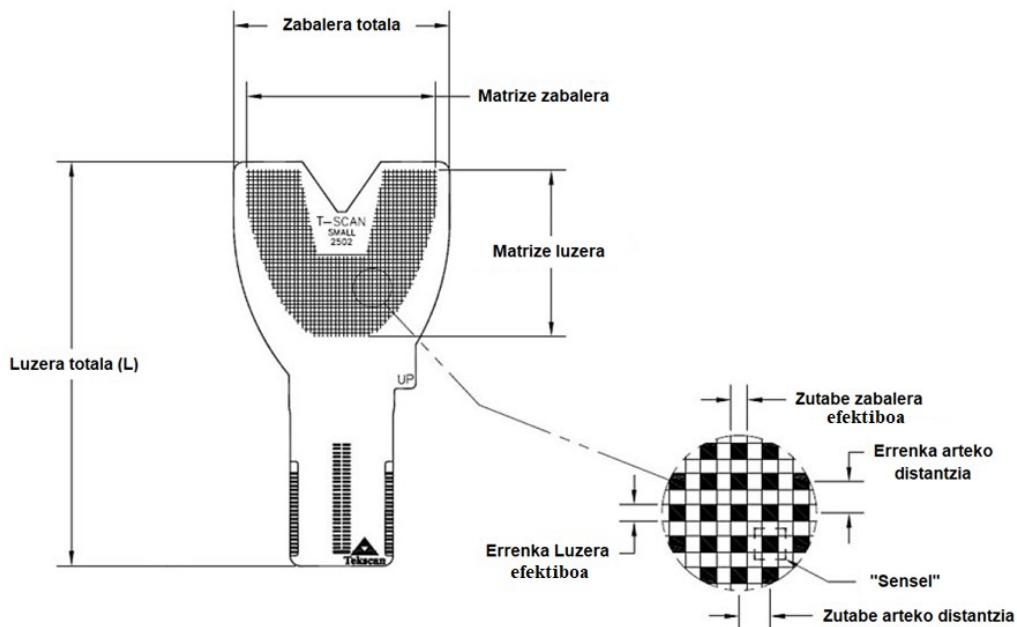
*Iturria: Norberak egindakoa, [71] erreferentzietatik hartutako irudiak erabilia.*

**2-45. irudia.** T-Scan Novus sistema osatzen duten 3 elementu nagusiak: eskuko pieza, sentsorea eta software programa propioa.

Sistema honi esker, oklusioa edo hozkada ematen den denbora tartean, hartz antagonisten artean ematen diren kontaktu puntuak eta horietan sortzen diren indarrak neurtu ditzakete odontologoek. Denboran zehar neurtutako kontaktu puntu eta indar guztiak, gertatzen ari diren une errealean ikusteaz gain, pazientearen fitxan grabatuta geratzen dira. Ondoren, grabatutako datu sekuentzia guztiak behin eta berriro ikusi eta aztertu daitezke, eta gainera, tratamendu kliniko bat ematen den bitartean, egun desberdinetan egin diren oklusioaren neurketak konparatzeko erraztasunak eta baliabideak eskaintzen ditu.

### a) HD T-Scan Novus sentsoare piezoelektrikoa

Sentsorea poliester materialeko bi kapa meherekin dago osatuta, eta hauen tartean material piezoelektrikoa kokatzen da, ilara eta zutabetan antolatuta. Ilara eta zutabeen intersekzioetan, 1,27 mm-tako aldea duten karratutxoak definitzen dira eta hauei "sensenl" izena eman zaie (2-46. irudia). "Sensenl" bakoitzak 0,97 mm-tako aldea duen azalera efektiboko karratuak ditu, eta karratu efektiboetatik kanpora ezartzen den presioa edo indarra, detektatu gabe geratzen da.



*Iturria: Norberak egindakoa, [74] erreferentzietatik hartutako irudiak erabilia.*

#### 2-46. irudia. T-Scan Novus sentsoaren neurriak eta "sensenl".

Hauetako "sensenl" bakoitza, indarra neurtua izan daitekeen azaleraren unitate minimoa da. Sensenlak jasotzen duen konpresio indarraren intentsitatearen arabera, deformatu egiten da eta deformazioaren adinako seinale elektriko bat sortzen du voltiotan.

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

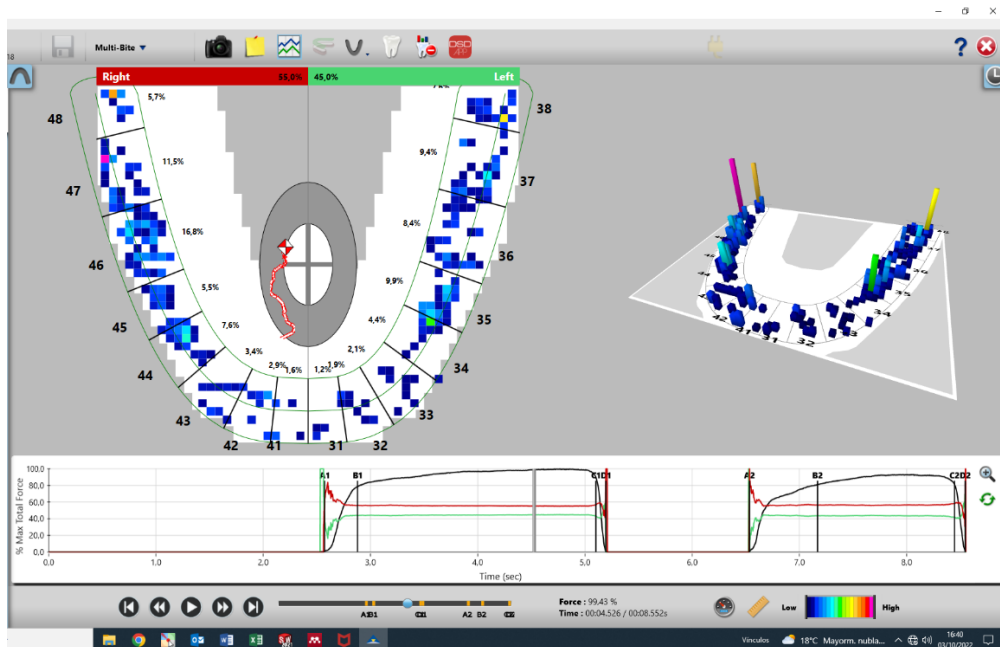
Seinaleak elektronikoi irakurri eta voltio mailaren arabera, informazio hori datu numeriko batera pasa eta software programan grabatuta geratzen da. Sortzen duen seinale elektrikoak, 256 intentsitate maila izan ditzake, eta denboran zehar, 333 indar-datu segundoko irakurri ditzake. 2-1. taulan, T-Scan Novus eskuko piezarekin bateragarriak diren, bi sentsore tamainen neurriak eta ezaugarriak adierazten dira.

HD T-SCAN NOVUS SENTSOREA	<b>“LARGE” SENTSOREA</b> <small>T-Scan™ Novus™ - Large Sensor</small> 	<b>“SMALL” SENTSOREA</b> <small>T-Scan™ Novus™ - Small Sensor</small> 
	Lodiera	0,102 mm
Luzera totala	130,2 mm	124,3 mm
Zabalera totala	73,7 mm	66,5 mm
Matrize luzera	55,9 mm	50,8 mm
Matrize zabalera	66,0 mm	58,4 mm
Zutabe zabalera efektiboa	0,97 mm	0,97 mm
Errenka luzera efektiboa	0,97 mm	0,97 mm
Sensel kopurua	1.370	1.122
Sensel arteko distantzia	1,27 mm	1,27 mm
Sensel erresoluzioa	62 sensel/ cm <sup>2</sup>	62 sensel/ cm <sup>2</sup>

2-1. taula. T-Scan Novus sentsorearen ezaugarri teknikoak.

### b) T-Scan v10 software programa

Windows-ekin bateragarria den programa propio batekin, sentsoreen senseletan eskuko piezak jasotako seinale elektriko guztiak datu modura bihurtu eta ordenagailuaren pantailan denbora errealean bistaratzen ditu, adibidez, 2-47. irudian bi oklusio jarraian grabatu dira eta une jakin bateko kontaktu puntuak eta indar intentsitateak azaltzen dira.



*Iturria: Norberak egindakoa. V10 bertsioko T-Scan programatik hartutako pantaila erabilia.*

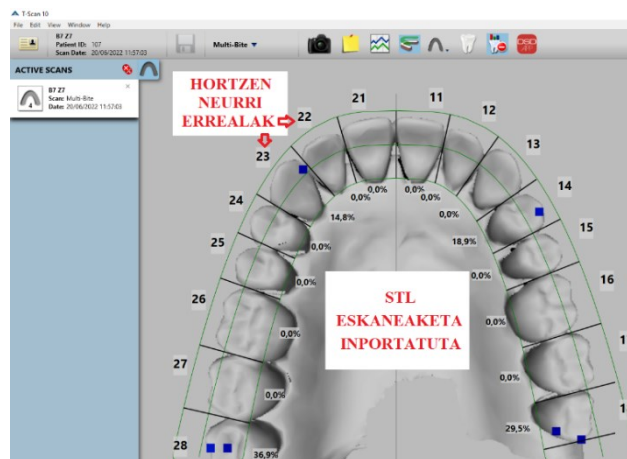
**2-47. irudia.** T-Scan programak eskaintzen duen pantaila nagusia.

Horretaz gain, paziente guztiekin sortutako datu base batean, denbora tarte jakin batean jaso diren datu guztiak grabatu eta gorde ditzake. Fabrikatzaileak programaren inguruan azpimarratzen dituen ezaugarri nagusienak ondorengoak dira:

1. Paziente bakoitzaren goiko eta beheko hortz uztaiak pazientearen neurri errealetara egokitu daitezke, eta nahi bada, pazienteari eginiko hortz eskaneaketa

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

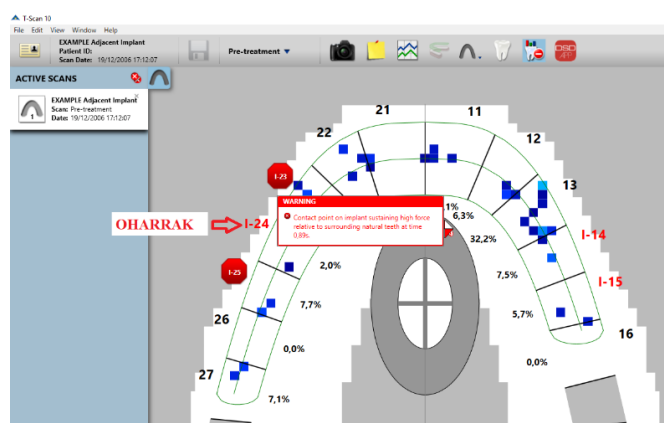
digitalak (STL formatua duten fitxategiak) ere inportatu daitezke. Prozedura honekin, senseletan grabatutako kontaktu puntuak eta bere indarren intentsitateak, hartz uztaia errealaren gainean proiektatu ahal izango dira (2-48. irudia). Hala ere, kokapen hori hurbilketa bat da, ez baitago STL-a kontaktu puntuekin lerrokatzeko modu zehatzik.



Iturria: Norberak egindakoa. V10 bertsioko T-Scan programatik hartutako pantaila erabiltuta.

**2-48. irudia.** Eskaneatutako STL artxiboa inportatu eta hartz neurri errealak.

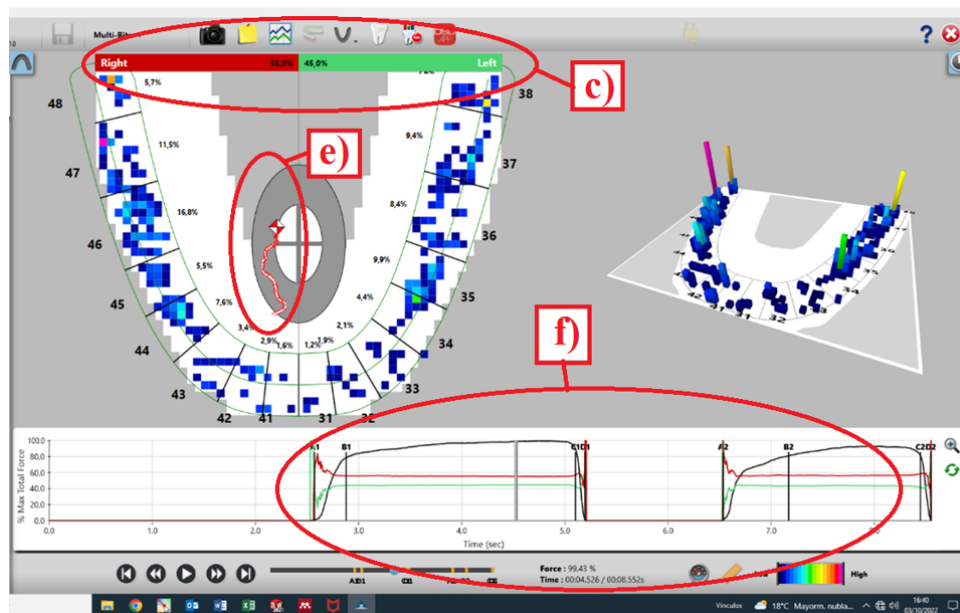
2. Inplanteak baldin badaude, beraien hausturak ekiditeko, onargarria diren karga maximoko oharrak jar daitezke (2-49. irudia).



Iturria: Norberak egindakoa. V10 bertsioko T-Scan programatik hartutako pantaila erabiltuta.

**2-49. irudia.** Inplanteak dauden tokietan jarritako oharrak.

3. Erdiko plano sagitalarekiko, kontaktu indarren ezker-eskuin oreka kalkulatu, eta hortz uztaien koadrante bakoitzean dagoen indarraren ehunekoa kalkulatu eta erakuts daiteke (2-50. irudia).



*Iturria: Norberak egindakoa. V10 bertsioko T-Scan programatik hartutako pantaila erabilia.*

**2-50. irudia.** Ezker-eskuin oreka, zentroaren ibilbidea, denbora barra.

4. Indar maximoko aldiuneak eta interkuspido maximo posizioa lortzen den aldiunea aurkitzeko prozesu automatiko bat eskaintzen du.
5. Kontakto indarren aplikazio zentroa kalkulatu eta oklusioa ematen den denboran zehar bere ibilbidea marraztu dezake (2-50. irudia).
6. Denbora barra bat ere azaltzen da. Barran aurrera eta atzera eginaz, edozein aldiunetan jaso diren indar balioak eta grafikoak ikusi ahal dira (2-50. irudia).
7. Egun edo momentu desberdinetan eginiko oklusioaren grabaketak, pantaila berdinean batera erakutsi eta konparatzeko gaitasuna du.

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

---

8. Senseletan denboran zehar grabatutako indar datu guztiak, Excel artxibo batera esportatu daitezke. Horrela, ikerketa kliniko sakonagoak egin ahal izateko aukera ematen du.

### 2.5.3 OCCLUSENSE OKLUSIO ANALIZATZAILE DIGITALA

Occlusense sistema 2018. urtean sortu zen, eta ateratako produktuaren aurreneko bertsioak, gaur egun oraindik indarrean jarraitzen du. Occlusense sistemak, kablerik gabeko eskuko pieza du, Apple markako Ipad gailuetan bakarrik instalatu daitekeen software programa propio batekin dabil eta bi tamaina dituen (“large” eta “extra large”) sentsore piezoelektrokoak erabili ditzake (2-51. irudia).



*Iturria: Norberak egindakoa, gailuaren katalogotik hartutako irudiak erabiltuta.*

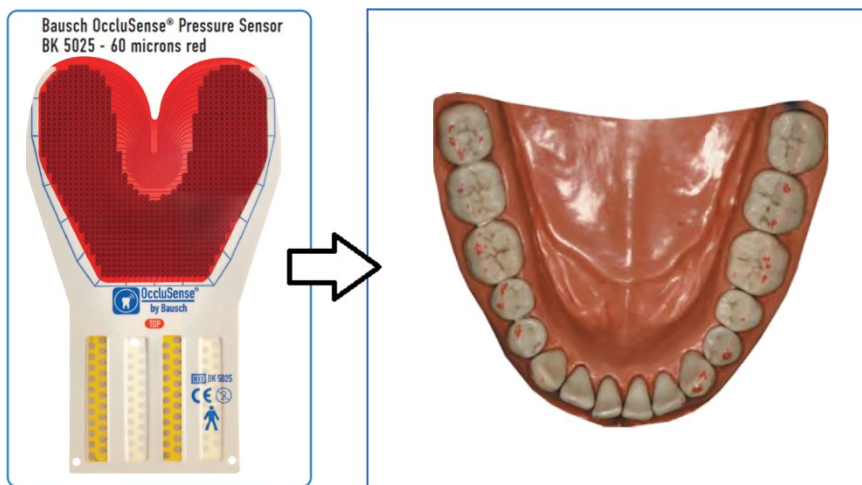
**2-51. irudia.** OccluSense sistema osatzen duten 3 elementu nagusiak: eskuko pieza, sentsorea eta software programa propioa.

Sistema honekin ere, odontologoek oklusioa ematen den denbora tartean hortzetan ematen diren kontaktu puntuak eta horietan sortzen diren indarrak neurtu ditzakete. Datuak pazientearen fitxan grabatuta geratzen dira, eta ondoren, grabatutako datu sekuentzia guztiak behin eta berriro ikusi eta aztertu daitezke. Tratamendu kliniko



batean egin diren oklusioaren neurketa desberdinak konparatzeko erraztasunak eta baliabideak ere eskaintzen ditu.

OccluSense sistemak eskaintzen duen abantaila nagusietako bat, sentsorea, paper artikulatuak bezala, tintaz estalita dagoela da. Horrela, hortzen kontaktu puntuetan markak uzten ditu (2-52. irudia), eta markatutako puntu horiek pantailan ikusten diren datu eta grafikoekin erlazionatu daitezke.



*Iturria: Norberak egindakoa, gailuaren katalogotik hartutako irudiak erabilia.*

**2-52. irudia.** Occlusense sentsoreak hortz kontaktu puntuetan utzitako markak.



OccluSense sistemak pantailan eskaintzen duen informazio grafikoa nahiko osoa izan arren, eskaintzen duen informazio numerikoa askoz murriztagoa da. Horretaz gain, datuak ezin direnez Excel orrietara esportatu, analisi kuantitatiboak egiteko ez dago aukera handiegirik.

### a) OccluSense sentsore piezoelektrikoa

T-Scan Novus sentsorearen antzera, bi kapa tartetan sarturiko zutabe eta ilaraz osaturiko matrize bat du. Ilara eta zutabeen intersekzioetan 1,5 mm aldea duten karratutxoak definitzen dira, eta hauetan 256 mailetan neurtu daitezkeen indarrak

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

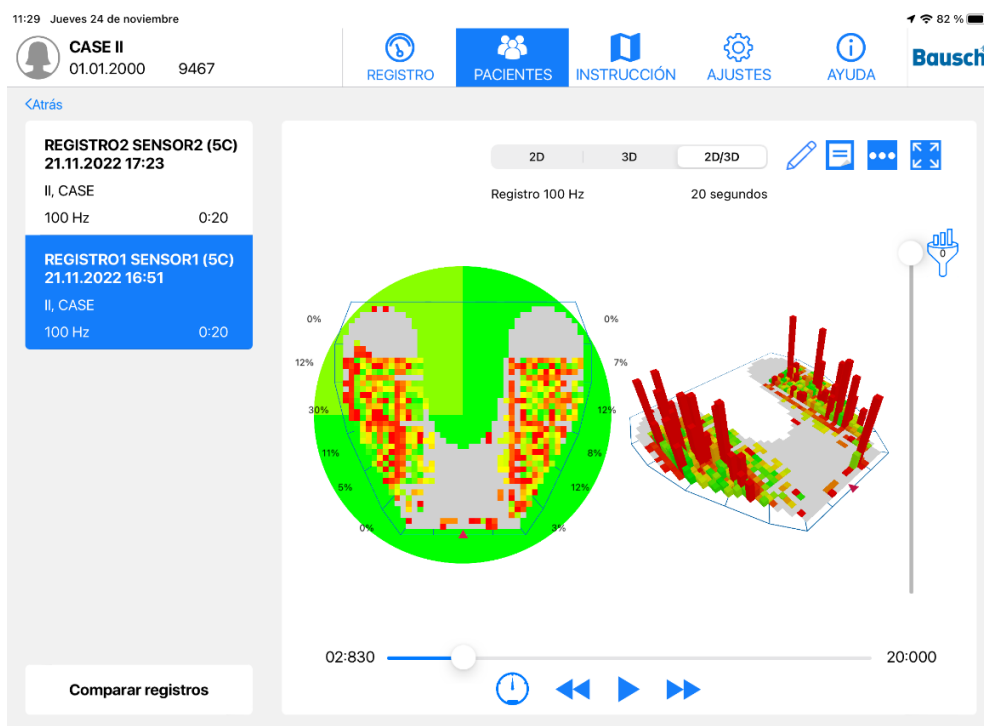
detektatzen ditu. Sentsorea bi tamainakoa erosi daiteke, jarraian bi sentsore hauen informazio teknikoak 2-2. taulan adierazten da. OccluSense sentsorearen kasuan, fabrikatzaileak ez du sensel bakoitzaren azalera efektiboa zenbat den adierazten.

OCCLUSENSE SENTSOREA	L SENTSOREA	XL SENTSOREA
		
Lodiera	0,06 mm	0,06 mm
Luzera totala	115 mm	115 mm
Zabalera totala	71 mm	77 mm
Matrize luzera	58,5 mm	58,5 mm
Matrize zabalera	63,0 mm	69,0 mm
Zutabe zabalera efektiboa	Ez da ezaguna	Ez da ezaguna
Errenka luzera efektiboa	Ez da ezaguna	Ez da ezaguna
Sensel arteko distantzia	1,5 mm	1,5 mm
Sensel erresoluzioa	44,45 sensel/ cm <sup>2</sup>	44,45 sensel/ cm <sup>2</sup>

**2-2. taula.** OccluSense sentsorearen ezaugarri teknikoak.

### b) OccluSense software programa

Programaren aurreko bertsioa gaur egun indarrean jarraitzen da. T-Scan sistemak duen programarekin alderatuta, informazio numeriko gutxiago ematen du (2-53. irudia). Ezker eskuin indarren orekak ez ditu kalkulatu eta kontaktu indarren zentroaren posizioaren kalkulurik ez du egiten.



*Iturria: Norberak egindakoa. V10 bertsioko T-Scan programatik hartutako pantaila erabiltza.*

**2-53. irudia.** OccluSense programak eskaintzen duen pantaila nagusia.

#### 2.5.4 T-SCAN ETA OCCLUSENSE ANALIZATZAILEEN KONPARAZIO TAULA

T-Scan sistemak merkatuan urte asko daramatza, eta komunitate zientifikoan bere erabilera teknikoari eta klinikoari buruzko informazio independentea badago eskuragarri. OccluSense sistema askoz berriagoa izanik, apenas dago informazio

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

independenterik. Eta orain arte dagoen informazio gehiena, bere fabrikatzaileak eskaintzen duen informazioa, eta baita zenbait erabiltzaileek eginiko iruzkinetan agertzen dena da. Sutter odontologo amerikarrak argitaratu duen bi sistemen arteko erabilera klinikoari buruzko konparaketa da hain zuzen, gaur egun OccluSense gailuari buruz komunitate zientifikoan argitaratu den bakarra [75]. Konparaketa honen alderdi nagusienak, ondorengo 2-3. taulan ikusi daitezkeenak dira.

<b>ZEHAZTASUNA</b>	<b>T-SCAN</b>	<b>OCCLUSENSE</b>
Sistemaren balioztatze estudioak	Badaude	Ez daude
Sentsorearen zehaztasun estudioak	Badaude	Ez daude
Denbora txostenen zehaztasun estudioak	Badaude	Ez daude
Indarra kuantifikatzeko errepikakortasun estudioak	Badaude	Ez daude
<b>PREZIOAK</b>	<b>T-SCAN</b>	<b>OCCLUSENSE</b>
Sistema berriaren prezioa	12.000 euro	1.200 euro
Sentsoreen prezioa	13 euro/uni	13 euro/uni
Sentsoreen bizitza	24 oklusio	1 saio kliniko
<b>GRABAZIO GAITASUNAK</b>	<b>T-SCAN</b>	<b>OCCLUSENSE</b>
Ordenagailu pantailan ikusi eta grabazioa batera egin daiteke?	Bai	Ez
Sentsorearen indarrarekiko saturazioa kontrolatu daiteke?	Bai	Ez
Pazientearen hortz uztaiak doitu daitezke?	Bai	Ez
Sentsorearen grabazio maiztasuna:	333 frame/s	150 frame/s
Hortzak margotuz kontaktuak detektatzeko gaitasuna?	Ez	Bai
<b>KONTAKTU INDAR ERLATIBOAK KUANTIFIKATZEKO GAITASUNA</b>	<b>T-SCAN</b>	<b>OCCLUSENSE</b>
Indarren zentroa kalkulatu dezake?	Bai	Ez
Indar magnitudea adierazteko maila kopurua?	256	256
Indarra- denbora grafikoak badaude?	Bai	Ez
Indar ehunekoak hortz pieza bakoitzeko eman dezake?	Bai	Bai
Ezker eskuin orekaren ehunekoak eman dezake?	Bai	Ez
Indar ehunekoak koadrante bakoitzeko eman dezake?	Bai	Ez
Indarren bi eta hiru dimentsioetako grafikoak baditu?	Bai	Bai
Indar gradiente handiak detekta eta azal ditzake?	Ez	Bai

**2-3. taula.** T-Scan eta OccluSense sistemen arteko prestazio konparaketa.

Laburbilduz, OccluSense analizatzaileak berrikuntzak dituela esan daiteke; hortzak tintatzeko gaitasuna eta indar gradientek adierazten baititzake, eta batez ere, bere abantaila 10 aldiz merkeagoa dela da. Baina kontrari, T-Scan-ak programa garatuago du, eta kuantifikagarriak den informazio askoz gehiago eskaintzen ditu. Gainera, OccluSenseren erabilera klinikoari buruzko eta zehaztasunari buruzko informazioa ez dago, hala ere softwareak ematen duen informazioa gehiago garatzen bada, gailu bezala potentziala baduela esan daiteke.

## 2.6 ANALIZATZAILE DIGITALEI BURUZKO GAIAREN EGOERA

### 2.6.1 OKLUSIOA ANALIZATZEKO METODO TRADIZIONALAK ETA DIGITALEN GARAPENA

“Glossary of Prosthodontics terms”-ean [48] “oklusio erregistroa”-ren definizioa ematen da: hortz uztai antagonisten posizioa eta kontaktuak erregistratzeko prozedura da. Odontologian, oklusioaren datu adierazgarriak ikusteaz gain, informazio hori erregistratu, gorde eta transferitu ahal izatea garrantzitsua da [76]. Betidanik, material ezberdinak erabili izan dira oklusioa erregistratu eta aztertzeko [77]: argizariak, alginatoak, silikonak, paper tintatuak, aluminio lamina meheak, zeta orriak, besteak beste.

Hauetako batzuk hortz uztaien formak erreplikatzeko (2-54. irudia), argizariak edo silikonak adibidez, eta beste batzuk kontaktu puntuak margotzen dituzte hortzetan. Hauek lodiera desberdineko paper moduko zintatan goiko eta beheko hortzeria artean jarri eta oklusioa egitean hortzen arteko kontaktu puntuak margotzen dituzte (2-55. irudia), horrela oklusioari buruzko informazioa jasoz [78].



*Iturria: Produktuen katalogoetatik hartutako argazkiak.*

**2-54. irudia.** Silikonak hortzaren forma erreplikatzeko du.



*Iturria: Produktuen katalogoetatik hartutako argazkiak.*

**2-55. irudia.** Paper artikulatuek hortzak margotuz oklusio puntuak detektatzen dituzte.

Paper artikulatua erabiliaz, kontaktuaren kokapena eta kontaktua egon den azalera eremua markatzen da. Odontologoaren artean, markaren tamaina hortzetako kontaktu indarren adierazle gisa oso onartuta dago, baina ikerketa batzuk indarren magnitudea zehazteko modu hau ez dela fidagarria ondorioztatu izan dute [79–82].

Oklusio analizatzaile digitala izeneko sistemek, oklusioa gertatzen ari den bitartean, kontaktu puntuak detektatzeaz gain, kontaktu puntu horietan dagoen indar erlatiboa neurtu dezakete [83–86]. Denbora errealean jasotako informazio guztia, informatikoki tratatu eta gorde dezakete. Gero, edozein momentutan, oklusioaren analisi sakonagoak egin nahi badira, gordetako informazioa nahi denean erreproduzitu daiteke [87].

Merkaturatzen aurreneko izan zen oklusio analizatzaile digitala, eta gehien aztertu den gailuak (T-Scan; Tekscan Inc), gaur egun indarrak neurtzeko, definizio altuko “HD” sentsoreak ditu. Sentsoreak  $1,27 \times 1,27 \text{ mm}^2$ -ko azalera unitate minimoa du, eta oinarrizko azalera unitate hau sensel bezala izendatua izan da [88]. 1985 urtetik, ikertzaile askok T-Scan-aren bertsio desberdinak aztertu dituzte, eta klinikoki balioztatu dute [88–90]. Hauei esker, fabrikatzaileak hardwarea, softwarea eta sistemaren erregistro sentsoreak hobetu ahal izan ditu.

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

---

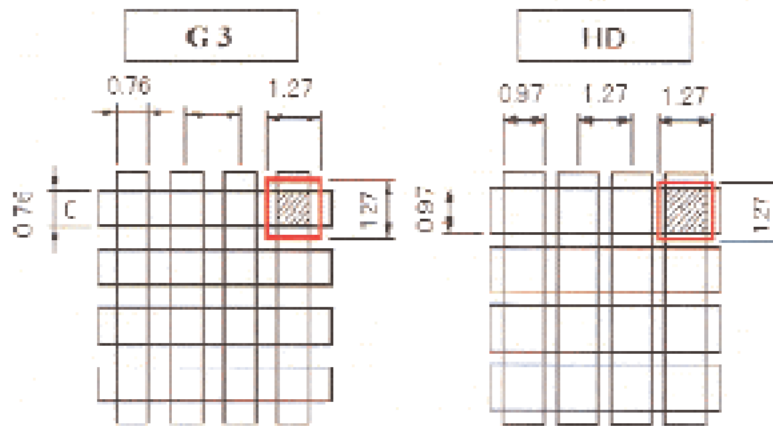
Zentzu honetan, bereziki esanguratsua da sentzore piezoelektrikoak izan duen garapena [90]. Ondorengo 2-4. taulan eboluzio horretan egon diren zenbait parametroren hobekuntzak adierazten dira.

Bertsioa (urtea)	Indar intentsitate mailak	Neurketaren frekuentzia (s/neurketa)	Aurreko bertsioarekiko hobekuntza
G-1 sentzorea (1984 urtea)	16	0,01	
G-2 Sentzorea (1992 urtea)	16	0,01	Denbora neurketa eta kontaktuen detekzio fidagarriagoa.
G-3 Sentzorea (1998 urtea)	256	0,01	Sentsorearen materiala, eta indarrak neurtzeko sentsibilitate hobea.
HD Sentzorea (2002 urtea)	256	0,003	Senselaren azalera efektiboa handiagoa eta kontaktu puntuen kokapenak detektatzeko fidagarriagoa.

**2-4. taula.** T-Scan sentzorearen eboluzioa.

Ondorengo 2-56. irudian, G3 eta HD sentzoreen arteko azalera efektiboaren hobekuntza ikus daiteke. G3 sentzorean sensel bakoitzak  $0,76 \times 0,76 \text{ mm}^2$ -ko azalera efektiboa zuen eta gaur egungo HD sentzorean  $0,97 \times 0,97 \text{ mm}^2$ -ko azalera izatera pasa zen [90].





Iturria: Ikerkuntza artikulua [90].

**2-56. irudia.** T-Scan HD sentsorearen azalera efektiboaren hobekuntza.

Senselaren azalera efektiboa %33 handitu zen eta azalera ez efektiboa %50 gutxitu, honen ondorioz Kerstein odontologo ikertzaileak baldintza berdinetan egin zituen in-vitro oklusio saiakuntzetan, HD sentsoreak bere datuen errepikakortasun hobea zuela ondorioztatu zuen [90].

Orokorrean ikerketa inguruneetan erregistro metodologia onartua eta fidagarria kontsideratzen da eta T-Scan sistemarekin behin betiko tratamendu protokoloak garatu eta probatu dira [91–95].

Duela urte gutxi, kostu txikiagoa eta antzeko eta funtzionalitateak dituzten beste oklusio analizatzaile digital batzuk garatu eta merkaturatu dira, hala nola, Accura (Dmetec Co) [20] eta OccluSense (Dr. Jean Bausch GmbH & Co KG) [75]. OccluSense gailuak berrikuntza garrantzitsu bat dakar; gailuaren sentsorea paper artikulatuak daraman tinta berdinez estalita dago, eta hortzetako oklusio kontaktuak hortzetan markatuta uzten ditu. Hala ere, tesi honetako artikulua argitaratu aurretik, ez dago OccluSense gailuaren erabilera klinikoari buruzko eta bere neurrien zehaztasunari buruzko JCR-ek sailkatutako aldizkarietan argitaratutako ikerketarik [75].

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

---

Oklusio analizatzaile digitalen erabilera eremua zabala izan arren, bere erabilera odontologoaren artean ez da gehiegi zabaldtu. Oklusio ebaluatzeneko sistemen erabilera tasari buruzko inkesta baten emaitzak ondorengo 2-57. irudian erakusten dira [96]. Inkesta hau, 2021 urtean Bulgariako 228 hortz kliniketan eginiko inkesta da. Argi ikus daiteke hortzak markatzen dituzten paper artikulatuek (200 µm edo 100 µm), zeta artikulatuek (80 µm edo 40 µm), eta orri artikulatuek (12 µm edo 8 µm), T-Scan eta OccluSense analizatzaile digitalak baina erabilera tasa askoz altuagoa dutela.

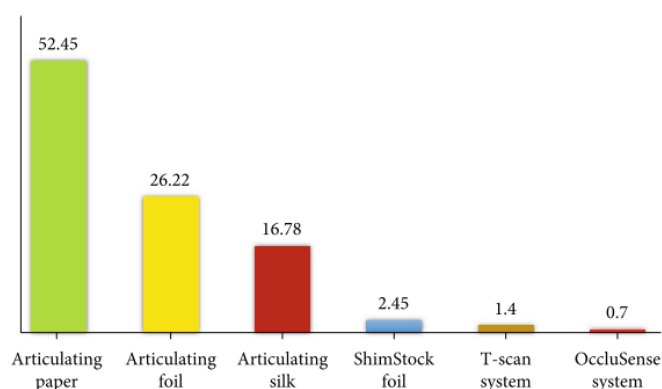


FIGURE 3: Occlusal indicators used in practice.

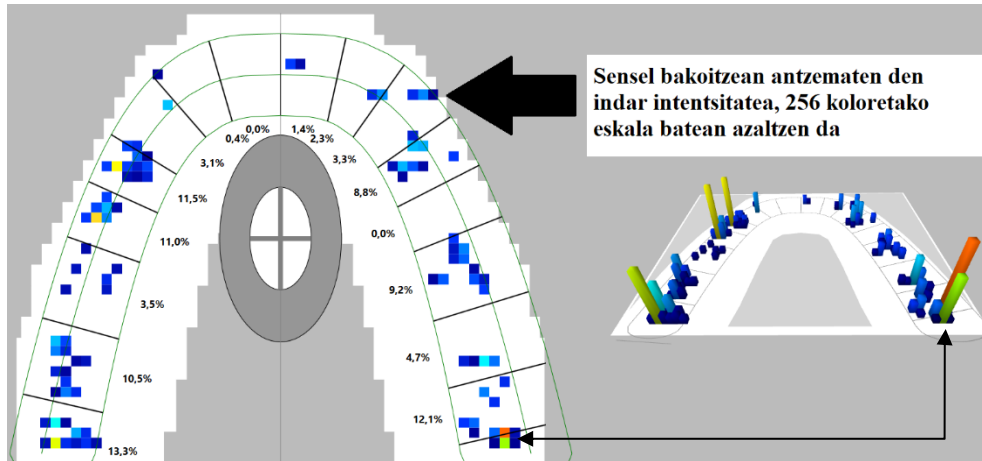
*Iturria: Ikerkuntza artikulua [96].*

**2-57. irudia.** Oklusioa ebaluatzeneko sistemen erabilera tasa.

### 2.6.2 ANALIZATZAILEEN INDARREN NEURKETA ALDAGAIAK

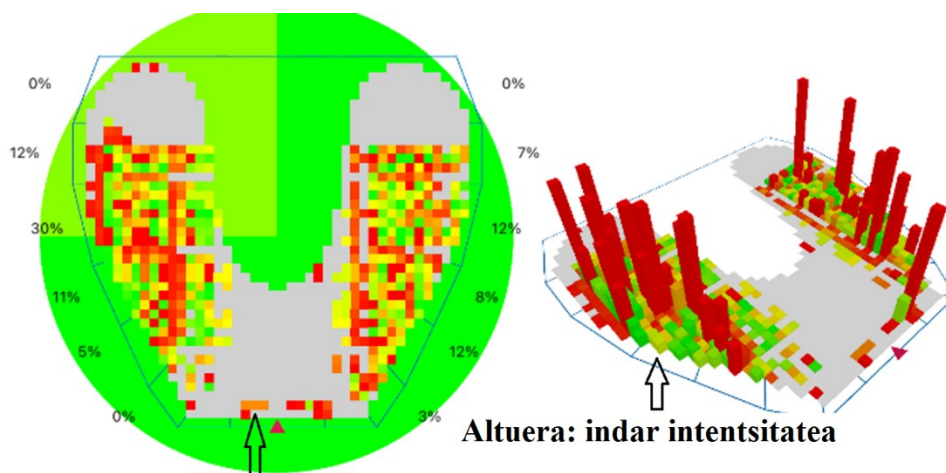
Oklusio analizatzaile digitalek, euren software programa bidez (2-58. irudia), neurtutako datuak prozesatzen dituzte eta sensel bakoitzean dagoen indararen intentsitateari buruzko informazio grafiko kualitatiboa eta kuantitatiboa ematen dute [84, 97].

T-Scanaren kasuan, sensel bakoitzari dagokion barraren altuerak eta koloreak informazio berdina edo baliokidea ematen du (2-58. irudia), baina Occlusense gailuaren kasuan ez da informazioa guztiz berdina (2-59. irudia).



Iturria: Norberak egindakoa. V10 bertsio T-Scan programatik hartutako pantaila erabilia.

2-58. irudia. Sensel bakoitzean dagoen indar intentsitatea kolore eskalan adierazita.



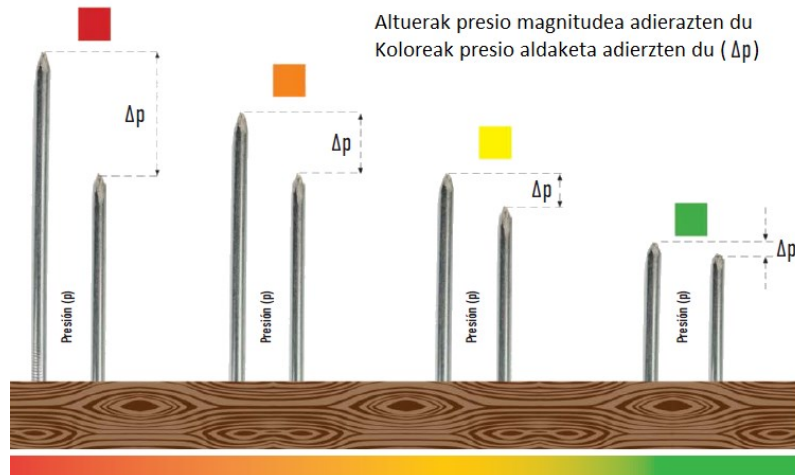
**Koloreak: indar aldaketa**

Iturria: Norberak egindakoa. OccluSense programatik hartutako pantaila erabilia.

2-59. irudia. Sensel bakoitzean dagoen indar aldaketa eta intentsitatea.

OccluSense gailuan barraren altuerak indar intentsitatea adierazten du eta koloreak aldamenean dituen senselekiko indar aldaketa gradientearen neurria adierazten du (2-60. irudia) [7].

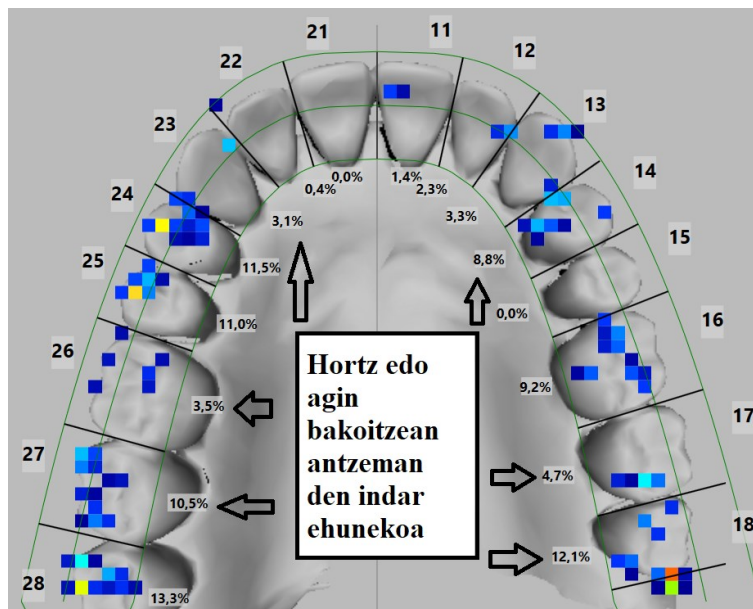
## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA



Iturria: Norberak egindakoa. OccluSense katalogoa erabiltuta.

2-60. irudia. Sensel bakoitzean dagoen indar altueraren eta kolorearen esanahia.

T-Scan sistemak, informazio kualitatibo honetaz gain, senseletako indar datuekin kalkuluak eginaz, beste zenbait datu kuantitatibo era eskaintzen ditu (2-61. irudia).



Iturria: Norberak egindakoa. V10 bertsioko T-Scan programatik hartutako pantaila erabiltuta.

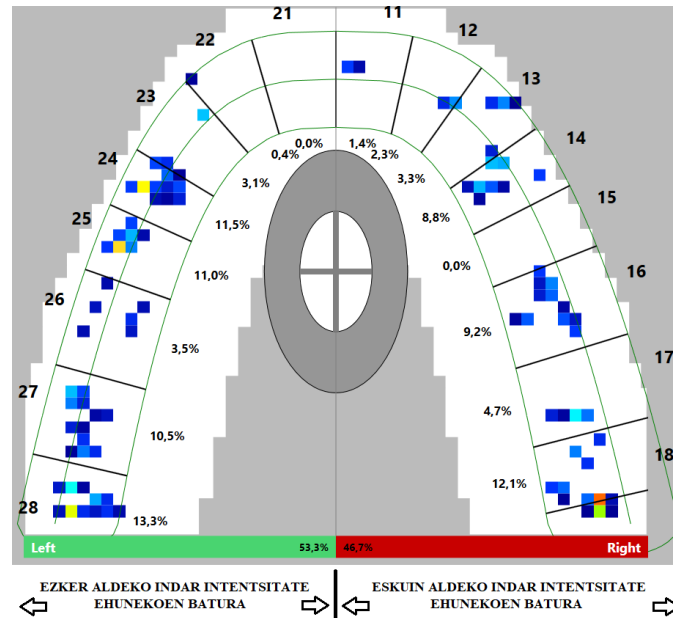
2-61. irudia. Hartz bakoitzean dagoen indar ehunekoaren balio numerikoaren kalkulua.

Hortz bakoitzaren posizio eta neurri errealak konfiguratu daitezke, eta hau egin ahal izateko, eskaner intraoral batekin jasotako STL artxiboa inportatzeko aukera ematen du, baina STL hori zehazki lerrokatzeko sistema egokirik ez du. Behin hortz posizioak eta neurriak modu egokian finkatu ondoren hortz pieza bakoitzean dagoen indar ehunekoa ematen du. Inplanteak jarri diren hortz piezetan, informazio hau bereziki garrantzitsua izaten da, gehiegizko indar batek inplantearen porrota eragin baitezake [98–102].

OccluSense sistemak ezin ditu hortz tamainak eta posizioak hortzeria erreal bakoitzera egokitu, ondorioz pantailan azaltzen diren sektoreak ez datoz bat hortz edo hagin erreal bakoitzarekin, eta hau horrela izanik, hortz pieza batean dagoen indar ehunekoa jakitea ezinezkoa da.

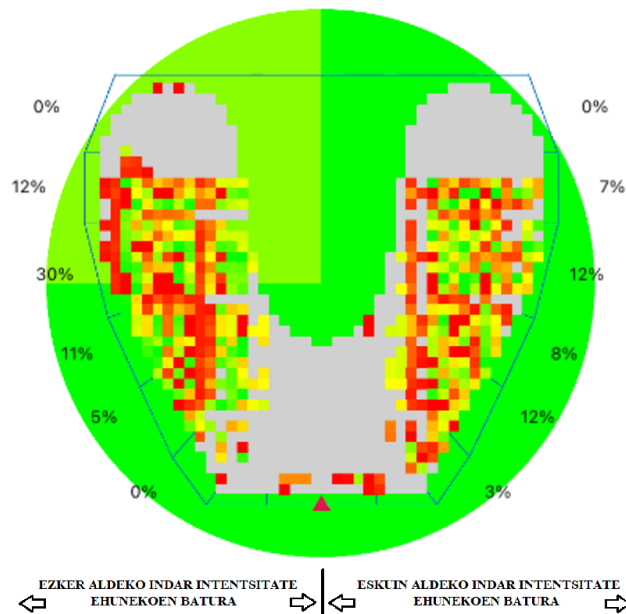
Oklusio indarren oreka oker batek ahoko eta buruko osasun arazoak sortzeaz gain, gorputz osoaren posizio orekan ere eragin dezake [103], horregatik erdiko plano sagitalarekiko kontaktu indarren ezker-eskuin oreka (KIO; kontaktu indarren oreka) kalkulatu eta azaltzea garrantzizkoa da. T-Scan gailuak zuzenean ematen duen datua da (2-62. irudia), baina Occlusense gailuaren kasuan, datu hori ematen ez denez, hortz sektore bakoitzean ematen den indarraren ehunekoak batuz kalkulatu beharra dago (2-63. irudia).

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA



Iturria: Norberak egindakoa. V10 bertsioko T-Scan programatik hartutako pantaila erabilia.

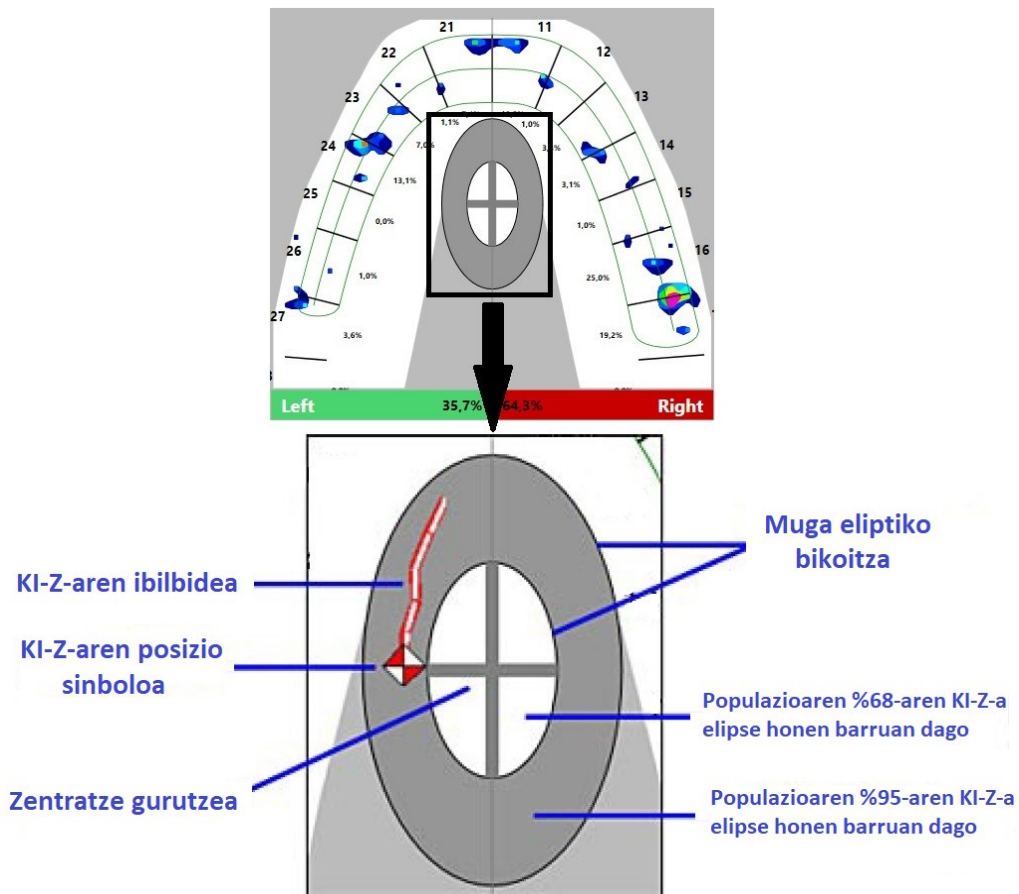
2-62. irudia. T-Scan-ak ezker-eskuin indarren orekak kalkulatu eta adierazten ditu.



Iturria: Norberak egindakoa. OccluSense programatik hartutako pantaila erabilia.

2-63. irudia. OccluSense-ak hertz sektore bakoitzaren indar ehunekoa ematen du.

T-Scan sistemarekin oklusio kalitatearen adierazle berriak definitzeko eta erabiltzeko erreminta digital bat sortu zen. Interkuspidadazio maximoko posizioan, oklusioaren oreka eta kalitatea Maness odontologo ikertzaileak aztertu zuen, garai hartako T-Scan sistema erabiliz [97]. Geroago T-Scan II software bertsioak senseletan erregistratutako indar datuekin kalkulaturik, beste oklusioaren orekaren aldagai adierazgarri bat ematen hasi zen: kontaktu indarren zentroa (KI-Z). Oklusioa hasten den unetik, interkuspidadazio maximoko posizioan bukatu arte, KI-Z-aren ibilbidea pantailan ikus daiteke (2-64. irudia).



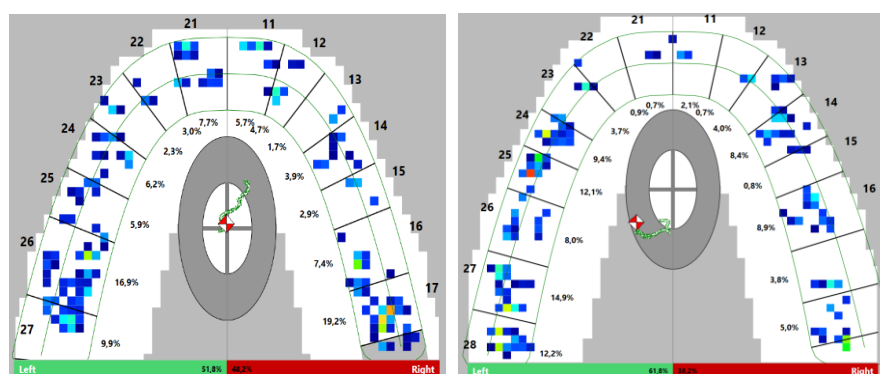
Iturria: T-Scan 9.1 User Manual liburutik hartutako irudia.

**2-64. irudia.** T-Scan sistemaren softwareak kalkulaturiko kontaktu indarren zentroa eta bere ibilbidea.

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

Ordutik, T-Scan software bertsio berri guztietan aldagai honen posizioa eta ibilbidea azaltzen dira. Horrela, Oliveri-k argitaratutako artikulu batean bere erabileraren garrantzia azaldu eta 3 kasu klinikotan erabili zuen [104].

KI-Z-aren posizioa, erdiko plano sagitaletik urruntzen den neurrian, kontaktu indarren desoreka handiago bat adierazten du. Alderantziz, zenbat eta erdirago gelditu, orduan eta oklusio indarra orekatuagoa izango da. Oklusioa ematen ari den bitartean indar datuak aldatzen doaz eta kontaktu indar zentroa mugitzen doa, baina ahoa guztiz itxi eta interkuspidadazio maximoko posiziora iristean indar zentroa geldirik geratzen da (2-65. irudia). Puntu horrek interkuspidadazio maximoko posizioaren indar oreka adierazten du eta ahoko gaixotasun prebentzioan garrantzia duen egoera bat erakusten du [105].



*Iturria: Norberak egindakoa. V10 bertsio T-Scan programatik hartutako pantaila erabilia.*

**2-65. irudia.** T-Scan sistemaren softwareak, bi hortzeria desberdinetan azaltzen dituen kontaktu indar zentroen posizioak eta beraien ibilbideak.

KI-Z-aren posizioa T-Scan gailuak zuzenean ematen duen datua izan arren, Occlusense gailuaren kasuan, lortu ezin daitekeen informazioa da.

Oklusio analizatzaileek emandako irteera datu guztiekin, eta bereziki aipatutako KIO eta KI-Z puntuaren posizioarekin, odontologoek oklusioaren kalitatea aztertzeko



erreminta oso lagungarri bat eskura dute, eta horrela izanik, informazio hau hainbat kasu kliniko eta ikerketetan erabili izan da [106–108].

### **2.6.3 GIZA OKLUSIO BIOMEKANIKAREN INDAR KONTZEPTUEN ULERMENA ETA SAIKUNTZAK**

“The Glossary of Prosthodontic Terms”-ean hortz-oklusioa honela definitzen da: masailezurreko eta barailako hortz analogoen murtzikatze gainazalen arteko erlazio estatikoa da [48]. Hortzen arteko posizio estatikoa, ahoa guztiz itxita dagoenean ematen da, baina oklusioaren informazio funtzional osoa, hortzen arteko kontaktu mugimendu guztiak egitean ematen da. Biomekanikak sistema biologikoen egitura eta funtzioa hobeto ulertzen laguntzen du [109], eta ondorioz, hortzen oklusioaren indar eta desplazamendu guztiak ulertu ahal izateko, giza oklusioan parte hartzen duten elementu biologikoen nagusien izaera eta funtzioa ulertu behar dira [1].

Analizatzaile digitalen erabilera ez da gehiegi zabaldu hortz kliniketan eta honen arrazoietako bat, lortutako datuak ondo ulertu eta interpretatzeko zailtasuna izan liteke.

Zailtasun horietako bat kontaktu indarren zentroaren (KI-Z) kokapenaren garrantzia zein den jakitea da, edo odontologoek KI-Z-aren posizio egokia lortzeko hortzen geometrietan aldaketak egin behar ote dituzten jakitea da. KIZ-a definitzeko eta bere posizio ohikoenak zeintzuk izan beharko luketen jakiteko zenbait analisi kliniko egin dira [97, 104, 110].

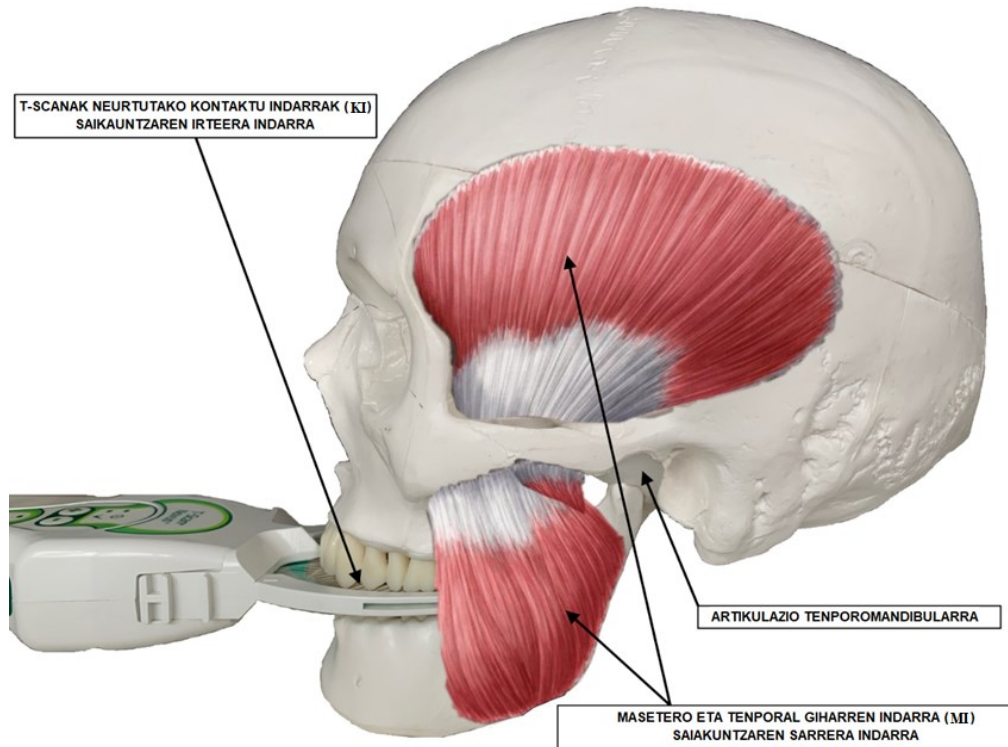
Autore batzuek beraien planteamenduetan, gizabanako bakoitzak, interkuspidadio maximoko posizioan (IMP) dagoenean, KI-Z puntuak kokapen bakarra duela ulertzen zuten [40, 97, 110], baina beste autore batzuek zioten, oklusioa interkuspidadio maximoko posizioan ezin dela estatikotzat eta bakartzat hartu [111, 112]. Ondorio

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

---

horretara iristeko Wiechens odontologo ikertzaileak zuzendutako ikerketa batean, 19 pertsona osasuntsu aukeratu ziren eta horietako pertsona bakoitzari, egun berdineko 3 une desberdinetan, T-Scan III analizatzailearekin oklusioaren erregistroak hartu zitzaizkien, eta gero hortik 15 egunetara, berriro 3 une desberdinetan oklusio erregistroak errepikatu zitzaizkien. Grabatutako datu guztiak estatistikoki konparatu ondoren, interkuspidazio maximoko posizioan, neurtutako hortzen kontaktu puntuen indarren banaketak aldatzen zirela ondorioztatu zuten [111]. Duela urte asko egindako beste ikerketa batean, kontaktu puntuen indarren banaketen aldaketa arrazoia, indar murtxikatzailleetan egon zitekeela adierazi zen [112].

Kontaktu indarren aldaketen jatorria zehazteko, giharretako indarrak aztertu izan dira, eta horretarako, oklusioan parte hartzen duten indar nagusienak aztertu dira. 2-66. irudian ikusi daitekeen bezala, goi eta behe hortzeriak IMP-era iristen direnean, 3 indarrek aldi berean jarduten dute: gihar murtxikatzailleekin pertsonak borondatez eginikoa, hortzetako kontaktu indarra eta artikulazio tenporomandibularren kondiloetan azaltzen den indarra. 3 indar horiek, ahoaren mugimendurik ez dagoenean, oreka estatikoan egon behar dute.



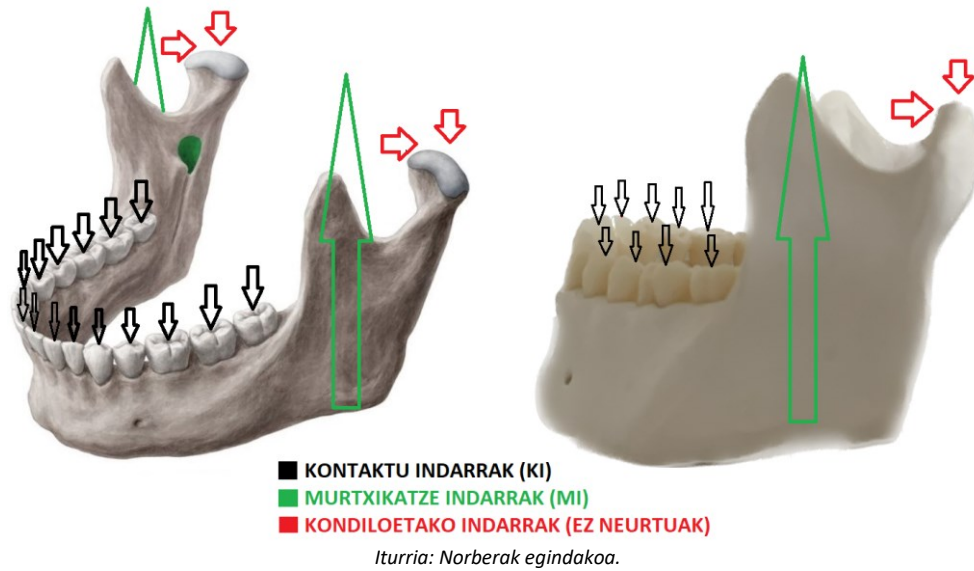
*Iturria: Norberak egindakoa.*

**2-66. irudia.** IMP-an, oklusioan jarduten duten indarrak.

Giharren indarra eta hortzetako kontaktu indarra elkarren artean desberdinak dira. Beraz, horietako indar erresultante bakoitzak oklusio planoarekiko indarren zentroa eta magnitude desberdinak dituzte (2-67. irudia).




Murtxikatze giharrek uzkuetze indar bat eragiten dutenean, masailezurreko eta barailako hortzak IMP-ra iritsi arte elkartzen doaz, eta une horretatik aurrera, giharrek indarra bere handitzen badute, analizatzaile digital batek neurtutako kontaktu indarrak ere handitzen joango dira. Bestetik, artikulazio tenporomandibularreko kondiloetan ere erreakzio indarrak sortzen dira, baina azken hauek ezin dira analizatzailearekin neurtu.

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA



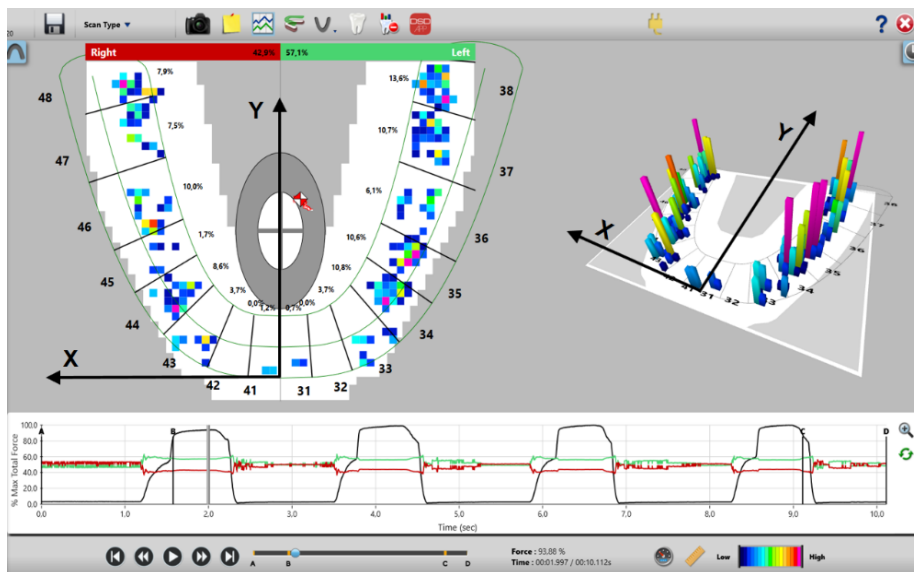
2-67. irudia. IMP-an, parte hartzen duten indarren eskema.

Oklusioaren biomekanika aztertu ahal izateko in-vitro saiakuntza bat planteatu da (2-5. taula).

	OKLUSIO INDAR MOTA	ERRESULTANTEA	MAGNITUDEA	INDAR ZENTROA
	Murtxikatze giharren indarra: saiakuntzaren sarrera-indarra	MI	MI-M	MI-Z
	T-Scan-ak neurtutako kontaktu indarrak: saiakuntzaren irteera indarra	KI	KI-M	KI-Z
	Artikulazio tenporomandibularreko indarra	Ez neurtua	Ez neurtua	Ez neurtua

2-5. taula. IMP-ra iristean, oklusio indarrentzat erabilitako laburdurak.

Edozein desberdintasun fisiologikok, edo murtxikatzeko gihar nagusien (maseteroa eta tenporala) edozein alboko simetria faltak [1, 113], murtxikatze indarren zentroaren kokapena, erdiko plano sagitalean ez egotea sortaraziko du. Horretaz gain, gizabanako bakoitzak, nahita edo nahigabe egindako gihar jakin batzuen uzkuradura intentsitatea denboran zehar alda dezake [114–116]. Horren ondorioz, murtxikatze indarren zentroaren (MI-Z), posizioa luzetara (Y ardatzean aurrera edo atzera) mugituko da, eta baita ere erdiko plano sagitaletik alboetara (X ardatzean ezkerrera edo eskuinera). Murtxikatze giharren indarren eta hortzen kontaktu indarren zentroen posizioak 2-68. irudian definitu den erreferentzia sisteman adierazi daitezke, non (X) alboetarako ardatza, eta (Y) luzeetarako ardatza dituen.



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**2-68. irudia.** Indar zentroak kokatzeko erreferentzia sistema: (X): alboetarako ardatza, (Y): luzeetarako ardatza.

In-vivo eginiko zenbait ikerketetan, gihar murtxikatzailen jardura, elektromiografiarekin neurtuz, eta hortzen kontaktu indarrak, oklusio analizatzaile digital batekin neurtuaz, batera aztertu dira [117–119]. Baina, bibliografia zientifikoan

ez da aurkitu murtxikatze giharren indarraren simetria ezak izan ditzaken ondorioak ebaluatzen dituen in-vitro azterketarik.

### 2.6.4 ANALIZATZAILEEN ZEHAZTASUN DEFINIZIOAK ETA ESTUDIOAK

Oklusio analizatzaile digitalak, odontologoentzako informazio baliagarria eman arren, oraindik gailu horien erabilera ez da hasieran espero zen bezainbeste zabaldu [96]. Horren arrazoi garrantzitsuenetako bat, egiten dituen neurketen zehaztasunari buruzko zalantzetan egon daiteke. Oklusio analizatzaileek, denboran zehar oinarrizko bi datu mota jaso behar dituzte:

1. Hortz gainazaletan kontaktu puntuen lokalizazioak.
2. Hortz gainazalen kontaktu puntuetan sortzen diren indar magnitudeak.

Informazio hau sentsorearen sensel-etan jaso ondoren, aurrena elektronikoki eta gero informatikoki tratatu, eta ordenagailu pantailan informazio kualitatiboan eta kuantitatiboan bihurtuz erabiltzaileari eskaintzen zaio.

Aipatutako bi oinarrizko datu moten zehaztasunak aztertzen dituen artikuluen azterketa egin ondoren, analizatzaile digitalek emandako hortz gainazalen kontaktu puntuen lokalizazioen zehaztasuna aztertzen duen ikerketa batzuk aurkitu dira [19, 21, 22, 120–122]. Aldiz, analizatzaileak neurtzen dituen indar intentsitateen balioen zehaztasuna gutxiago aztertu izan da [90, 20, 23, 123]. Gainera, kontaktu indarren ezker-eskuin orekaren zehaztasunari buruzko ikerketa bakarra aurkitu da [124].

Bozhkova odontologia ikertzaileak, T-SCAN III sistema, 30 pertsonekin erabili eta aztertu ondoren, hortzen oklusio azaleretan ematen diren kontaktuak eta indarrak denbora-sekuentzian detektatzeko modu zehatz bakarra zela ondorioztatu zuen [88]. Hala ere zehaztasunaren egiaztapenik egin ezenez, ikerketa egin zen 2016. urtean

denbora sekuentzian neurriak hartu ditzaken metodo bakarra T-SCAN III sistema zela ulertu behar da.

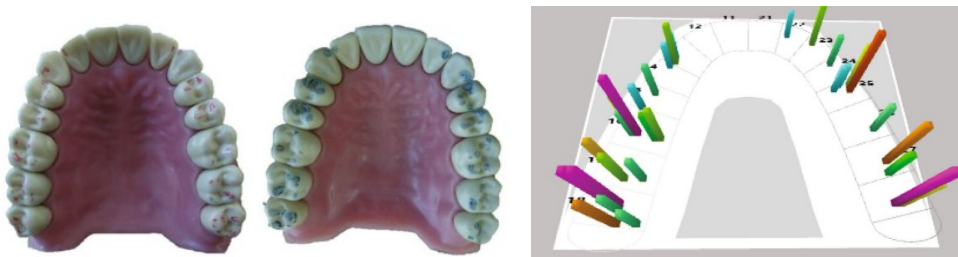
Bozhkova-k beste ikerketa batean [19], 100µm-tako paper artikulatuarekin, 12 µm-tako folio artikulatuarekin eta 100 µm-tako lodiera duen T-Scan Novus gailuaren HD sentsoarekin hortz kontaktu puntuen lokalizazioak detektatzeko zehaztasunaren ikerketa konparatibo bat egin zuen. In-vitro eginiko saiakuntza bat izan zen, horretarako behe eta goi hortzeria artifizial (Frasaco GmbH) batzuk, torloju prentsa batean muntatuta, ireki eta IMP-an ixteko tresneria prestatu zuen (2-69. irudia).



Iturria: [19] artikulatik hartutako irudiak.

**2-69. irudia.** In-vitro saiakuntza egiteko erabilitako hortzeria eta prentsa.

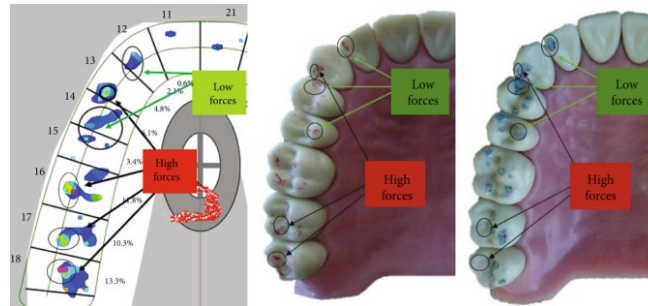
Tresneri hori erabiliz, paper artikulatua, folio artikulatua eta T-Scanaren HD sentsoarekin kontaktu puntuen kokapena hartu (2-70. irudia eta 2-71. irudia) eta estatistikoki konparatu zituzten.



Iturria: [19] artikulatik hartutako irudiak.

**2-70. irudia.** In-vitro saiakuntza eginda, kontaktu puntuen kokapenak.

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

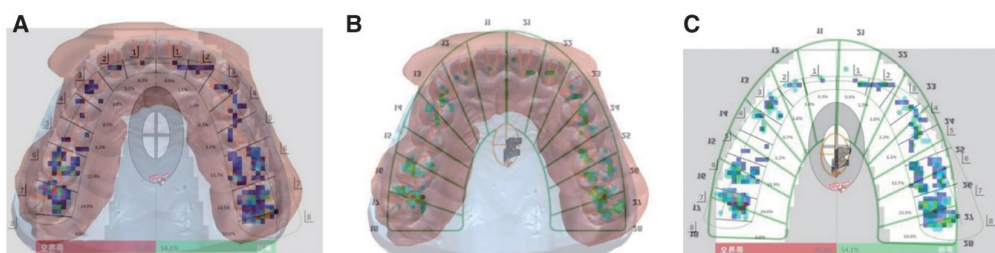


Iturria: [19] artikulutik hartutako irudiak.

**2-71. irudia.** In-vitro saiakuntzekin, kontaktu puntuen indar intentsitateak.

T-Scan-aren kontaktu kokapenak guztiz zehatzak ez zirenez, hortz kliniketan bi metodoak batera erabiltzea komeni zela ondorioztatu zuen; kontaktu kokapenak metodo tradizionalekin detektatzen ziren hobekien, baina indar intentsitateak eta beraien arteko orekak ordea, T-Scan analizatzailearekin.

Jeong ikertzaileak, Accura eta T-Scan analizatzaileek IMP-an detektatutako kontaktu puntuen posizioak konparatu zituen [21]. Horretarako igeltsuzko hortzerien oklusio gainazalak segmentutan zatitu eta segmentu bakoitzean azaltzen ziren kontaktu lokalizazioak konparatu zituen (2-72. irudia). Bi aparatuek, lokalizazioak detektatzeko zehaztasuna berdintsua zutela ondorioztatu zuen.



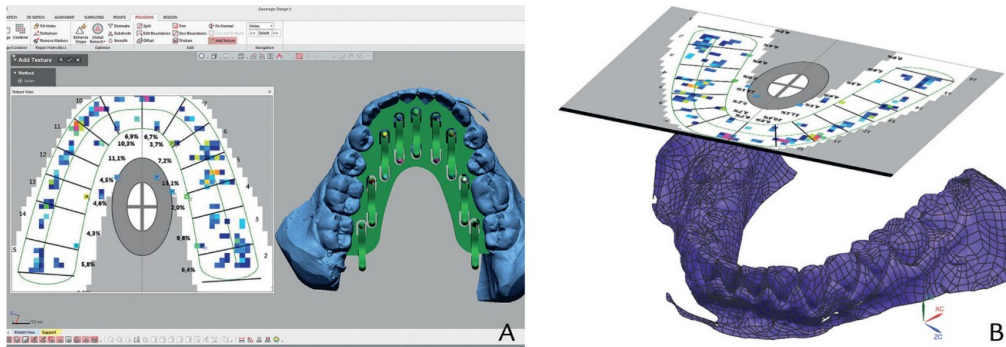
Iturria: [21] artikulutik hartutako irudiak.

**2-72. irudia.** T-Scan eta Accura sentsoreak igeltsuzko hortzerietara gainjarri ziren kontaktuen detekzio zehaztasuna aztertzeko

Solaberrieta ikertzaileak, T-Scan analizatzaileak detektatzen zituen kontaktu puntuak pazienteen digitalizatutako hortzerietan zehatz lokalizatze teknika bat proposatu



zuen [122]. Hobekuntza, hortzeria errealaren STL eskaneaketa bat eta T-Scan analizatzaileen neurketa emaitzak lerrokatuz eta elkarrekiko proiektatuz lortzen zen, horrela kontaktu puntuen lokalizazioaren zehaztasuna hobetuz (2-73. irudia) [125].



Iturria: [122] artikulutik hartutako irudiak.

**2-73. irudia.** T-Scan-aren emaitzen eta STL eskaneaketaren arteko lerrokatzea eta proiektzioa.

Indarren neurketan zehaztasunari buruzko estudioak gutxiago izan dira. Lee ikertzaileak Accura eta T-Scan analizatzaile digitalekin neurtutako indarren egiazkotasuna eta errepikakortasuna in-vitro saiakuntzen bidez konparatu zituen [20].

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

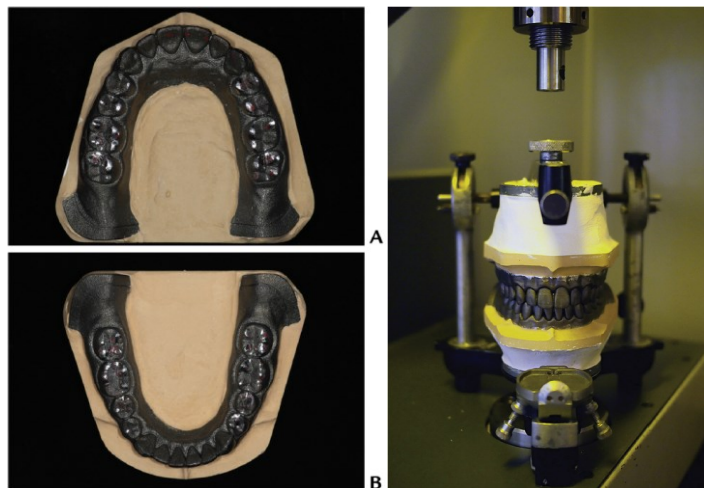


Table 1. Experimental protocol

Device	Day	Film Sensor 1		Film Sensor 2		Film Sensor 3		Film Sensor 4		Film Sensor 5	
		Rater 1	Rater 2	Rater 1	Rater 2	Rater 1	Rater 2	Rater 1	Rater 2	Rater 1	Rater 2
Accura	Day 1	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial
		Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial
		Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial
	Day 2	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial
		Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial
		Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial
T-scan Novus	Day 1	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial
		Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial
		Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial
	Day 2	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial	First trial
		Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial	Second trial
		Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial	Third trial

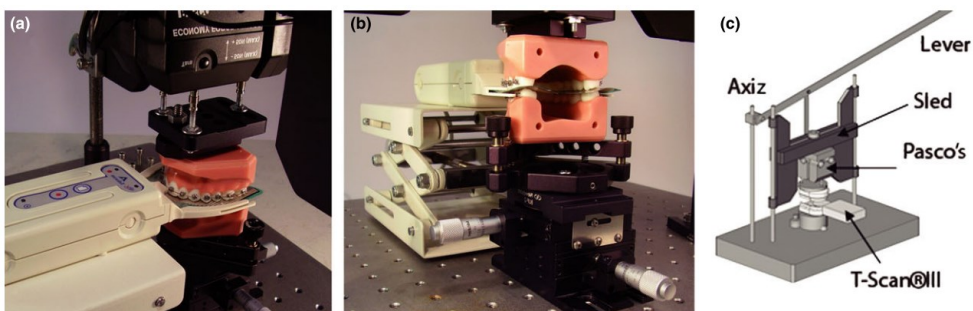
*Iturria: [20] artikulutik hartutako irudiak.*

### 2-74. irudia. In-vitro egindako kontaktu indarren zehaztasunen konparaketak.

2-74. irudian ikusi daitekeen bezala, titaniozko giza hortzeria bat fabrikatu eta hortz artikuladore erdi doigarri batean IMP-an muntatu zuen. Saiakuntzarako makina unibertsala erabiliz, 50 Newtonetako konpresio indarra aplikatu eta 2 egun desberdinetan 5 sentso desberdinekin analizatzaileen indarren neurketak hartu zituen. Konparatu zuen datu bakarra, analizatzaileek neurtutako indar magnitude totala izan zen, eta bi analizatzaile digitalen (Accura eta T-Scan) egiazkotasun eta errepikakortasun altua zutela ondorioztatu zuen.

Cerna ikertzaileak T-Scan III sistemaren baliozkotasuna frogatzeko in-vitro saiakuntza bat planteatu zuen [23]. Horretarako IMP-an “phantom” hortzeria bat muntatu, eta goiko hortzeriaren goi gainazalean 3 puntutan, kalibratutako 150 Newtonetako

konpresio indarra egiteko gaitasuna zuen mekanismo bat erabili zuen (2-75. irudia). Konpresio indarra 3 puntuetan banatzen zen, analizatzaileak kalkulatzeko zentrua, erdiko plano sagitalean ondo zentratuta geratu arte. Neurketa emaitza bezala konparatu zituen 2 neurri datuak, analizatzailek neurtutako indar magnitude totala eta indarra aplikatzeko abiadura izan ziren.



Iturria: [23] artikulutik hartutako irudiak.

**2-75. irudia.** In-vitro egindako kontaktu indarren zehaztasunen konparaketak.

Saiakuntza honekin, T-Scan analizatzailearen sentsoreak fabrikazio serie desberdinekoak baldin baziren, neurtzen duten indar magnitude totala fidagarria ez dela ondorioztatu zuen. Baina erabilitako sentsoreak fabrikazio serie berdinekoak zirenean, neurtutako indar magnitude totala errepikakorragoa zela ondorioztatu zuen.

Egin diren zehaztasun saiakuntzak ondo ulertzeko eta saiakuntza berriek planteamendu egoki bat izan dezaten, neurketa gailuen zehaztasuna, egiazkotasuna eta doitasuna ondo definitu behar dira. Edozein neurketa gailuk izan behar duten ezaugarri garrantzitsuena zehaztasuna da. ISO 5725-1 aruaren arabera [126], zehaztasuna, doitasuna eta egiazkotasuna arteko konbinazioa da (2-76. irudia). Hiru termino hauek aipatutako arauan argi definitzen dira:

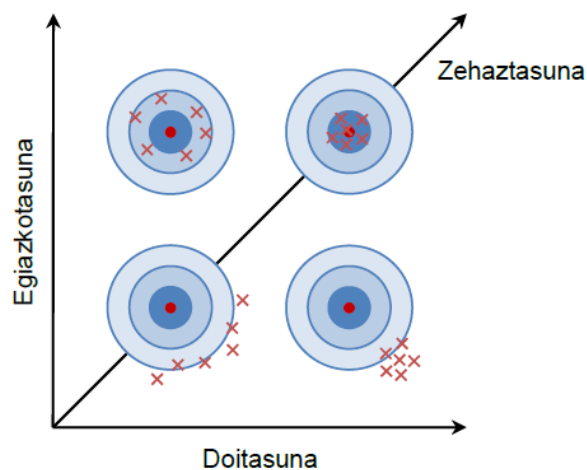
## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

---

Zehaztasuna (“Accuracy” ingelesez): zehaztasunak, neurketa baten emaitzaren eta onarturiko erreferentzia balioaren edo egiazko balioaren arteko gertutasuna ematen du. Neurkizun (“measurand” ingelesez) beraren neurketa prozesua errepikatuz, balio ezberdinak lortuko dira eta aipaturiko zehaztasun kontzeptua, egiazkotasun (“trueness” ingelesez) eta doitasun (“precision” ingelesez) kontzeptuetan bereizi beharko da.

Egiatzkotasuna (“Trueness” ingelesez): test edo neurketa ugari egin ondoren, neurketa horien emaitzen batezbestekoaren eta onartutako erreferentzia balioaren arteko gertutasuna emango duena da.

Doitasuna (“Precision” ingelesez): aurretik finkatutako neurketa baldintza batzuen barruan egindako neurketa ezberdinen emaitzen arteko gertutasuna emango duena da (2-79. irudia).

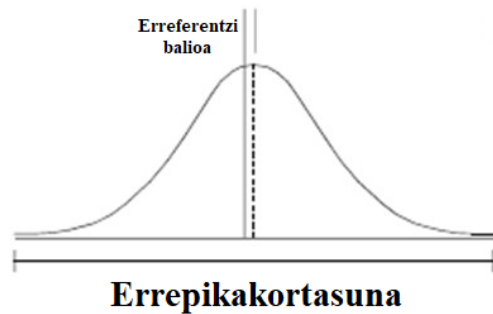


*Iturria: Norberak egindakoa.*

**2-76. irudia.** Zehaztasunaren, egiazkotasunaren eta doitasunaren azalpena.

Doitasunaren neurketa egiten den baldintzen arabera, errepikakortasuna eta erreproduzigarritasuna definitu daitezke.

Errepikakortasuna (“Repeatability” ingelesez): metodo berarekin, lagin berdinen gainean, laborategi berean, operadore berak, eta neurketa-ekipo berak erabiliz, denbora tarte labur batean lorturiko emaitza independenteen doitasuna da (2-77. irudia).

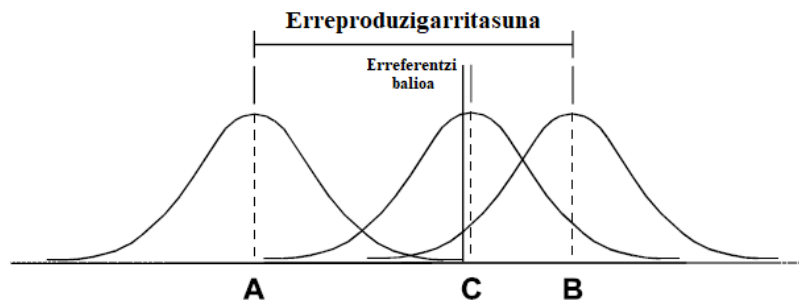


*Iturria: Norberak egindakoa, [127] erreferentzietatik hartutako irudiak erabilia.*

**2-77. irudia.** Errepikakortasunaren azalpena.

Errepikakortasuna, neurketa gailu baten kalitate maila erabakitzeke erabiltzen den irizpide nagusienetako bat da [127].

Erreproduzigarritasuna (“Reproducibility” ingelesez): metodo berarekin, lagin berdinen gainean, laborategi desberdinean, operadore desberdinak, eta neurketa gailu desberdina erabiliz, denbora tarte ez labur batean lorturiko emaitza independenteen doitasuna da (2-78. irudia).



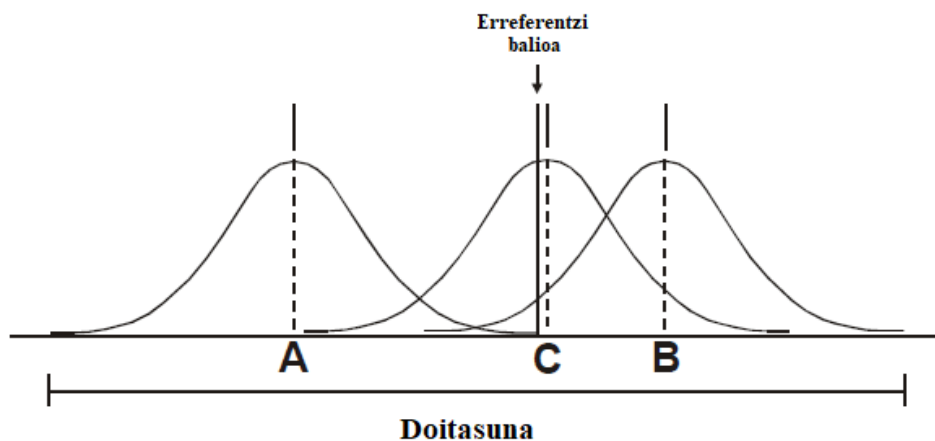
*Iturria: Norberak egindakoa, [127] erreferentzietatik hartutako irudiak erabilia.*

**2-78. irudia.** A, B eta C neurketa baldintza desberdinak izanik, erreproduzigarritasunaren azalpena.

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

---

Analizatzaile digital baten neurrien errepikakortasuna eta erreproduzigarritasuna neurtzeko, ISO 5725-1, ISO 5725-2 eta ISO 5725-3 arauak jarraitzen dira [126, 128, 129]. Odontologia digitalean erabiltzen diren aparatuentzat, errepikakortasuna eta erreproduzigarritasuna kontzeptuak jarraituz, doitasunak neurtzeko gida bat dago [130]. Hala ere, oklusio analizatzaile digitalentzat kontzeptu hauek erabiltzen dituen doitasun estudiorik ez da aurkitu.



*Iturria: Norberak egindakoa, [127] erreferentzietatik hartutako irudiak erabilia.*

**2-79. irudia.** A, B eta C neurketa baldintza desberdinak izanik, doitasunaren azalpen grafikoa.

### **2.6.5 MOMENTU EZBERDINETAN HARTUTAKO OKLUSIO ERREGISTROEN DOITASUNA**

Oklusio analizatzaile digitalek oklusioaren kalitatea aztertzeko informazio baliotsua ematen dute, eta informazio hori hainbat helburu kliniko desberdinetarako garrantzitsua da, hala nola artikulazio tenporomandibularreko gaixotasunak antzeman eta zuzentzeko [117, 131], inplanteekin edo inplanterik gabe hortz errehabilitazioak ebaluatzeko [99, 105], ortodontzia tratamenduen emaitza ebaluatzeko [132], eta baita ere hortzetako beste hainbat arazo tratatzeko ere, bruxismoa [133], hortz-higadura larria [134], eta giharretako mina [107], besteak beste.

Errehabilitazio tratamendu batzuen azterketa kliniko prospektiboak egin izan dira, eta hauetan, oklusioaren eboluzioa tratamenduaren fase desberdinetan analizatu izan da, oklusio analizatzaile digitalak erabiliaz [83, 98, 99, 135, 136]. Errehabilitazio tratamendu baten fase desberdinetan lortutako informazioa alderatu ahal izateko, erregistroen aldakortasunean lagun dezaketen faktoreak minimizatzea, eta beraz, erregistroen doitasuna hobetzea beharrezkoa da [129]. Bi momentu desberdinetan (normalean egun desberdinetan), paziente bati oklusio neurketak hartzen zaizkionean, odontologo berdinak hartzen dizkio (gailuaren operadore edo erabiltzaile berdina), gailu eta sentsore berdina erabiliz, eta lan kabinete berdinean eginez. Nagusiki, bi momentu desberdinetan aldatzen dena, sentsoreak pazientearen aho barruan hortzeriekiko duen kokapena izaten da. Beraz, ISO arauan [129] aipatzen diren “operadore”, “neurketa gailu” eta “laborategi” aldagaiak berdin mantentzen dira, baina “denbora” aldagaia da neurketa batetik bestera aldatzen den bakarra. Horregatik, “denbora” aldagaia aldatzeak sentsorearen kokapena aldatzea darama.

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

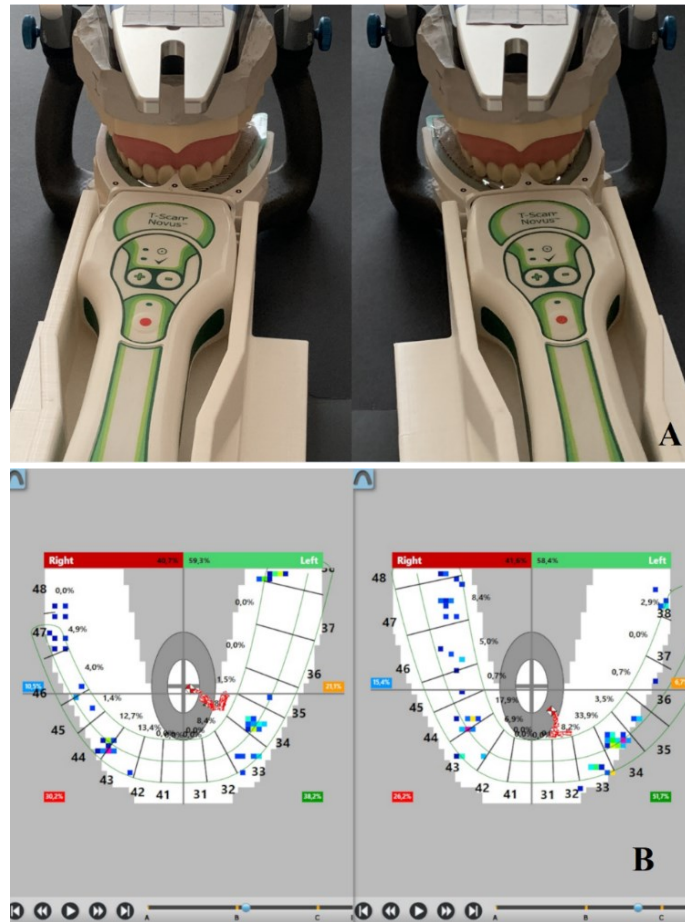
---

Hori horrela izanik, bi momentu desberdinetan analizatzaile digitalaren sentsore piezoelektrikoa, pazientearen ahoan berdin kokatu ezinak, KIO-en eta KI-Z-en neurketen doitasunean eragina izan dezake. Zentzu honetan, Wiechens-ek eginiko azterketan [111], oklusio analizatzaile digital batekin IMP-an neurtutako oklusio indarren KIO-ak eta KI-Z puntuak egunean zehar aldatzen zirela ondorioztatu zen. Hau horrela bada, komenigarria litzateke jakitea hori oklusio analizatzaile digitalaren doitasun falta edo beste arrazoi batzuen ondorio ote den [112].

T-Scan analizatzaile digitalak, bere sentsorea goiko hortz uztaiarekiko ondo zentratzeko euskarri bat dute. Euskarri horrek duen punta zentrala, bi ebakortzen artean jarrita, sentsorearen puntu bat pazientearen goi hortzeriarekiko beti modu berdinean kokatuta geratzea ahalbidetzen du. Baina zentratzeko euskarri honek, sentsorearen kokapena guztiz berdina izatea ez du bermatzen. Nahiz eta sentsorearen puntu bat hortzeriarekiko beti berdintsu kokatzeko gaitasuna izan, 2-80. irudian ikus daitekeenez, sentsorea puntu horrekiko biratu daiteke eta horrek oklusio indarren erregistroetan aldaketak eragiten ditu.

2-80. irudian, sentsorea ebakortzen artean gradu batzuk biratuta kokatu da eta posizio bakoitzari dagokion oklusio indarren informazioa aztertuz, kontaktu indarren zentroa oso desberdinak direla ikus daiteke.





*Iturria: Norberak egindakoa.*

**2-80. irudia.** A, T-Scan sentsorearen bi kokapen ebakortzen arteko ardatzarekiko biratuz. B, sentsorea A posizioetan egonik hartutako oklusio erregistroak.

Are okerrago, OccluSense analizatzaile digitalak ez du T-Scan-ak duen sentsorea zentratzeko antzeko euskarrik, eta horrek OccluSense aparatuaren doitasunean eragin zuzena okerrera du [75].

## 2. GAIAREN ESPARRU TEORIKOA

---

## **3. BALIABIDE METODOLOGIKOAK**

---

### **3.1 SARRERA**

Kapitulu honetan, giza oklusioaren analizatzaile digitalen inguruko tesi hau garatzeko erabili diren funtsezko baliabide metodologikoak azalduko dira. Egindako ikerketetan, lortu beharreko helburuak lortu ahal izateko, in-vitro saiakuntzak planteatu eta gauzatu dira. Saiakuntza hautan lorturiko emaitzak estatistikoki aztertzeko, IBM SPSS Statistics softwarea (26. bertsioa) eta “Real Statistics Resource Pack” osagarria instalatuta duen Microsoft Excel softwarea (2016 bertsioa) erabili dira.

Jarraian, in-vitro esperimentuetan erabilitako elementuak eta analizatzaile digitalen doitasuna aztertzeko erabili den GRR metodologia estatistikoa azalduko dira.

### **3.2 IN-VIVO ETA IN-VITRO SAIKUNTZAK**

Odontologiaren ikerkuntzaren arloan, in-vivo eta in-vitro saiakuntzak, bakoitzak bere abantailak eta mugak dituen bi ikuspegi dira. Bi saiakuntza aukerak funtsezkoak dira hortz tratamenduak, materialak eta teknika berriak ikertzeko eta garatzeko, eta haien arteko aukeraketa ikerketaren helburu espezifikoaren eta lortu nahi den informazioaren arabera da [137].

### 3. BALIABIDE METODOLOGIKOAK

---

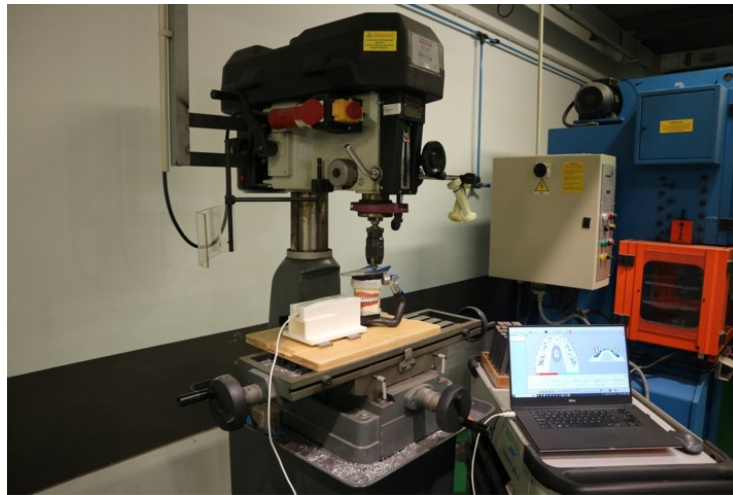
In-vivo saiakuntzek benetako pazienteekin ikerketak egitea eskatzen dute, eta horri esker, tratamendu edo material batek benetako aho ingurunean nola eragiten duen ebaluatu daiteke. In-vivo saiakuntzen abantaila esanguratsuenetako bat, praktika klinikoari zuzenean aplikatu dakizkieken emaitzak ematen dituztela da [138]. Beraz, in-vivo saiakuntzak funtsezkoak dira benetako testuinguru kliniko batean tratamendu baten tolerantzia, albo ondorioak eta eraginkortasuna ebaluatzeko. Hala ere, in-vivo saiakuntzak egitea garestia izan daiteke, denbora gehiago eskatzen dutelako eta estatistikoki emaitza sendoak lortzeko parte hartzaile kopuru handia eska dezaketelako. Gainera, badira kontsiderazio etikoak ere, hala nola pazienteen baimen informatua lortzea eta ikerketan zehar haien segurtasuna bermatzea [139], eta zentzu honetan ezinbestekoa izaten da erakundeen etikako oniritziak izatea. Tesi honen kasuan, Euskal Herriko Unibertsitatearen etikako oniritziaren baldintzapean zenbait in-vivo saiakuntza egin behar izan dira.

Bestalde, in-vitro saiakuntzak kontrolatutako laborategi ingurune batean egiten dira, lagin biologikoak edo aho baldintzen simulazioak erabiliz. Saiakuntza horiek oso kontrolatuak eta erreproduzigarriak dira, eta horrek aldagai espezifikoak manipulatzeko eta gertaerak xehetasunez behatzea errazten du. In-vitro azterketak, pazienteei aplikatu aurretik, hortzetako gaixotasunen mekanismoak hobeto ulertzeko, hortzetako material berrien erresistentzia, iraunkortasuna eta bateragarritasuna, eta beste hainbat gauza probatzeko ere, baliagarriak dira. Gainera, in-vitro saiakuntzak, normalean in-vivo saiakuntzekin alderatuta, azkarragoak izateagatik ere merkeagoak izaten dira [140].

Hala ere, in-vitro saiakuntzen emaitzek ez dutela ahoko ingurune errealearen konplexutasuna guztiz islatzen azpimarratzea garrantzitsua da. Alde batetik, ahoko ehun biziak dinamikoak dira [141], eta bestetik, elkarren artean isolatu ezin daitezkeen hainbat estimuluri erantzun bakar bat emanez erantzuten diete. Beraz, in-

vitro saiakuntzen emaitzak arretaz interpretatu behar dira, eta, aplikazio klinikoetara eramanez aurretik, kasu gehienetan, in-vivo azterketen bidez balioztatu behar dira.

Tesi lan honetan, giza aho oklusioan gertatzen diren indarren ezaugarriak aztertzeko in-vitro saiakuntza bat diseinatu da (3-1. irudia). Horretarako, ahoan dauden benetako elementu biologikoak ordezkatu, simulatu eta hauen funtzioak modu baliokidean betetzen dituzten elementuak eta sistemak erabili dira. Ondorengo ataletan in-vitro saiakuntzan erabilitako elementuen ezaugarriak eta betebeharrak azaltzen dira.



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**3-1. irudia.** Oklusio indarrak aztertzeko in-vitro saiakuntza.

#### **3.2.1 IGLTSUZKO HORTZERIAK**

Paziente erreal bakoitzeko, bere goiko eta beheko hortzerien igeltsuzko erreplika bat egin da (3-2. irudia), horretarako 2.4.3 atalean azaldutako prozedura jarraitu da. Igltsuzko hortzeriak benetako hortzerien xehetasun geometriko guztiak modu zehatzean errepresentatzeko gai dira eta igeltsuak duen erresistentziarekin, saiakuntzetan egingo diren indarrak arazo gabe jasateko gai dira.

### 3. BALIABIDE METODOLOGIKOAK

---



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**3-2. irudia.** Bi gizabanakoren igeltsuzko hortzeriak.

#### **3.2.2 EZ-ARCON MOTAKO ARTIKULADORE ERDI DOIGARRIA**

2.4.2 atalean azaldutako artikuladoreen artean, III. motako artikuladore mekanikoa bat (Artex CN; Amann Girrbach AG) erabiltzea erabaki da. Artikuladore mota hauek oklusioaren mugimenduak zehaztasunez erreproduzitzeko gaitasuna dute, baina gizabanako bakoitzaren neurritara doitu beharrik ez dago (3-3. irudia). Hau dela eta, hortz kliniketan egiten diren errestaurazioa tratamenduentzat gehien erabiltzen den artikuladore mota da [25]. Artikuladoreak, gizakiaren masailezurra, baraila eta ATM giltzadura ordezkatzeko ditu.

2.4.3 atalean azaldutako prozedura jarraituz, igeltsuzko hortzeriak IMP-an artikuladorera transferitzen dira. Horretarako, hortzeria bakoitzeko oklusioaren erregistroak hartzen dira, eta guztietan arku faziala (Artex facebow; Amann Girrbach AG) eta transferentzia mahaia (Artex Transfer Table; Amann Girrbach AG) hortzerien orientazio eta posizioak maxilarrarekiko berdin kokatzeko erabiltzen dira. Artikuladoreen muntaia prozedura hau oso ezaguna eta erabilia da edozein hortz kliniketan, beraz kalitatez lorturiko hortzeria artikulatuak erraz lortu daitezke.



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**3-3. irudia.** Artex CN (Amann Girrbach) artikuladore erdi doigarria.

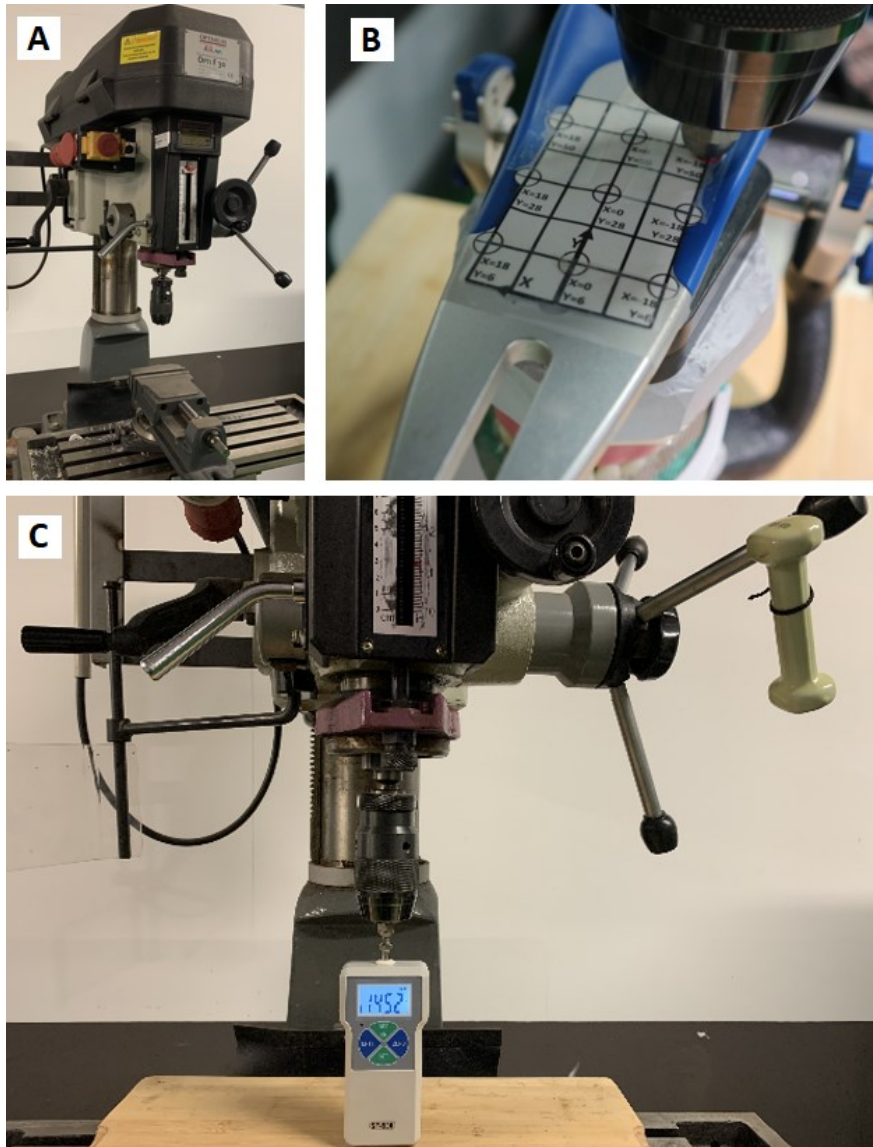
### **3.2.3 MURTXIKATZE INDARRA SIMULATZEKO SISTEMA ETA ELEMENTUAK**

Murtxikatze giharrek egiten duten indarra modu kontrolatu eta errepikakor batean simulatzeko, 3-4. irudian azaltzen den zulagailu bertikal bat (OPTI F30; Optimum) eta elementu osagarri batzuk erabili dira: punta esferikoa, pisuak eta dinamometro digitala.

Ahoaren ixte indarra, artikuladorearen goiko osagaia zapalduz simulatu daiteke, horretarako 12,5 mm-tako diametroa duen punta esferiko bat zulagailuaren erreminta euskarrian kokatuko da. Gainera, zulagailuaren jaiste palankan pisu batzuk zintzilikatuz, beti indar berdina aplikatzea lortzen da. Eta punta esferikoak aplikatzen duen indar magnitude hori ezagutu nahi bada, dinamometro digital batekin (Beslands Push-pull Force Gauge, SF-500; beslandstool) neurtzen da (3-4. irudia).

### 3. BALIABIDE METODOLOGIKOAK

---



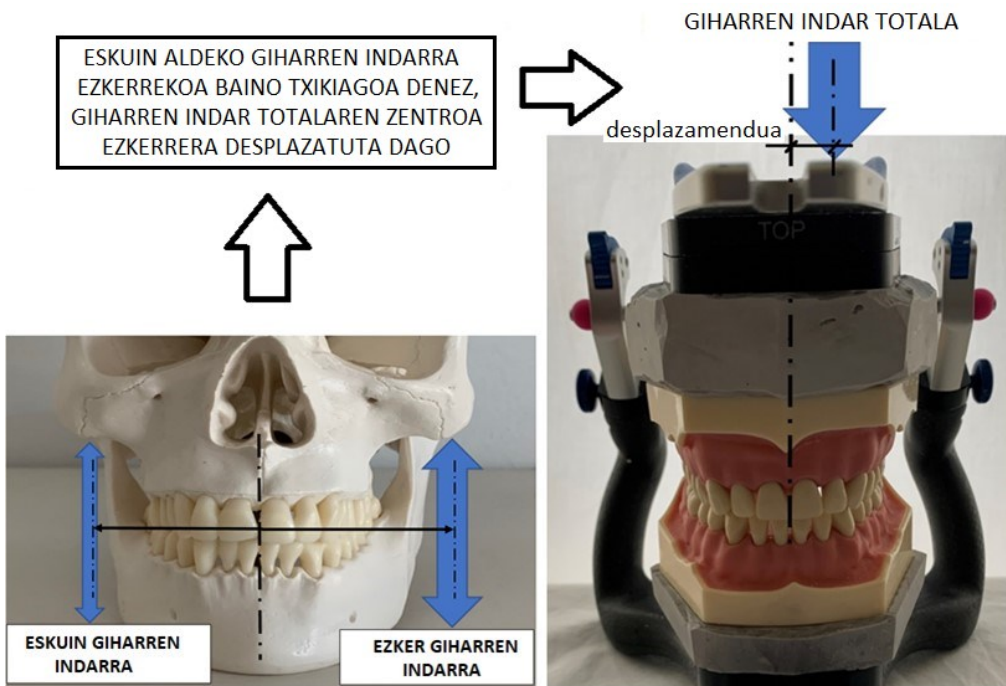
*Iturria: Norberak egindakoa.*

**3-4. irudia.** A; zulagailu bertikala, B; zapaltzeko punta esferikoa, C; kontrolatutako indarra ezartzeko pisua eta dinamometroa.

Punta esferikoak artikuladorearen goiko elementua zapaltzen du. Zapalkuntza indarra aplikatzeko puntua, erdiko plano sagitaletik alboetara desplazatuz, murtxikatze indar desorekatu bat simulatzen da. Puntaren desplazamendua zenbat eta handiagoa izan,



orduan eta murtxikatzeko indar totalaren ezker eskuin desoreka handiago bat simulatzen da (3-5. irudia).



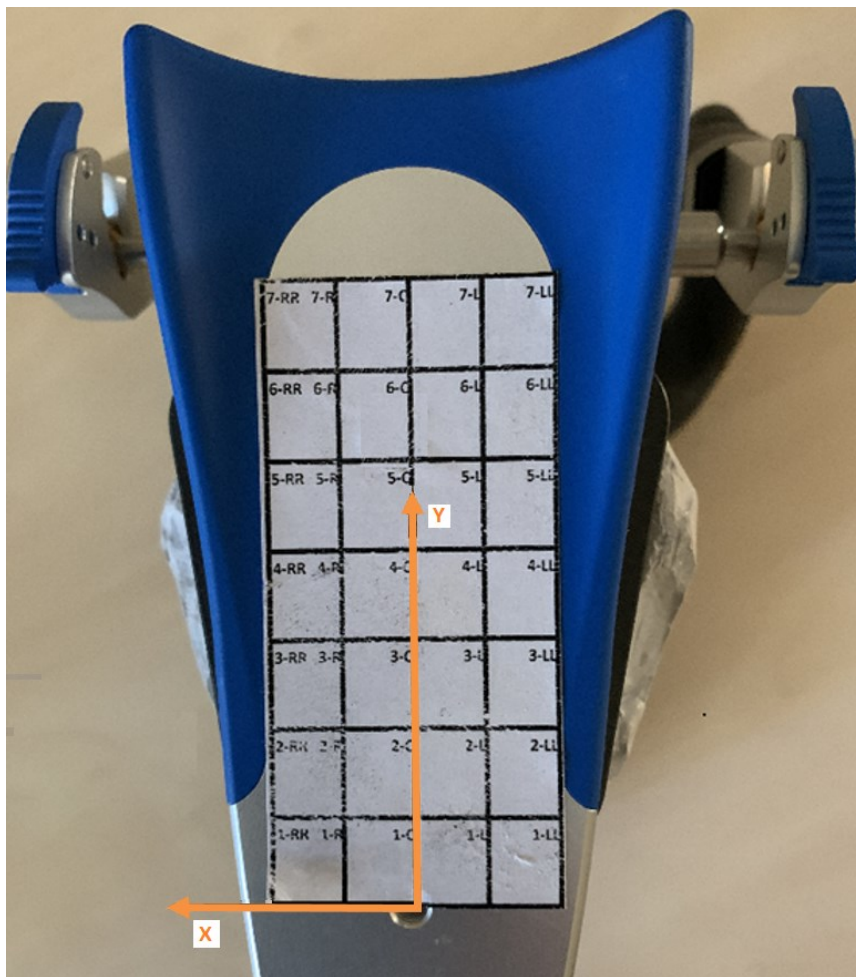
Iturria: Norberak egindakoa.

3-5. irudia. Puntaren desplazamenduaren azalpen grafikoa.

### 3. BALIABIDE METODOLOGIKOAK

---

Kontaktu indarren zentroarentzat erabiliko den erreferentzia sistema (2-68. irudia) berdina duen txantilo bat itsatsi zaio artikuladorearen goiko elementuari, horrela murtxikatze indarraren aplikazio puntuak txantiloaren gainean aldatzean, murtxikatze indarren desoreka desberdinak simulatzen dira (3-6. irudia).

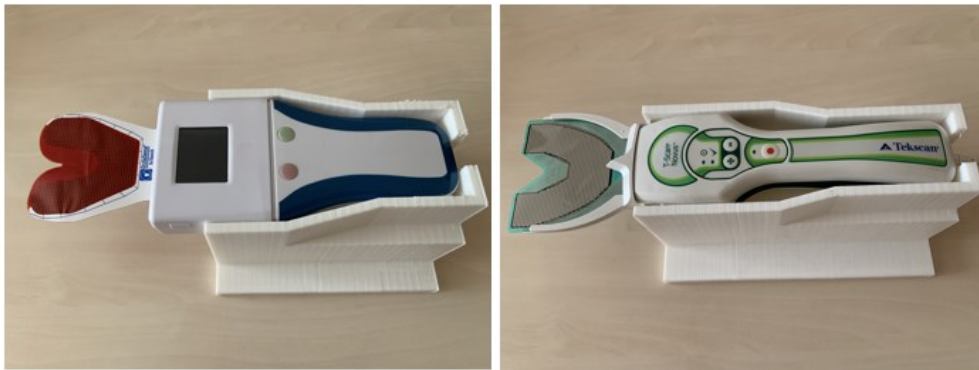


*Iturria: Norberak egindakoa.*

**3-6. irudia.** Murtxikatze indar desorekatua kontrolatzeko txantiloa. (X): zeharkako ardatza, (Y): luzeetarako ardatza.

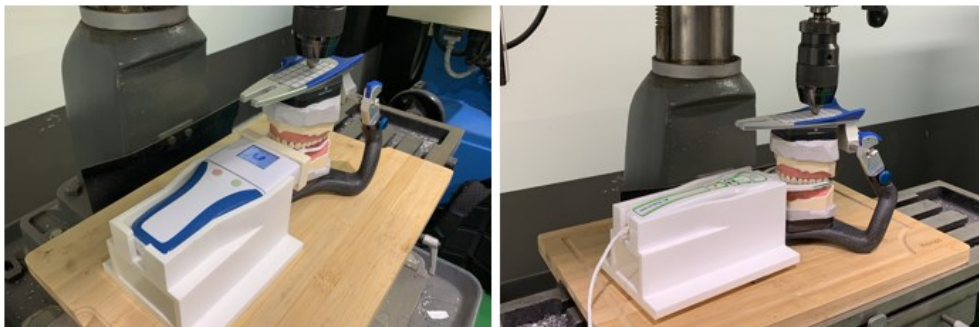
### 3.2.4 OKLUSIO ANALIZATZAILE DIGITALEN KOKAPENAK

T-Scan eta OccluSense analizatzaile bakoitzari neurrira diseinatutako euskarri bat fabrikatu zaio (3-7. irudia), eta fabrikatutako euskarri hauek erabiliz, analizatzaile digitalen sentsorea artikulatutako ahoaren hortzeriekiko posizio finko batean mantentzen dira (3-8. irudia), murtxikatze indarrak behin eta berriz aplikatzen diren bitartean. Kokapen sistema honek, odontologoek eskua eta sentsorea toki berean mantentzeko gaitasuna simulatzen du.



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**3-7. irudia.** Oklusio analizatzaileentzat neurrira fabrikatutako euskarriak.



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**3-8. irudia.** Analizatzaileen sentsorea hortzerietan kokatzeko sistema.

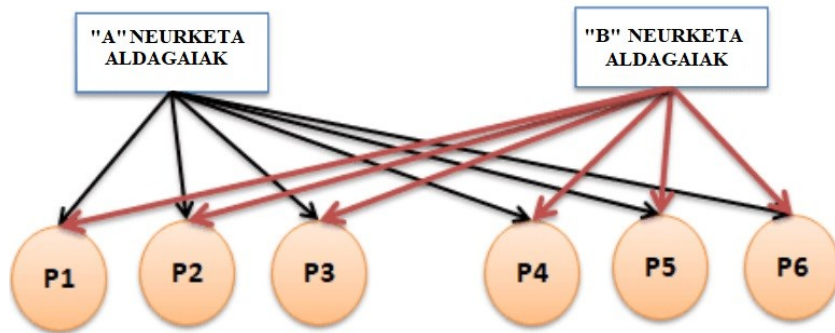
### **3.3 NEURKETA APARATUEN DOITASUNA NEURTZEKO GRR METODOLOGIA**

Edozein prozesu klinikotan, neurketa aparatu batekin egindako neurrien zehaztasuna ondo bermatuta izatea funtsezkoa da. Jakina da, zehaztasun altua lortzeko, doitasun eta egiazkotasun altuak konbinatzen dituen neurketa sistema bat beharko dela, eta era berean, doitasuna altua lortzeko neurketa sistema osoak errepikakortasun eta erreproduzagarritasun altuak konbinatu beharko dituela [130].

Neurketen zehaztasuna ebaluatzeko eta bermatzeko, metodologia espezifikoak erabili daitezke, eta horietako bat GRR “Gage Repeatability and Reproducibility” izena duen, eta industrian zabaldua dagoen, metodo ezaguna da [142, 143]. GRR metodoak, neurketa sistema osoak (neurketa aldagaia jakin batzuk dituen: aparatua, neurketa prozedura, erabiltze tokia, erabiltzailea, eta abar), hartzen dituen neurri numerikoen doitasuna ebaluatzeko erabiltzen den metodo bat da [127].

#### **3.3.1 ZEHARKAKO GRR METODOLOGIAREN PLANTEAMENDUA ETA HELBURUA**

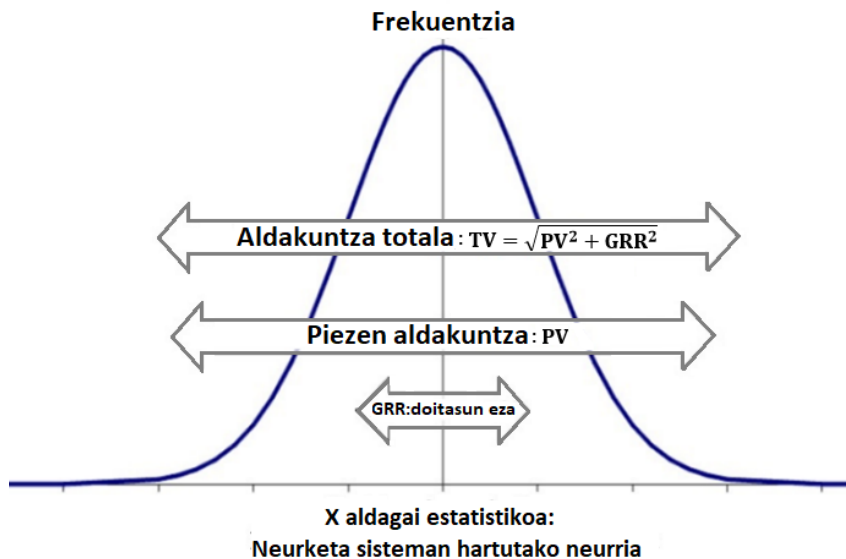
Piezak edo hortzeriak suntsigarriak ez direnez, tesi honetan zeharkako GRR metodoa erabili da [144]. Metodo honek, neurketa sistema, neurketa aldagai jakin batzuekin (neurketa-ekipoa, erabiltze tokia, erabiltzailea, eguna), indibiduo multzo berdin bati errepikakortasun baldintzetan (metodo berarekin, indibiduo berdinari, laborategi berean, operadore berdinak, eta neurketa-ekipo bera erabiliz, eta denbora tarte labur batean) zenbait aldiz neurriak hartzea eskatzen du. 3-9. irudiak, A eta B neurketa aldagai desberdinekin, P1-P6 piezei neurri berdina zenbait aldiz hartzen zaiela adierazten du.



Iturria: Norberak egindakoa.

3-9. irudia. Zeharkako GRR metodologiaren neurriak hartzeko eskema.

Neurri guztiak hartu ondoren, analisi estatistiko bat burutuz, neurri horien aldakuntzak aztertzen dira. Analisi estatistikoaren emaitza bezala, neurrien aldakuntzen arrazoiak zeintzuk diren analizatzen da. Aurreneko fase batean, aldakuntzaren arrazoiak, pieza desberdinak neurtu direlako edo neurketa sistemak doitasun faltak dituelako ondorioztatuko da, eta arrazoi horietako bakoitzaren eragina kuantifikatuko da (3-10. irudia).



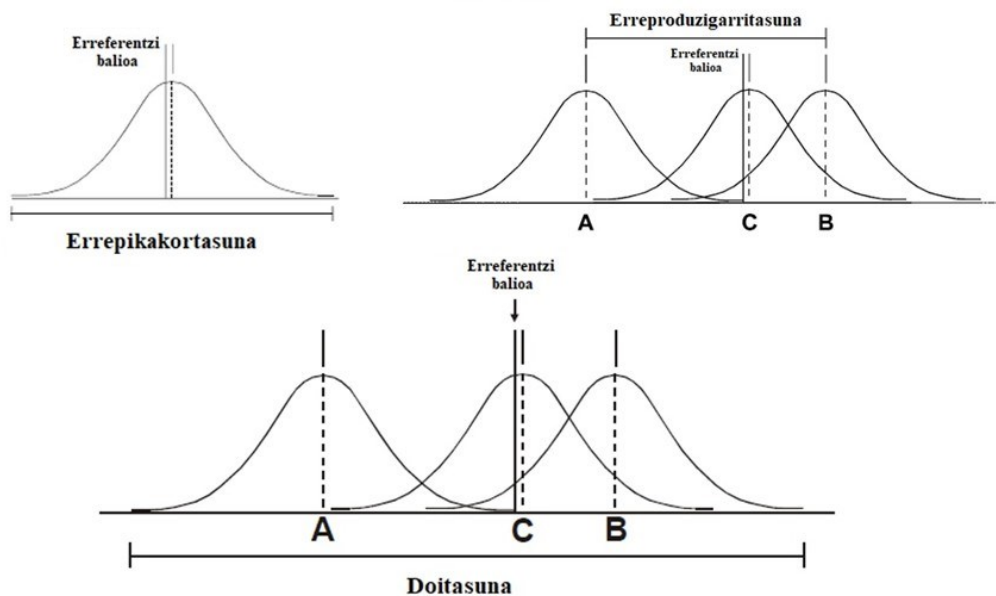
Iturria: Norberak egindakoa.

3-10. irudia. GRR metodologiak neurketen doitasun falta kuantifikatu dezake.

### 3. BALIABIDE METODOLOGIKOAK

---

Neurketa sistemaren doitasun falta kuantifikatu ondoren, bigarren fase batean doitasun falta horren arrazoa zein den ondorioztatzen da. Arrazoa, sistemaren errepikakortasun falta edo erreproduzigarritasun falta izan daitekeelarik (3-11. irudia).



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**3-11. irudia.** GRR metodologiak errepikakortasun eta erreproduzigarritasun falta kuantifikatu dezake.

Errepikakortasuna, neurketa bera operadore berak behin eta berriz jarraian baldintza berdinetan egiten duenean definitzen da. Errepikakortasuna neurgailu batek emaitza doiak neurtzeko duen gaitasunari erlazionatzen da. Beraz, errepikakortasun altuak neurketak koherenteak eta fidagarriak direla adierazten du [127].

Erreproduzigarritasunak bestalde, magnitude bera metodo berdina erabiliz, baina operadore, ekipo, laborategi edo/eta egun desberdinetan neurtzen denean, antzeko emaitzak lortzeko duten gaitasuna ebaluatzen du. Errepikakortasun altuak eta erreproduzigarritasun baxuak, neurketak sendoak direla adierazten du, baina

operadore, ekipo, laborategi edo/eta egun desberdinen artean aldera daitezkeela [127].

#### 3.3.2 ZEHARKAKO GRR METOLOGIA BURUTZEKO PAUSOAK

GRR metodologia burutzeko hiru metodo nagusi daude: heinaren metodoa, batezbesteko eta heinaren metodoa, eta ANOVA bidez aldakuntzaren analisiaren metodoa. Azken hau errepikakortasunari eta erreproduzigarritasunari buruzko informazio gehien ematen duen metodoa denez [145], tesi lan hau burutzeko erabili dena izan da. Metodoa burutzeko ondorengo urratsak eman behar dira:

1. Piezak edo hortzeriak hautatzea: prozesuan neurketaren aldakortasun guztia ondo adierazten duten piezak edo hortzeriak aukeratzen dira.
2. Erreproduzigarritasun baldintzak aldatzen dituzten eragileak (neurketa baldintzak) hautatzen dira: operadorea, gailua, laborategia, edo eta eguna izan daitezke. Eragileen hautaketak erreproduzigarritasuna ebaluatzeko balio duenez, lortuko diren ondorioak erreproduzigarritasun baldintzen baitan egongo dira. Tesi honetan eguna edo denbora aldatu da bakarrik, beraz lortu diren erreproduzigarritasun ondorioak denbora aldaketari dagozkie.
3. Neurketa errepikatuak: hautatutako erreproduzigarritasun eragileekin, pieza bakoitza zenbait aldiz errepikakortasun baldintzetan neurtu da.
4. Datuak bildu eta beraien aldakuntzaren analisia, ANOVA estatistika metodoa erabiliz burutzen da. Ondoren, eta adibide modura prozedura honekin lortzen den emaitzaren taula tipiko bat azaltzen da (3-1. taula).

### 3. BALIABIDE METODOLOGIKOAK

GRR NEURKETA SISTEMEN EBALUAZIOA						
ANOVA	Alpha				0,05	
	KB	AM	BK	F	P-balioa	Sig.
Pieza	4,562	9	0,507	35,626	<0,001	
Eragilea	0,028	3	0,009	0,660	0,584	
Eragile*pieza	0,384	27	0,014	27,701	<0,001	Bai
Errepikakortasuna	0,108	200	<0,001			
Totala	5,077	239	0,021			
Aldakuntza						
				AIAG klasifikazioa		
	Bariantza		DS		Tartea	Ebaluazioa
GRR Totala	0,280%	12,0%	5,3%	34,6%	>30%	Txarra
- Errepikakortasuna	0,051%	2,2%	2,3%	14,8%	10%-30%	Ertaina
- Erreproduzigarritasuna	0,229%	9,8%	4,8%	31,3%	>30%	Txarra
-- Eragilea	0,000%	0,0%	0,0%	0,0%		
-- Eragile*pieza	0,229%	9,8%	4,8%	31,3%		
Pieza-pieza	2,053%	88,0%	14,3%	93,8%		
Aldakuntza totala	2,332%	100,0%	15,3%	100,0%		
Kategoria zenbakia:		3				

AIAG, automotive industry action group. AM, askatasun mailak. F, Fisher estatistikoa. GRR, gage repeatability and reproducibility. BK, batezbesteko karratua. DS, desbideratze estandarra. KB, karratuen batuketak.

**3-1. taula.** GRR metodoaren emaitza taula adibidea.

- Emaitzen interpretazioak: analisiaren emaitzen taulan oinarrituta, neurketa sistemaren ebaluazioa egin daiteke. Horretarako, 3-1. taulako datu batzuk aztertzen dira: Hartutako datu guztien aldakuntza totaletik, %88,0-a piezak desberdinak izateagatik da, eta %12,0-a neurketa sistemak duen doitasun faltagatik. Gainera, doitasun falta horretatik, %2,2-a neurketa sistemaren errepikakortasun faltagatik da, eta %9,8-a neurketa sistemaren erreproduzigarritasun faltagatik.

Bestalde, Amerikako “automotive industry action group” (AIAG) erakundeak, metodo hau jarraituz eta lorturiko emaitzen arabera, neurketa sistemaren errepikakortasuna eta erreproduzigarritasuna baloratzen du. Zeharkako GRR frogan lortutako errepikakortasunaren eta erreproduzigarritasunaren desbideratze estandarren proportzioaren arabera (3-1. taula), horiek ona, ertaina eta txarra bezala baloratzen dira (3-2. taula).



Desbideratze estandarraren %	Ebaluazioa
< %10	Ona
> %10 eta < %30	Ertaina
> %30	Txarra

**3-2. taula.** AIAG erakundeak doitasuna, errepikakortasuna eta erreproduzigarritasuna ebaluatzeko proposatzen duen irizpidea.

### 3. BALIABIDE METODOLOGIKOAK

---

## 4. HELBURU OROKORRAK

---

Lan honen helburu orokorrak honako hiru hauek izan dira.

1. Oklusioaren biomekanikan parte hartzen duten indarrak modu egokian simulatuko dituen in-vitro saiakuntza berriak sortzea, bertako indarrek nola elkar eragiten duten aztertzeke eta odontologia arloan horien inguruko ulermena hobetzeko.
2. Odontologiako merkatuan erreferenteak diren bi oklusio analizatzaile digitalak aztertzea, eta bakoitzaren azken hardware eta software bertsioak erabiliz, bi gailuen zehaztasunaren azterketak eta konparaketak egitea.
3. Merkatuan erreferenteak diren 2 oklusio analizatzaile digitalen neurketa metodoak zehatzago izateko teknika berritzaileak planteatzea eta horien egokitasuna frogatzea.

#### 4. HELBURU OROKORRAK

---

## 5. ARTIKULUEN AZALPENA

---

### 5.1 1. ARTIKULUA: Murtxikatze indarren zentroak, oklusioko kontaktu indarren posizioan duen eragina, oklusio analizatzaile digital bat erabiliaz

#### 5.1.1 HELBURU ZEHATZAK ETA HIPOTESIAK

Helburu zehatza: interkupidazio maximoko posizioan dagoen edozein igeltsuzko hortzeria artikulatuk dituen kontaktu indarren zentroak beti finko mantentzen diren analizatzea.

Murtxikatze indarren magnitudea konstante mantenduta, kontaktu indarren zentroaren posizioa beti toki finko berdinean gelditzen bada, posible litzateke hortzerien geometria aldatuz, kontaktu indarren zentroaren posizioa, klinikoki egokia den posizio bateraino behin betiko eramatea. Aldiz, murtxikatze indarren magnitudea konstante mantenduta, horien aplikazio zentroa posizioz aldatzean kontaktu indarren zentroaren posizioa aldatzen bada, hortzerien geometria aldatzeak bakarrik ez luke betirako bermatuko klinikoki egokia den kontaktu indarren zentroaren posizio bat lortzea.

Hipotesiak: analisia aurrera eramateko honako bi hipotesi nulu hauek ezarri dira:

## 5. ARTIKULUEN AZALPENA

---

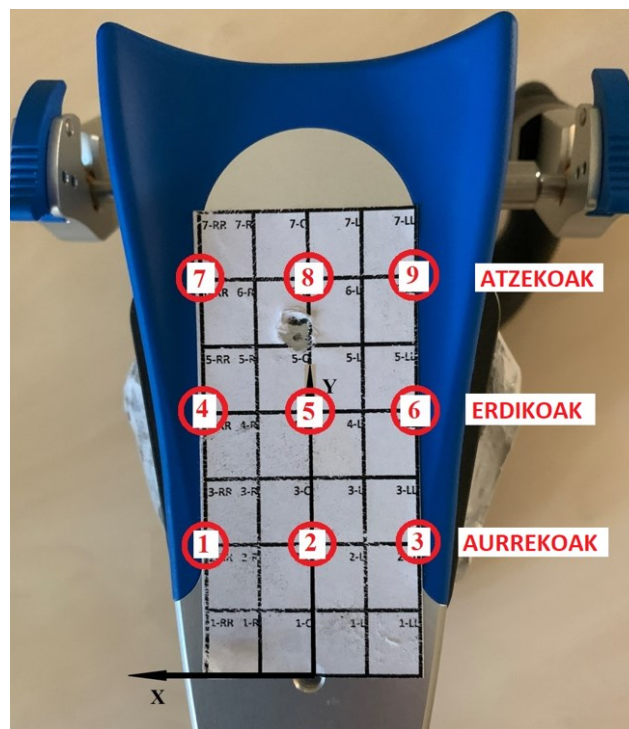
1. Artikulatutako igeltsuzko edozein hortzeria batean, murtxikatze indarren magnitudea konstante mantentzen bada, ez da murtxikatze indarren zentroaren posizioaren eta kontaktu indarren zentroaren posizioaren arteko eraginik egongo.
2. Artikulatutako igeltsuzko edozein hortzeria batean, murtxikatze indarren magnitudea konstante mantentzen bada, ez da murtxikatze indarren zentroaren posizioaren eta kontaktu indarren magnitudearen arteko eraginik egongo.

### 5.1.2 METODOLOGIA

Murtxikatze indarren zentroaren posizioak, kontaktu indarren zentroaren posizioan eta kontaktu indarren magnitudean duen eragina aztertzeko, murtxikatze indarrarekiko baliokide den eta magnitude konstantea duen sarrera-indar bat aplikatu da, 3-4. irudian ikusten den hortzeria artikulatuen gainean, 9 posizio desberdinetan (posizio bakoitzak, murtxikatze indarren oreka egoera desberdin bat simulatzen du). Saiakuntzan 3 hortzeria desberdin erabili dira (CASE GSR, CASE GSL eta CASE BSL), artikuladore erdi doigarri batean (Artex CN; Amann Girrbach) IMP-an muntatuta. Horretarako 3 hortzeriak, 3.2.3 ataleko elementuak erabiliz eta 2.4.3 atalean azaltzen den prozedura jarraituz prestatu dira. Prozedura hori jarraituz, bat datoz gizabanako bakoitzaren Frankfurt plano eta artikuladorearen goiko osagaiaren plano (2-35. irudia).

Hiru hortzeria horiek, oklusio ezaugarri desberdinak izateagatik hautatu dira: CASE GSR hortzeriak (“Good Symmetry and Right displaced”) kontaktu-puntu asko ditu, ezker eskuin simetria onekoa da, eta KI-Z apur bat eskuinerantz desplazatua du; CASE GSL hortzeriak (“Good Symmetry and Left displaced”) ere kontaktu-puntu simetrikoki asko ditu, baina bere KI-Z ezkererantz apur bat mugitua du; azkenik, CASE BSL hortzeriak (“Bad Symmetry and Left displaced”) simetria gabeko kontaktu-puntu gutxi ditu, eta bere KI-Z erdiko plano sagitalaren ezkeraldera asko desplazatua du.

Artikuladorearen goiko osagaiari sarrera-indarra 9 puntutan aplikatu ahal izateko, XY koordinatu-sistema bat (X = zeharkako ardatza eta Y = luzeetarako ardatza) duen txantiloa bat itsatsi zaio (5-1. irudia). Txantiloak, 3 errenkada eta 3 zutabe ditu: aurreko errenkada ebakortzetatik 6 mm-ra, erdiko errenkada ebakortzetatik 28 mm-ra, eta atzeko errenkada ebakortzetatik 50 mm-ra. Bestetik, lehenengo zutabea erdiko plano sagitaletik eskuinera dago kokatuta, 18 mm-ra, bigarrenkoa erdiko plano sagitalean, eta hirugarrenkoa erdiko plano sagitaletik ezkerretara, 18 mm-ra.



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**5-1. irudia.** Saiakuntzaren sarrera-indarra 9 posizioetan aplikatzeko txantiloia.

Neurketak egiteko, T-Scan oklusio analizatzaile digitala hortzeria bakoitzean kokatzen da, neurrira fabrikatutako egitura finko baten laguntzarekin. Jarraian, zulagailu bertikal batekin (OPTI F30; Optimum) murtxikatze-indarrarekiko baliokidea den sarrera-indar bat aplikatzen da (169 N-eko magnitude konstantea duena). Indarra, 10

## 5. ARTIKULUEN AZALPENA

---

aldiz aplikatzen da aplikazio puntu bakoitzean, errepikakortasun balditzetan (5-2. irudia).



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**5-2. irudia.** 169 N-ko magnitudea duen sarrera-indarraren aplikazioa.

Sarrera-indarra aplikatzen den bakoitzean, analizatzaile digitalarekin oklusioa neurtzen da, fabrikatzailearen protokoloa jarraituz [124]. Neurketa guztiak analizatzaile digitalaren programa informatikoan erregistratzen dira, eta oklusio bakoitzetik, 3 datu adierazgarri aztertzen dira: KI-M, eta 5-1. irudiaren erreferentzia sistema berdina erabiliz, KI-Z-ren X eta Y koordinatuak. X koordinatua KI-Z-ak erdiko plano sagitalarekiko duen zeharkako kokapenari dagokio, eta Y koordinatua, berriz, aurreko ebakortzetatik luzeetarako norabidean atzeraka duen kokapenari. Guztira, 270 oklusio egin eta neurtu dira (3 hortzeria x 9 puntu x 10 errepikapen). Bi hipotesi nulua egiaztatzeko, eginiko neurketa guztiak estatistika-programa batean (IBM SPSS Statistics, v26; IBM Corp) aztertu dira.

Lehen hipotesi nulua frogatzeko, neurri errepikatuak dituen 2 faktoretako ANOVA ( $\alpha=0,05$ ) froga estatistikoa burutu da. KI-Z-aren X eta Y koordinatuak modu



independentean aztertu dira. Koordinatu bakoitza, 10 aldiz errepikatutako, 9 mailako faktore bat duen (sarrera-indarraren aplikazio puntuak), eta 3 mailako beste faktorea bat duen (hortzeriak) neurria dela kontsideratu da.

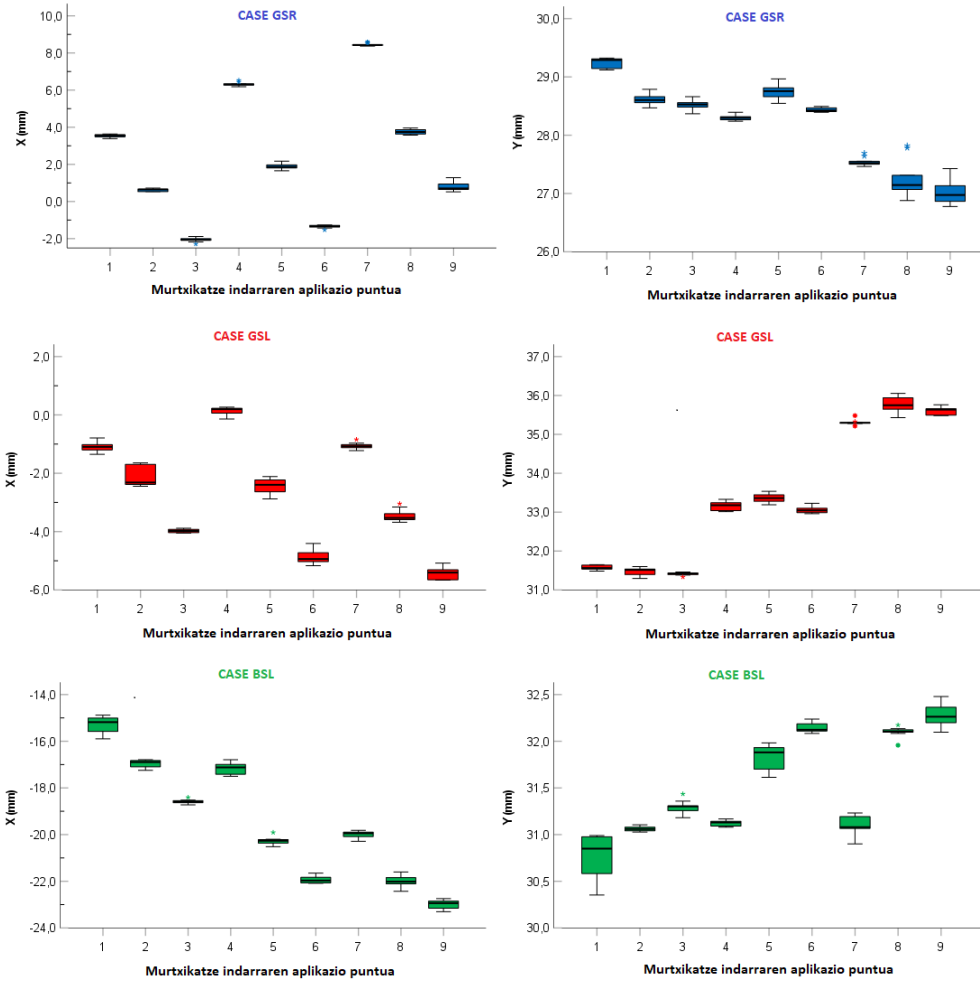
Era berean, eta bigarren hipotesi nulua frogatzeko ere, ANOVA frogak berdina burutu da. Kasu honetan, KI-M neurria 30 aldiz errepikatutako, 3 mailako faktore bat duen (aurreko 3 aplikazio puntuak, erdiko 3 aplikazio puntuak, eta atzeko 3 aplikazio puntuak) eta 3 mailako beste faktorea bat duen (hortzeriak) neurria kontsideratu da.

### 5.1.3 EMAITZAK ETA EZTABAIDA

Sarrera-indarraren aplikazio puntuak, KI-Z-ren X eta Y koordinatuetan duen eragina 5-3. irudian erakusten da. Neurri errepikatuak dituen 2 faktoretako ANOVA frogak, 3 hortzerietan, X koordinatuetan ( $F_{G-G} [9,32; 125,85]=1.204,70; P<0,001; \eta^2=0,989$ ) eta Y koordinatuetan ( $F_{G-G} [7,75; 104,66]=1.149,69; P<0,001; \eta^2=0,988$ ), sarrera-indarraren aplikazio puntu taldeen arteko alde esanguratsuak erakutsi ditu (5-3. irudia), eta horrek lehenengo hipotesi nulua baztertzen du, sarrera-indarraren aplikazio puntuek eragina izan dutela adieraziz.

Gainera, 27 taldeentzako 10 errepikapenetan neurtutako X eta Y koordinatuen balioetan, % 0,37-ko batezbesteko aldakuntza-koefizientea lortu da.

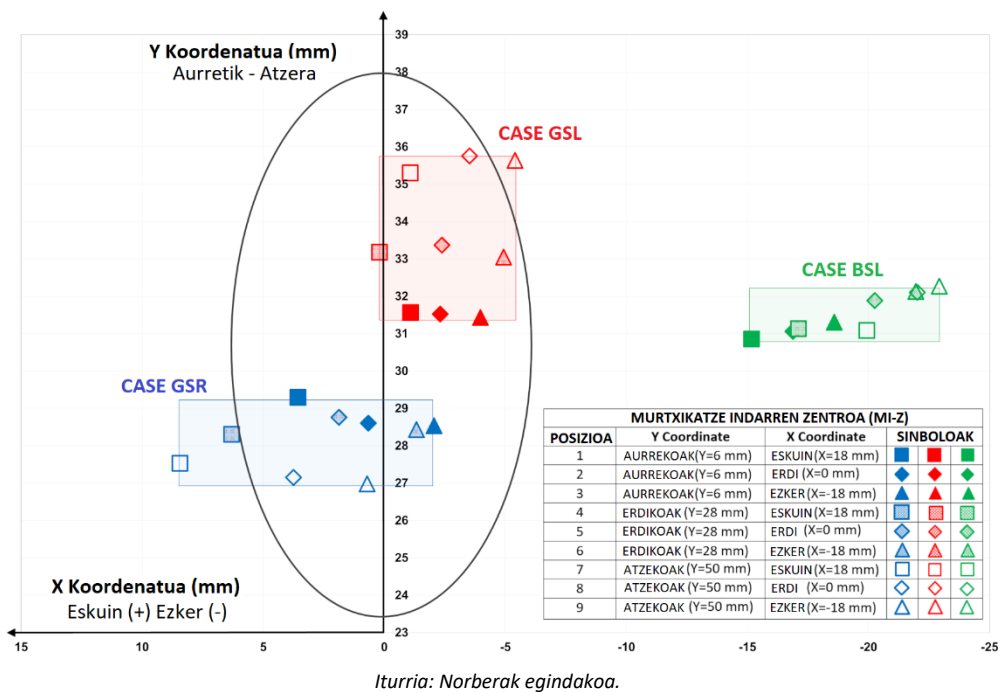
## 5. ARTIKULUEN AZALPENA



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**5-3. irudia.** KI-Z-aren X eta Y koordenatuen kutxa diagramak, 3 hortzerientzat.

5-4. irudian, KI-Z-aren kokapenaren mediana errepresentatu da sinbolo batekin, MI-Z-ren aplikazio puntua aldagaiaren errepikapen multzo bakoitzeko, hau da, 9 sinbolo desberdin hortzeria bakoitzeko. Irudi horretan, IMP-an gizakien KI-Z-aren kokapena normalizat mugatzen duen elipse bat ere marraztu da (elipse horren barruan gizakien %68-ak du bere KI-Z-aren kokapena) [97, 110].

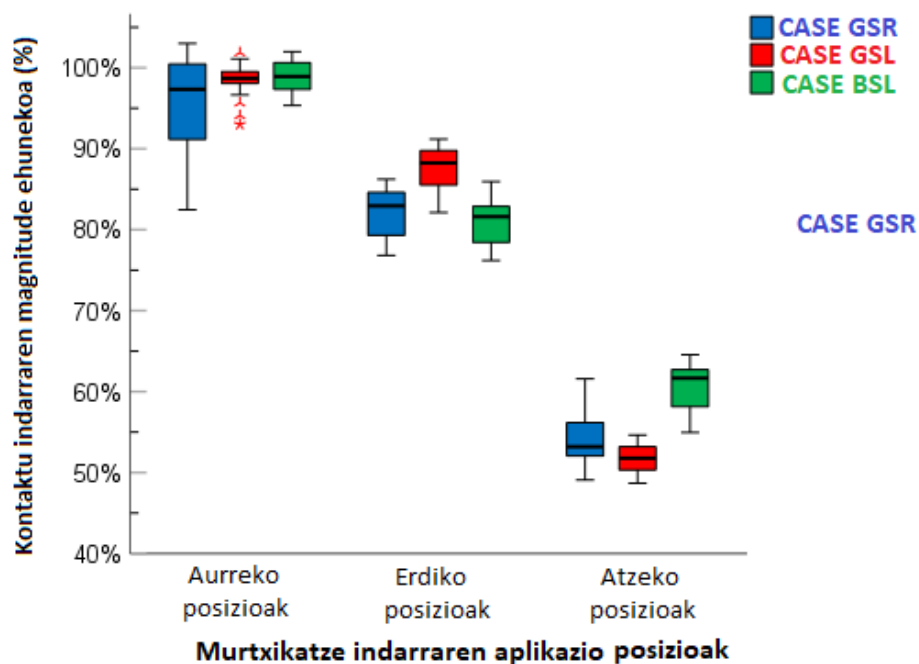


5-4. irudia. KI-Z-aren, 3 hortzerientzat, kokapenen grafikoak.

Sarrera-indarraren aplikazio puntuak, KI-M-rengan duen eraginari dagokionez (5-5. irudia), neurri errepikatuko 2 faktoretako ANOVA frogak (FG-G [3,37;146,71]=73,08;  $P < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,627$ ) agerian utzi du, KI-M-en portzentajeen arteko aldeak estatistikoki esanguratsuak direla. Hori dela eta, bigarren hipotesi nulua ere baztertua izan da, frogatuz, sarrera-indarraren magnitude berarekin (169 N) eraginda, aurrealdeko, erdialdeko eta atzealdeko multzoetako KI-M-en balioak nabarmen aldatzen direla (5-5. irudia).

## 5. ARTIKULUEN AZALPENA

Bestalde, 3 hortzerien eta 30 errepikapeneko multzoen KI-M-en ehunekoen batezbesteko aldakuntza-koefizientea % 3,70 dela kalkulatu da.



*Iturria: Norberak egindakoa.*

5-5. irudia. KI-M ehunekoen, 3 posizio multzoen, balio grafikoak.

Emaitzak ikusita, honako bi hipotesi hauek ere baztertu dira: hortzeria bakoitzak IMP-an KI-Z-ren kokapena bakarra duela; eta murtxikatze-indarraren intentsitatea konstante mantentzen bada, hortzerietako KI-M-a ere konstante mantentzen dela.

Lortutako batezbesteko aldakuntza-koefiziente baxuak (KI-Z-ren kokapenetan %0,37, eta KI-M-ren ehunekotan %3,70), agerian utzi du hortzerien KI-en bi aldagai adierazgarriak neurtzeko diseinatutako eta erabilitako saiakuntza-metodoa oso errepikakorra dela. KI-Z-ren kokapena aztertzeko 27 talde erabili dira (MI-Z-aren 9 posizio eta 3 hortzeria), errepikakortasun bikaina lortuz. Aldiz, KI-M aztertzeko, 9 multzo erabili dira (MI-Z-aren aurrealdeko, erdialdeko eta atzealdeko posizioak, 3

hortzerietan), eta multzo horiek horren homogeneousak ez direnez, errepikakortasun baxuagoa lortu da.

T-Scan analizatzaile digitala, fabrikazio-serie bereko sentsoreekin erabiliz gero, kontaktu indar magnitudea neurtzeko gailu fidagarria zela ondorioztatu zen Cernaren ikerketan [23]. Kerstein-ek ere, T-Scan analizatzaile digitala ezker-eskuin indar oreka neurtzeko gailu fidagarria dela ondorioztatu zuen [124]. Beraz, azken ondorio hau, azterlan honetan lortu den KI-Z-aren X koordenatuaren errepikakortasun bikainarekin koherentea da. T-Scan analizatzaile digitala, indarraren balio absolutua neurtzeko tresna fidagarria dela ere ondorioztatu zuen Lee-k [20], hortzeria bat artikuladore erdi-doigarri batean muntatu, eta puntu bakar batean aplikatutako indar batekin konprimatuz. Beraz, ondorio hori ere bat dator ikerketa honen emaitzekin.

Artikulatutako hortzerien oklusioaren kalitateak, ez du eragin nabarmenik izan KI-Z-aren kokapenaren aldaketetan. Hala ere, kalitate txarreko hortzeriak (CASE BSL) kalitate hobeko hortzeriek baino aldaketa gutxiago izan ditu KI-Z-an (5-4. irudia). Horren arrazoa izan daiteke, kontaktu-puntu gutxiago izanda, kontaktu indarren birbanaketa mugatuagoa dela.

MI-Z-an egindako luzeetarako posizio-aldaketak zeharkakoak baino handiagoak izan diren arren, KI-Z-aren luzeetarako kokapenaren aldaketak txikiagoak izan dira (5-4. irudia). Horretaz gain, KI-Z-aren zeharkako kokapenaren aldaketak zuzenki erlazionatu dira MI-Z-aren zeharkako posizio-aldaketekin, baina KI-Z-aren luzeetarako kokapenaren aldaketak ez dira zuzenki MI-Z-aren luzeetarako aldaketekin bat etorri (5-4. irudia). Horren arrazoa izan daiteke, zeharkako egonkortasuna zeharkako bi muturretan kokatutako kondiloen bidez lortzen den bitartean, luzeetarako egonkortasuna luzeetarako mutur bakar batean kokatutako kondiloekin lortzen delako.

## 5. ARTIKULUEN AZALPENA

---

MI-M balioa (169 N) kondiloetatik hurbilen dauden posizioetan aplikatu denean, KI-M-aren balioa txikiagoa izan da (5-5. irudia). Horren arrazoia izan daiteke, egoera horretan kondiloek murtxikatze indarraren zatirik handiena jasaten dutela.

Elektromiografia erabili zen beste ikerketa batean ondorioztatu zen, nahiz eta indar murtxikatzailerak simetrikoa izan, horrek ez duela KI-Z zentratu eta orekatu bat garantizatzen [119]. Ondorio hori ere bat dator azterketa honen 5-4. irudian erakutsitako emaitzekin.

Giharren murtxikatze indarrak eta hortzerietako kontaktu indarrak batera aztertzen dituzten ikerketen artean [115, 116, 118, 119], ez dago lehen indarraren eragina bigarrenarekiko aztertu duenik. Baina Wiechens-ek [111] eta Berry eta Singh-ek [112], KI-Z egunean zehar aldatu egiten dela ondorioztatu zuten, gainera giharren uzkurdua aldaketengatik izan zitekeela aipatu zuten, eta hori ikerketa honen emaitzekin bat dator.

## **5.2 2. ARTIKULUA: Oklusio kontaktu indarren ezker eta eskuin oreka neurtzeko, 2 oklusio analizatzaile digitalen errepikakortasuna eta erreproduzigarritasuna: in-vitro azterketa**

### **5.2.1 HELBURU ZEHATZAK ETA HIPOTESIAK**

Helburu zehatza: merkatuan dauden bi oklusio analizatzaile digitalen doitasuna (errepikakortasuna eta erreproduzigarritasuna) aztertzea eta konparatzea. Horretarako, erreferentzia bezala aukeratuko den neurria, interkuspidadio maximoko posizioan dagoen hortzeriaren kontaktu indarren ezker eskuin aldean arteko oreka da.

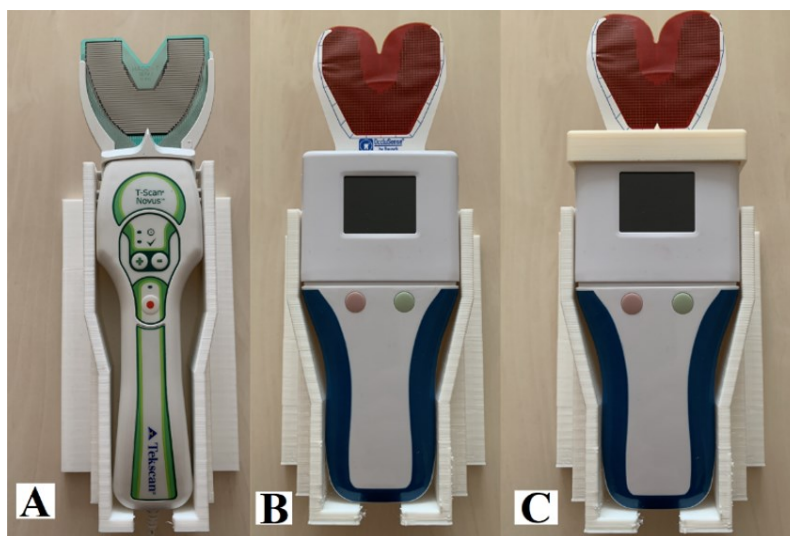
Aztertuko diren oklusio analizatzaileetako batek, OccluSense hain zuzen, ez du bere sentsorea hortzerian zentratuta kokatzeko piezarik. Hori horrela izanik, OccluSense gailura egokitutako zentratze pieza bat diseinatu eta fabrikatu da. Diseinatu den zentratze pieza erabiliz, eta oklusio analizatzaile horretan lortzen den doitasunaren hobekuntza aztertuz, sentsorearen zentratetaren garrantzia kuantifikatu da.

Hipotesiak: analisia aurrera eramateko, honako bi hipotesi nulu hauek ezarri dira:

1. Odontologiako merkatuan erreferenteak diren bi oklusio analizatzaile digitalen doitasunek, ez dute beraien artean alde nabarmenik.
2. Oklusio analizatzailearen sentsorea hortzerian hobeto kokatzeko, zentratze euskarri bat erabiltzen bada, oklusio analizatzaile digitalen doitasuna ez da hobetuko.

### 5.2.2 METODOLOGIA.

T-Scan eta OccluSense oklusio analizatzaile digitalen doitasuna (errepikakortasuna eta erreproduzigarritasuna) kalkulatzeko metodologia garatu da. OccluSense analizatzaileak sensore piezoelektrikoa ahoan zentratuta kokatzeko piezarik ez duenez, neurrira egindako bat diseinatu eta fabrikatu zaio (5-6. irudia).



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**5-6. irudia.** A, T-Scan analizatzailea; B, OccluSense analizatzailea; C, OccluSense analizatzailea zentratzailearekin.

Hamar igeltsuzko hortzeria, interkuspidadio maximoko posizioan, 2.4.3 atalean azaldutako prozedura jarraituz, artikuladore erdi doigarri batean (Artex CN; Amann Girschbach AG) muntatu dira. 5-6. irudian erakusten diren T-Scan, OccluSense eta OccluSense zentratzailearekin erabiliz, hortzeria bakoitzean kontaktu indarren orekak (KIO) neurtu dira.

Analizatzaile digital bakoitzean, bere sensore piezoelektrikoaren posizioa artikulatutako hortzerien artean ondo finkatzeko, egitura finko pertsonalizatuak fabrikatu eta erabili dira (5-6. irudia).



Gailuei neurrira fabrikatutako egitura finkoen laguntzarekin, eta zulatzaile bertikal bat (OPTI F30; Optimum) erabilia, hortzeria guztietan murtxikatze indarrarekiko baliokidea den 145 N-ko sarrera-indarra aplikatzen da, artikuladorearen goiko osagaiaren puntu berdinean ( 5-7. irudia).



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**5-7. irudia.** 145 N-ko magnitudea duen sarrera-indarraren aplikazioa.

Gailu bakoitzarentzat, sentsorea 4 aldiz kokatu da 10 hortzerietan, eta kokapen bakoitzeko, errepikakortasun baldintzetan 6 sarrera-indar aplikatu dira. Beraz, guztira 720 saiakuntza burutu dira (240 analizatzaile bakoitzeko), horietako bakoitzean kontaktu indarren orekak neurtu direlarik (5-1. taula).

## 5. ARTIKULUEN AZALPENA

	T-Scan gailua				OccluSense gailua				OccluSense gailua zentratzeko piezarekin			
	SK-1	SK-2	SK-3	SK-4	SK-1	SK-2	SK-3	SK-4	SK-1	SK-2	SK-3	SK-4
H-1	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E
H-2	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E
...	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E
H-10	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E	6 E

H, hortzeria (errepikortasun eta erreproduzigarritasun saiakuntzaren pieza); E, errepikapenak. SK, sentsore kokapena (errepikortasun eta erreproduzigarritasun saiakuntzaren neurtze baldintzak).

### 5-1. taula. Kontaktu indarren oreka neurtzeko protokolo esperimentalak.

Neurketa guztiei, “Real Statistics Resource Pack” osagarria instalatuta duen Microsoft Excel softwarea (2016 bertsioa) erabiliz, GRR froga egin zaie. Froga horrek, gailu bakoitzaren doitasuna kalkulatu du, kasu bakoitzeko errepikortasuna eta erreproduzigarritasuna adieraziz. Frogatutako neurria KIO izan da, eta erreproduzigarritasunaren neurtze baldintzetan aldatu den aldagai bakarra, sentsorearen hortzeriekiko kokapena izan da (egun aldaketa dagoenean kokapena aldatzen baita). Beraz, beste neurtze baldintza guztiak aldatu gabe mantendu dira: operadorea, ekipoa eta laborategia.

Zeharkako GRR probaren barruan (3.3 atala), sentsorearen kokapena eta hortzerien arteko interakzioa baloratzeko ANOVA ( $\alpha = 0,05$ ) froga burutzen da, eta horrela interakzio horri dagokion aldakuntza hori, neurketa metodoaren errepikortasunari edo erreproduzigarritasunari dagokion zehazten da.

### 5.2.3 EMAITZAK ETA EZTABAIDA

GRR frogaren barruan eginiko ANOVA frogek, hortzerien (pieza, GRR frogan) eta sentsorearen kokapenen (eragilea, GRR frogan) arteko iterazioak (operadorea × pieza, GRR probetan) KIO neurrien aldakuntzekiko estatistikoki eragin esanguratsua ( $P < 0,05$ ) dutela erakutsi dute. Horregatik, iterazio horri dagozkion KIO neurrien aldakuntzak, erreproduzigarritasunaren barruan kontsideratu behar dira. Frogatutako 3 neurketa moduen GRR emaitzak ondorengo tauletan azaltzen dira: T-Scan gailua (5-2. taula), OccluSense gailua (5-3. taula) eta OccluSense gailua zentratzailearekin (5-4. taula).

GRR FROGA T-SCAN ANALIZATZAILEARENTZAT						
ANOVA	Alpha				0,05	
	KB	AM	BK	F	P-balioa	Sig.
Pieza	6,728	9	0,748	1059,615	<0,001	
Eragilea	0,007	3	0,003	3,450	0,030	
Eragile*pieza	0,019	27	<0,001	6,194	<0,001	Bai
Errepikakortasuna	0,023	200	<0,001			
Totala	6,777	239	0,028			
Aldakuntza	AIAG klasifikazioa					
	Bariantza		DS		Tartea	Ebaluzioa
GRR Totala	0,024%	0,8%	1,6%	8,8%	<10%	Ona
- Errepikakortasuna	0,011%	0,4%	1,1%	6,0%	<10%	Ona
- Erreproduzigarritasuna	0,013%	0,4%	1,1%	6,4%	<10%	Ona
-- Eragilea	0,003%	0,1%	0,5%	3,0%		
-- Eragile*pieza	0,010%	0,3%	1,0%	5,6%		
Pieza-pieza	3,112%	99,2%	17,6%	99,6%		
Aldakuntza totala	3,136%	100,0%	17,7%	100,0%		
Kategoria zenbakia:	3					

AIAG, automotive industry action group. AM, askatasun mailak. F, Fisher estatistikoa. GRR, gage repeatability and reproducibility. BK, batezbesteko karratua. DS, desbideratze estandarra. KB, karratuen batuketak.

**5-2. taula.** T-Scan gailuaren GRR metodoaren emaitza taula.

## 5. ARTIKULUEN AZALPENA

GRR FROGA OCCLUSENSE ANALIZATZAILEARENTZAT						
ANOVA	Alpha				0,05	
	KB	AM	BK	F	P-balioa	Sig.
Pieza	4,562	9	0,507	35,626	<0,001	
Eragilea	0,028	3	0,009	0,660	0,584	
Eragile*pieza	0,384	27	0,014	27,701	<0,001	Bai
Errepikakortasuna	0,108	200	<0,001			
Totala	5,077	239	0,021			
Aldakuntza						
				AIAG klasifikazioa		
	Bariantza	DS			Tartea	Ebaluazioa
GRR Totala	0,280%	12,0%	5,3%	34,6%	>30%	Txarra
- Errepikakortasuna	0,051%	2,2%	2,3%	14,8%	10%-30%	Ertaina
- Erreproduzigarritasuna	0,229%	9,8%	4,8%	31,3%	>30%	Txarra
-- Eragilea	0,000%	0,0%	0,0%	0,0%		
-- Eragile*pieza	0,229%	9,8%	4,8%	31,3%		
Pieza-pieza	2,053%	88,0%	14,3%	93,8%		
Aldakuntza totala	2,332%	100,0%	15,3%	100,0%		
Kategoria zenbakia: 3						

AIAG, automotive industry action group. AM, askatasun mailak. F, Fisher estatistikoa. GRR, gage repeatability and reproducibility. BK, batezbesteko karratua. DS, desbideratze estandarra. KB, karratuen batuketa.

**5-3. taula.** OccluSense gailuaren GRR metodoaren emaitza taula.

GRR FROGA ZENTRATZAILEA DUEN OCCLUSENSE ANALIZATZAILEARENTZAT						
ANOVA	Alpha				0,05	
	KB	AM	BK	F	P-balioa	Sig.
Pieza	6,114	9	0,679	93,618	<0,001	
Eragilea	0,015	3	0,005	0,667	0,580	
Eragile*pieza	0,196	27	0,007	8,705	<0,001	Bai
Errepikakortasuna	0,167	200	<0,001			
Totala	6,492	239	0,027			
Aldakuntza						
				AIAG klasifikazioa		
	Bariantza	DS			Tartea	Ebaluazioa
GRR Totala	0,190%	6,4%	4,4%	25,2%	10%-30%	Ertaina
- Errepikakortasuna	0,083%	2,8%	2,9%	16,7%	10%-30%	Ertaina
- Erreproduzigarritasuna	0,107%	3,6%	3,3%	18,9%	10%-30%	Ertaina
-- Eragilea	0,000%	0,0%	0,0%	0,0%		
-- Eragile*pieza	0,107%	3,6%	3,3%	18,9%		
Pieza-pieza	2,800%	93,6%	16,7%	96,8%		
Aldakuntza totala	2,991%	100,0%	17,3%	100,0%		
Kategoria zenbakia: 3						

AIAG, automotive industry action group. AM, askatasun mailak. F, Fisher estatistikoa. GRR, gage repeatability and reproducibility. BK, batezbesteko karratua. DS, desbideratze estandarra. KB, karratuen batuketa.

**5-4. taula.** OccluSense zentratzeko pieza duela gailuaren GRR metodoaren emaitza taula.

GRR frogak, neurtzeko gailu eta metodo bakoitzaren doitasuna (errepikakortasuna eta erreproduzigarritasuna) modu indibidualean kalkulatu du. Baina 3 kasuetan, hortzeria berdina eta KIO neurri berdina erabili direnez, 3 froga indibidualen emaitzak beraien artean konparatu daitezke (5-5. taula).

<b>GRR froga indibidualen konparazioa</b>	<b>T-Scan gailua</b>	<b>OccluSense gailua</b>	<b>OccluSense zentratzailearekin</b>
240 KIO neurrien batezbestekoak	52,29%	54,40%	50,90%
240 KIO neurrien bariantzak	3,136%	2,332%	2,991%
Errepikakortasunaren eta erreproduzigarritasunaren bariantza (Bariantza totalarekiko % )	0,024% (0,8%)	0,280% (12,0%)	0,190% (6,4%)
Errepikakortasunaren bariantza (Bariantza totalarekiko % )	0,011% (0,4%)	0,051% (2,2%)	0,083% (2,8%)
Erreproduzigarritasunaren bariantza (Bariantza totalarekiko % )	0,013% (0,4%)	0,229% (9,8%)	0,107% (3,6%)
Errepikakortasunaren eta erreproduzigarritasunaren desbideratze estandarrek, 240 KIO neurrien desbideratze estandarrekiko	8,8%	34,6%	25,2%
AIAG erakundearen gailuen doitasun balorazioa	Ona	Txarra	Ertaina
Errepikakortasunaren eta erreproduzigarritasunaren aldakuntza koefizientea. (desbideratze estandarra / batezbesteko balio)	2,97%	9,72%	8,57%

AIAG, automotive industry action group. GRR, Gage repeatability and reproducibility.

**5-5. taula.** Hiru oklusio analizatzaile aukeren doitasunen konparazio taula.

GRR saiakuntzek erakutsi dute, T-Scan gailuaren neurrien aldakuntzen bariantza totalaren %0,8 doitasun faltagatik izan dela (%0,4 errepikakortasun faltagatik eta %0,4 erreproduzigarritasun faltagatik). OccluSense gailuaren kasuan, bariantza totalaren %12,0 izan da doitasun faltagatik (%2,2 errepikakortasun faltagatik eta %9,8

## 5. ARTIKULUEN AZALPENA

---

erreproduzigarritasun faltagatik), eta gailu bera zentratzailearekin erabiltzean %6,4 (%2,8 errepikakortasun faltagatik eta %3,6 erreproduzigarritasun faltagatik).

AIAG erakunde amerikarrak egiten duen gailuen doitasunaren gaineko balorazioa erabilita, ondorioztatzen da T-Scan gailuren doitasuna (errepikakortasuna eta erreproduzigarritasuna) ona, OccluSense-rena txarra, eta OccluSense-rena zentratzailearekin erabilita ertaina dela. Beraz, Occlusense gailuaren kasuan, agerian geratu da sentsorea zentratuta kokatzeko gaitasunaren gabezia, eta gabezia horrek bere doitasuna (erreproduzigarritasuna nagusiki) neurri handi batean kaltetzen duela.

T-Scanaren KIO neurrien doitasun ona, Kerstein ikertzaileak ateratako ondorioekin bat dator, Kerstein-ek T-Scan analizatzaile digitala ezker-eskuin indar oreka neurtzeko gailu fidagarria dela ondorioztatu zuen eta [124]. Bestetik, T-Scan analizatzaile digitala indarraren balio absolutua neurtzeko tresna fidagarria dela ere ondorioztatu zen beste ikerketa batzuetan ere [20], batez ere fabrikazio-serie bereko sentsoreekin erabiltzen bada [23].

Doktorego tesi honen lehenengo artikuluan [146], T-Scan gailuarekin KI-Z eta KI-M neurriak errepikakortasun baldintzetan neurtu dira eta bi neurri horientzat ateratako aldakuntza koefizienteak (% 0,37 eta %3,70 hurrenez hurren) oraingoan neurtutako KIO neurriaren aldakuntza koefizientearekin (%2,97) alderatuta, antzekoak direla ikus daiteke.

5-5. taulan adierazitako errepikakortasunaren eta erreproduzigarritasunaren aldakuntza koefizienteak (T-Scan: %2,97, OccluSense: %9,72, OccluSense zentratzailearekin: %8,57), agerian uzten dute T-Scan-en neurrien doitasuna OccluSense-rena baina askoz hobea dela, nahiz eta OccluSense-a zentratzailearekin erabiliz gero bere doitasuna hobetzea lortzen den. Hala ere kontuan izan behar da OccluSense-a, T-Scan-a baino 10 aldiz merkeagoa dela, eta zentratzailearekin

erabiltzen bada, AIAG erakundearen balorazioaren arabera [127], bere doitasuna ertaina edo onargarria dela.

## 5. ARTIKULUEN AZALPENA

---



### **5.3 3. ARTIKULUA: Oklusio analizatzaile digitalekin hartutako erregistroen doitasuna hobetzeko teknika**

#### **5.3.1 HELBURU ZEHATZAK ETA HIPOTESIAK**

Helburu zehatza: odontologiako merkatuan erreferenteak diren bi oklusio analizatzaile digitalen doitasuna (errepikakortasuna eta erreproduzigarritasuna) hobetzeko teknika kliniko bat diseinatzea.

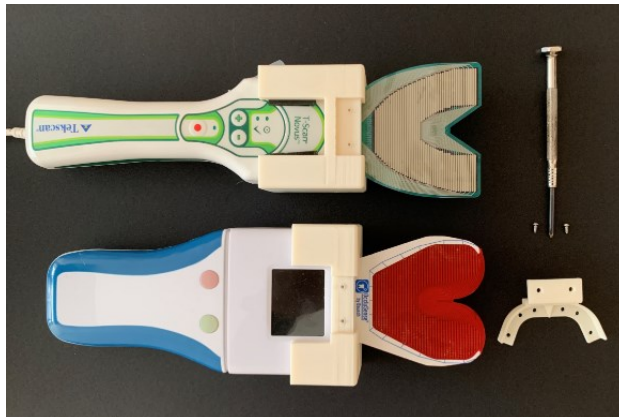
Hipotesiak: aurrez eginiko analisiak doitasuna murrizten duen arrazoi nagusia sentsorearen eta hortzeriaren arteko kokapenaren erreproduzigarritasun falta izan da, horregatik kokapen hori hobeto bermatuko duen teknika bat asmatuz gero, oklusio analizatzaile digitalen doitasuna hobetuko dela espero da.

#### **5.3.2 TEKNIKAREN AZALPENA**

Teknika honek, analizatzaile digitalen sentsore piezoelektrikoa pazientearen ahoan modu erreproduzigarri batean kokatzeko prozedura bat eskaintzen du, analizatzaileen erregistroen doitasuna hobetzeko. Teknikak, paziente bakoitzaren hortzeriaren neurria pertsonalizatutako kubeta baten erabilera eskatzen du, zeina T-Scan eta OccluSense analizatzailetara finkatzeko egokitzaille batzuekin erabiltzen den (5-8. irudia). Kubeta eta egokitzailleak diseinatu, eta beraien STL formatuko artxihoak online eskuragarri utzi dira “The Journal Of Prosthetic Dentistry” aldizkariaren webgunean (ikus eranskineko 3. artikulua). Hala, teknika hau aurrera eramateko behar diren piezak, edozeinek deskargatu, eta 3D inprimagailu batean fabrikatu ditzake. Jarraitu beharreko urratsak T-Scan eta OccluSense analizatzaileentzat berdinak direnez, soilik T-Scan analizatzailea erabiliz azalduko dira.

## 5. ARTIKULUEN AZALPENA

---

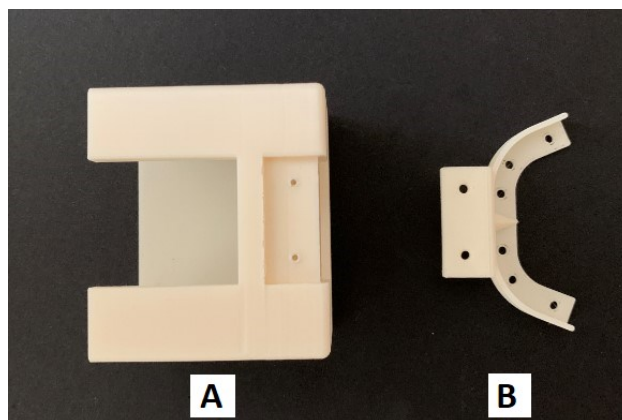


*Iturria: Norberak egindakoa.*

**5-8. irudia.** T-Scan eta Occlusense analizatzaileentzat erabili beharreko piezak.

### **TEKNIKAREN URRATSAK:**

1. Zentratzeko kubetaren eta erabili beharreko oklusio analizatzaileari dagokion egokitzaileen STL artxiboak deskargatu eta 3D inpresora baten bidez fabrikatu, bio-bateragarritasun baldintzak [147] betetzen dituen material batean (5-9. irudia). Aurreragoko urrats batean, kubeta eta egokitzailea bi torloju normalizatu erabilita [148] lotu beharko dira.



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**5-9. irudia.** 3D inprimagailuan fabrikatutako piezak: A, egokitzailea, B, kubetaxoa.

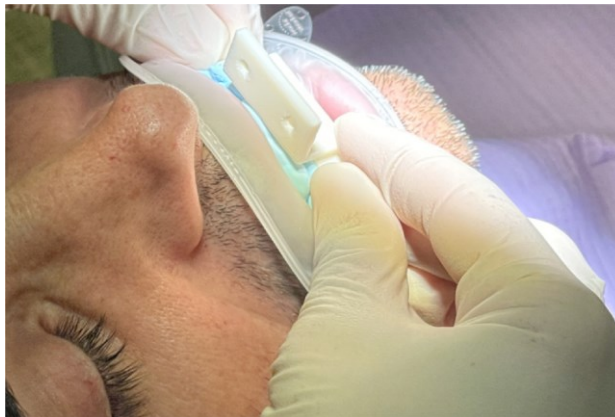
2. Kubeta probatu eta, beharrezkoa bada, pertsonalizatu (5-10A irudia). Horretarako, sartu kubetaren punta pazientearen hortz-uztaien artean, eta ziurtatu ez dagoela kontakturik kubetaren eta hortzen artean punta erabat txertatu baino lehen. Era berean, ziurtatu kubetak ez duela oklusioa oztopatzen punta goiko ebakortzen artean erabat txertatuta dagoenean (5-10A irudia). Beharrezkoa bada, kubeta pertsonalizatu egin daiteke kubetaren eta hortzen arteko kontaktua ezabatzeko, hortzekin talka egiten duten kubetaren eremuak errotuladore ezabaezin batekin markatuz (5-10B irudia) eta erretxina akrilikozko fresatzeko erreminta batekin zizelkatuz (tungsteno karburozko fresa, ISO 500104194145045 erreferentziarekin; Edenta AG) (5-10C irudia).



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**5-10. irudia.** Kubeta bi ebakortzen tartean ondo sartzeko prozesua.

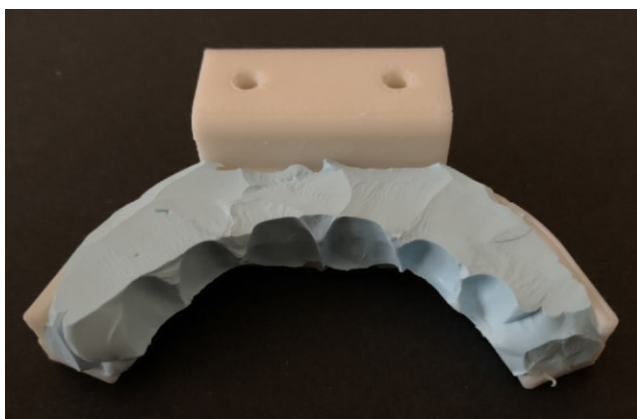
3. Kubeta biskositate ertaina duen hortz inpresioak hartzeko erabiltzen den silikona batekin (3MImprint Bite; 3M) bete eta goiko hortzeriaren aurreko hortz gainazalen inpresio bat hartu (5-11. irudia). Kubeta ondo zentratuta dagoela ziurtatzeko, sudurraren punta kubetaren bi torloju-zuloen artean mantendu beharko da silikona erabat gogortu arte.



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**5-11. irudia.** Pazientearen hortz inpresioak hartzen.

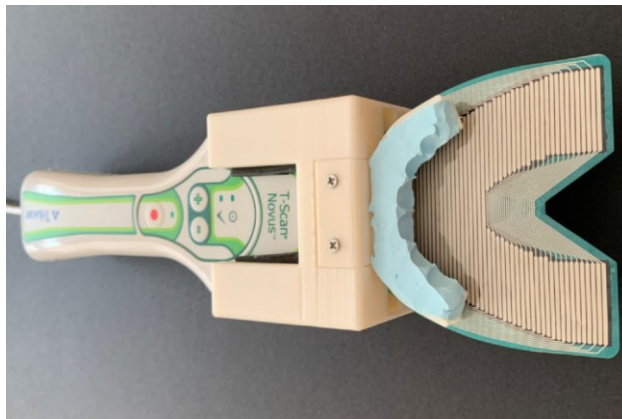
4. Kubeta ahotik atera, eta bisturi bat erabiliz alboetatik eta goitik atera den gehiegizko silikona moztu. Soberan dauden silikona zatiak kendu ondoren, kubetan dauden goiko hortzeriaren aurreko gainazalak garbi markatuta geratuko direnez (5-12. irudia), kubeta pazientearen goiko hortzerian modu erreproduzigarri batean kokatu ahal izango da. Gehiegizko silikona kentzeari esker, ebakortzen goiko zatia kubetan dagokion tokian ondo ahokatuta dagoela bistaz konprobatu ahal izango da ezpaina erretiratu.



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**5-12. irudia.** Goiko hortzeriaren aurrealdeko inpresioa.

5. Silikonarekin pertsonalizatutako kubeta egokitzaileari lotu 2 torloju normalizaturen bidez (ISO 7050-ST 2,2 × 6,5).



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**5-13. irudia.** Pertsonalizatutako kubeta, T-Scan analizatzailera egokituta.

6. Oklusio analizatzailearekin erregistroa hartu fabrikatzailearen betiko protokolo jarraituz (5-14. irudia).



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**5-14. irudia.** T-Scan analizatzailearekin erregistro hartzea.

### 5.3.3 EZTABAIDA

Teknika honen helburua, oklusio analizatzaile digitalekin hartutako erregistroen doitasuna handitzea da, eta horrela, tratamendu baten fase desberdinetan erregistratutako oklusio informazioa konparatzeko haien gaitasuna hobetzea. Teknika honek, analizatzaile digitalak zentratzeko kubeta baten erabilera eskatzen du, horregatik kubeta horren diseinu birtuala eta kubeta analizatzaileetara egokitzeko behar diren piezak gehigarriak, edozeinentzako eskuragarri utzi dira online “The Journal Of Prosthetic Dentistry” aldizkariaren webgunean. Bai T-Scan analizatzaileerako, eta baita OccluSenserako, zentratzeko kubeta eta teknika berdina erabil daiteke.

Teknika honek, oklusio analizatzaile digitalen sentsore piezoelektrikoaren kokapen erreproduzigarria bermatzen du. Teknikak erabiltzen duen kubetak goiko ebakortzen artean puntatxo baten txertaketa mantentzen du, eta horretaz gain, masailezurreko aurreko hortzen kanpo gainazalen forma negatiboari esker, erdiko lerroaren inguruan analizatzailearen errotazioa saihesten du. Pieza pertsonalizatua, silikonarekin eta erregistratzeko modu konbentzionaletan egin ordez, masailezurren aurreko hortzen gainazalak eskaner intraoral batekin eskaneatuz eta ondoren 3D inprimagailu baten bidez fabrikatuz ere lor daiteke modu alternatiboan, baina inprimaketa hori material elastiko batean egin beharko litzateke, gero pazienteen hortz tartetean ondo sartu eta kokatu dadin.

Analizatzaile digitalak zentratzeko kubeta eta bere egokitzaileak modu aditiboan fabrikatu nahi badira, horiek ahoko mintz mukosoekin kontaktuan egongo direnez, osasun-produktuetarako ezarritako bio-bateragarritasun baldintzak eta arauak betetzen dituen material batekin fabrikatu beharko dira [147, 149]. Sentsore piezoelektrikoa ahoan ondo kokatzeak eta teknika hau erabiltzeak, oklusio

analizazaile digitalekin hartutako erregistroen doitasunean duten eragina kuantifikatzeko, azterketa gehigarriak beharko dira. Adibidez, zehaztasuna neurtzeko aurrez eginiko zenbait in-vitro saiakuntzetan, teknika hau erabili eta hartutako erregistroen doitasunak ea hobetzen diren konprobatuz [19–21, 121, 150].

## 5. ARTIKULUEN AZALPENA

---



## 6. ONDORIOAK

---

Oklusio analizatzaile digitalak aztertu ondoren, horiek dituzten gabeziak gainditzeko metodologia eta teknikak garatu dira. Lehenik eta behin, gizakien oklusioaren biomekanika ondo aztertzeko, in-vitro saiakuntza metodologia berri bat aurrera eramán da. Saiakuntza metodologia horrekin, murtxikatze indarren zenbait aldagai (bere magnitudea, oklusio planoarekiko aplikazio zentroa, eta ezker-eskuin oreka) modu kontrolatuan aldatuz, analizatzaile digitalek neurtzen dituzten hortzen kontaktu indarren zenbait parametroekiko (magnitudea, erresultantearen zentroa, bere ezker-eskuin oreka, besteak beste) duten eragina aztertu da. Beraz, saiakuntza metodologia berri horri esker, tesi honetan ezarri diren lehen helburuak lortu ahal izan dira.

Oklusio analizatzaileekin neurtutako kontaktu indarren parametroen aldaketen arrazoia aztertu eta hainbat ondorio zehaztutara iritsi da:

- Oklusio analizatzaile batek, interkuspidadio maximoko posizioan neurtzen duen kontaktu indarren zentroak ez du zergatik bakarra izan behar gizabanako batean. Murtxikatze indarren magnitudea aldatu gabe mantenduz, horren zeharkako (ezker-eskuin) edo luzeetarako (aurrera-atzera) indar oreka aldatzen bada, kontaktu indarren zentroarengan eragin zuzena du, eta ondorioz, horren posizioa aldatzen da.
- Bestalde, interkuspidadio maximoko posizioan, murtxikatze indarren magnitudea aldatu gabe, horren luzeetarako oreka aldatzen denean, kontaktu indarren magnitudeak ere aldatzen dira. Murtxikatze indarraren zentroa zenbat eta

## 6. ONDORIOAK

---

ebakortzetik atzerago egon, orduan eta kontaktu indarren magnitudeak baxuagoak dira. Murtxikatze indarraren zentroa zenbat eta atzerago egon, kondiloek murtxikatze indarraren proportzio altuagoa jasaten baitute.

Beraz, ondorio zehatz horiek ezagutzuz, hortzen geometriaren aldaketa batek bakarrik, ezin duela hortzen kontatu indar orekatu bat betirako bermatu ondorioztatzen da, murtxikatze indarren ezker-eskuin oreka bezalako beste aldagai batzuk ere kontatu indarren oreka alda daitezke eta.

Erabili den in-vitro saiakuntzan T-Scan analizatzaileak hartzen dituen oklusio neurriak errepikakorrak direla ikusita, saiakuntzaren egokitasuna ondorioztatu da. Honela, saiakuntza elementu berdinak erabiliz, gaur egun merkatuan dauden bi oklusio analizatzaileen doitasuna neurtzeko eta konparatzeko GRR metodologia aplikatu da. Neurketa aparatu baten doitasuna bere errepikakortasuna eta erreproduzigarritasuna aztertuz kuantifikatu daiteke. Beraz, T-Scan eta OccluSense analizatzaile digitalentzat, hurrengo ondorio zehatzetara iritsi da:

- Kontaktu indarren ezker-eskuin oreka neurtzeko, T-Scan analizatzaile digitalaren doitasuna, OccluSense analizatzailearena baino nabarmenki hobea da.
- Kontaktu indarren ezker-eskuin oreka neurtzeko OccluSense analizatzailearen doitasun baxua, erreproduzigarritasun faltak baldintzatzen du gehienbat. Zentzu horretan, bere erreproduzigarritasuna asko hobetu daiteke sentso piezoelektroko hortzerian zentratuta kokatzeko pieza bat erabiliz.
- Zentratzeko piezarekin hobetutako OccluSense analizatzailearen doitasuna, T-Scan analizatzailearena baino baxuagoa izan arren, OccluSense analizatzailea T-Scan-a baino hamar aldiz merkeagoa dela kontuan izanda, onargarritzat jo daiteke.

Analizatzailearen sentsorea hortzerian ondo zentratuta kokatzearen garrantziaz ohartuta, merkatuan dauden bi analizatzaile digitalentzat baliagarria izango den teknika bat proposatu da. Teknika hau jarraituz, T-Scan edo OccluSense analizatzaileen edozein erabiltzailek paziente bakoitzeko kubeta bat pertsonalizatu dezake, eta oklusio erregistroak hartzeko erabiltzean, hortz tratamendu baten zehar hartuko dituen oklusio erregistroen doitasuna hobetzea lortuko da. Horrela, tratamenduan zehar egin behar diren oklusio erregistroen konparaketak zehatzagoak izango dira, horien interpretazioa erraztuz.

## 6. ONDORIOAK

---

## 7. ETORKIZUNERAKO LANAK

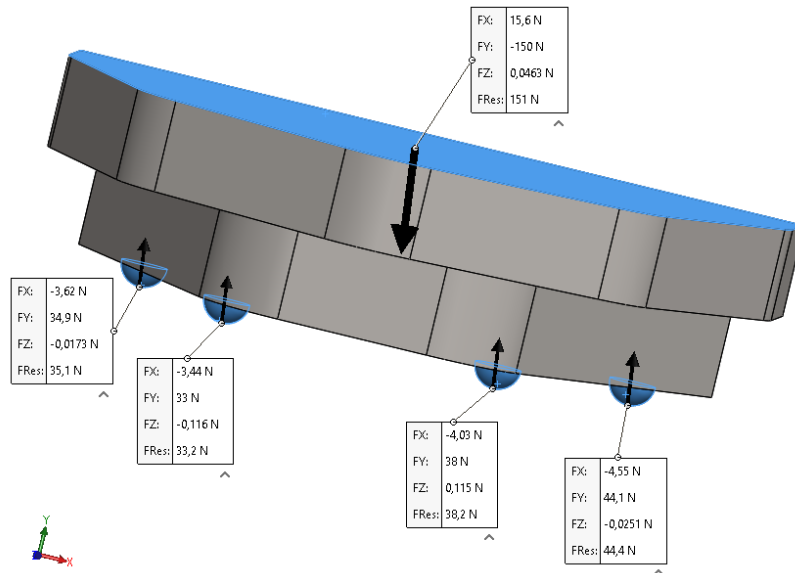
---

Tesi lan honetan egin diren ikerkuntza lanek, DEHI talderako ikerketa lerro bat sendotu dutela esan daiteke, eta lerro horren barruan tesi honi jarraipena emanaz ondorego gaiak ikertzea proposatzen da.

1. Oklusio indarrak aztertzeko, in-vitro eta in-vivo saiakuntzei alternatiboa izan daitekeen eta CAD-CAE metodologian oinarritutako metodo konputazionala garatzea. Metodologia honen helburua, hozkadan ematen diren murtxikatze eta hortzen kontaktu indarrak, ahoaren mugimenduekin batera aztertzea da. Bide honetatik, hortz geometria sinplifikatuak erabiliaz lehen urratsak eman dira, hortzen arteko indarrei buruzko emaitza koherenteak ematen dituzten analisi estatiko linealak burutu baitira (7-1. irudia).

Analisi ez linealak eginda, hortzerien mugimendu protrusiboak eta alboetakoak ematen diren bitartean, denboran zehar gertatuko diren hortzen arteko kontaktu puntuak eta kontaktu indarrak kalkulatzeko posible izan daitekeela ikusten da. Honek informazio guztiz berritzailea emango luke, denboran zehar kontaktu indarren norabidea eman dezaken metodo bakarra izango litzatekeelako. Ikerkuntza lan hau aurrera eramateko, hortzerien geometriak xehetasunez sartzeko eskaera konputazional altua izango du, baina konputagailuak geroz eta ahalmen handiago dutenez zailtasun hori gainditu ahal izatea espero da.

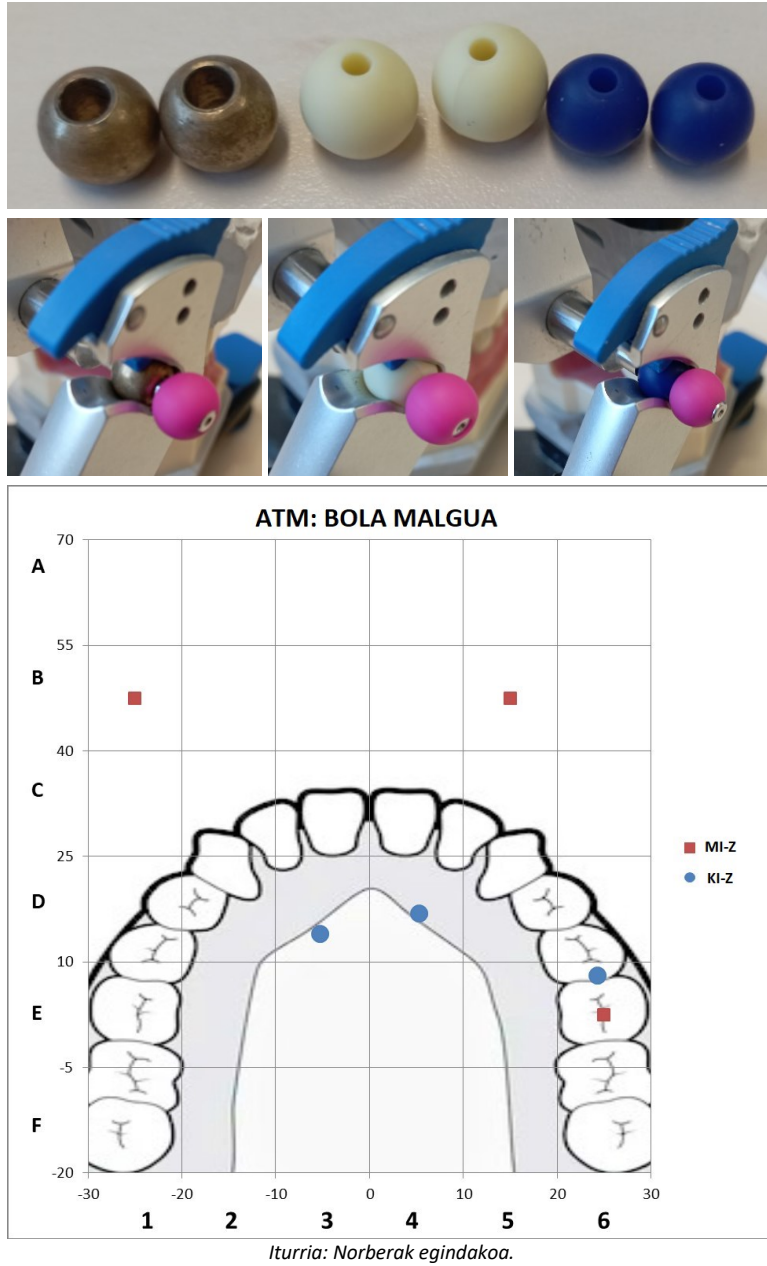
## 7. ETORKIZUNEKO LANAK



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**7-1. irudia.** Elementu finitoen metodoaz eginiko analisi estatikoak ematen dituen indar balioak.

2. Oklusio biomekanikaren ezagutza sakonagoa izatea helburu duen, eta tesi honetako aurreneko artikuluari jarraipena emanez, artikulazio tenporomandibularraren zurruntasunak biomekanikan duen eragina ere azter daiteke. Artikuladore mekanikoek, esfera metaliko zurrunekin ordezkaten dituzte kondiloak, baina jakina da gizakien kondilo eta hobi glenoideoaren artean, malguagoak diren disko artikularra eta kapsula artikularra daudela. Beraz in-vitro saiakuntzen artikuladoreetan, bola metalikoak ordezkatu eta malguagoak diren silikonazko bolak erabiltziaz, kontaktu indarren erantzuna zein izango den aztertu nahi da (7-2. irudia).

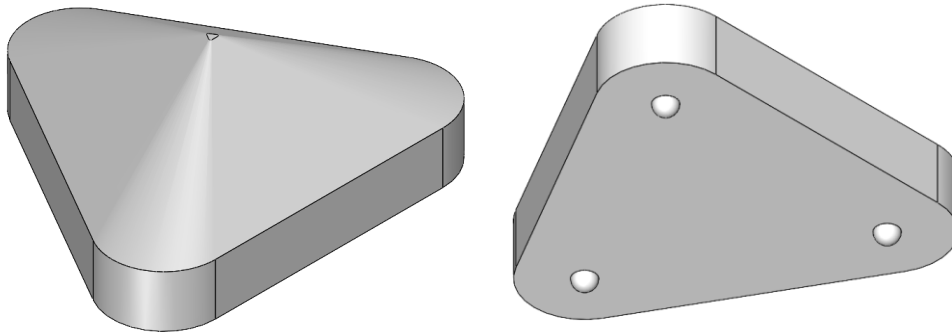


**7-2. irudia.** Bolen zurruntasuna aldatuz, kontaktu indarren erantzuna azertu.

3. Bigarrengo artikuluan, GRR metodologia erabiliz, oklusio analizatzaile digitalen doitasuna kuantifikatzen da. Aurrerantzean neurketa gailu hauen

## 7. ETORKIZUNEKO LANAK

egiazkotasuna kuantifikatzea ere aurreikusten da, horretarako kontaktu indarretan emaitza ezagunak eman beharko lituzkeen hiru hanketako pieza simetrikoak erabil daitezke (7-3. irudia).



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**7-3. irudia.** Egiazkotasuna kuantifikatzeko 3 hanka dituen pieza simetrikoa.

In-vitro saiakuntzak eginez, eta hiru hanka duten pieza hauekin analizatzailearen sentsorea zapalduz, gailuek benetan detektatzen dituzten kontaktu puntuak eta kontaktu indarrak neurtu eta beraien egiazkotasuna kuantifikatu nahi da (7-4. irudia).



*Iturria: Norberak egindakoa.*

**7-4. irudia.** Kontaktu puntuen posizioen egiazkotasunaren saiakuntza-emaitza.

4. Hirugarrengo artikuluan proposatu den, analizatzaile digitalen oklusio erregistroen doitasuna hobetzeko teknika, paziente errealetan eta in-vivo



saiakuntzak eginez, benetan lortzen duten doitasunaren hobekuntza kuantifikatzeko analisiak egin nahi dira

5. Sentsore berdina behin eta berriro erabili ondoren, bere mintz pizioelektrikoak plastikoki deformatzen doaz eta neurtzeko zehaztasuna galtzen dute. Analizatzaile digitalen neurrien egiazkotasuna eta doitasuna kuantifikatzeko metodologia guztiz garatzen denean, sentsorearen lan zerbitzu bizitza ere neurtu nahi da.

## 7. ETORKIZUNEKO LANAK

---

## 8. LANAREN EKARPENAK

---

Doktorego tesi hau, honako artikulu hauen bilduma bidez egin da.

1. **Jauregi M**, Amezua X, P. Manso A, Solaberrieta E. Positional influence of center of masticatory forces on occlusal contact forces using a digital occlusal analyzer. *J Prosthet Dent* 2023;129(6):P930.E1-930.E8. DOI: 10.1016/j.prosdent.2023.03.007.
  - Aldizkariaren inpaktu-faktorea (JCR 2022): 4,6 (Q1: 10/91, "Dentistry, Oral Surgery & Medicine" kategorian).
2. **Jauregi M**, Amezua X, Iturrate M, Solaberrieta E. Repeatability and reproducibility of 2 digital occlusal analyzers for measuring the right- and left-side balance of occlusal contact forces: An in vitro study. *J Prosthet Dent* 2023. DOI: 10.1016/j.prosdent.2023.07.026.
  - Aldizkariaren inpaktu-faktorea (JCR 2022): 4,6 (Q1: 10/91, "Dentistry, Oral Surgery & Medicine" kategorian).
3. **Jauregi M**, Amezua X, Iturrate M, Solaberrieta E. Improving the precision of recordings acquired with digital occlusal analyzers: A dental technique. *J Prosthet Dent* 2023. DOI: 10.1016/j.prosdent.2023.08.001.
  - Aldizkariaren inpaktu-faktorea (JCR 2022): 4,6 (Q1: 10/91, "Dentistry, Oral Surgery & Medicine" kategorian).

## 8. LANAREN EKARPENAK

---

Horrez gain, doktorego tesi honekin erlazionatuta, kontaktu indarren gaia lantzeko baliagarria izan den CAD-CAE metodologia konputazional bat planteatu da INGEGRAF kongresu internazionalaren 32.edizioan aurkeztutako komunikazio honetan (8-1. irudia).

Jauregi M, Garmendia I, Iturrate M, Amezua X, Garikano X, Erkizia G, Solaberrieta E. Methodology proposal using CAD/CAE for the quantitative analysis of contact forces in dental occlusion. 32th International Conference on Graphics Engineering (INGEGRAF 2023). Ekainak 21-23. Cadiz, Espainia.



This certificate confirms that the author

**MIKEL JAUREGI**

Has presented the paper entitled

**Methodology proposal using CAD/CAE for the quantitative analysis of contact forces in dental occlusion**

Authors:

JAUREGI - GARMENDIA - ITURRATE - AMEZUA - GARIKANO - ERKIZIA - SOLABERRIETA



Firmado digitalmente en Cádiz en junio del año 2023

Iturria: INGEGRAF kongresuko arduradunak

**8-1. irudia.** INGEGRAF 2023 kongresuaren aurkezpen agiria.

## 9. ERREFERENTZI BIBLIOGRAFIKOAK

---

1. Peck CC. Biomechanics of occlusion - implications for oral rehabilitation. *J Oral Rehabil* 2016;43(3):205–214. DOI: 10.1111/joor.12345.
2. Nowak M, Golec J, Wieczorek A, Golec P. Is There a Correlation between Dental Occlusion, Postural Stability and Selected Gait Parameters in Adults? *Int J Environ Res Public Health* 2023;20(2). DOI: 10.3390/ijerph20021652.
3. Iacob SM, Chisnoiu AM, Buduru SD, Berar A, Fluerasu MI, Iacob I, *et al.* Plantar pressure variations induced by experimental malocclusion—a pilot case series study. *Healthc* 2021;9(5):1–9. DOI: 10.3390/healthcare9050599.
4. Didenko NM, Vyazmin AY, Mokrenko E V., Gazinskiy V V., Suslikova MI, Darenskaya MA, *et al.* Relationship between the types of malocclusion and the localization of headaches in adults. *Int J Biomed* 2021;11(2):197–200. DOI: 10.21103/Article11(2)\_OA12.
5. Lyra MCA, Aguiar D, Paiva M, Arnaud M, Filho AA, Rosenblatt A, *et al.* Prevalence of sleep-disordered breathing and associations with malocclusion in children. *J Clin Sleep Med* 2020;16(7):1007–1012. DOI: 10.5664/jcsm.8370.
6. EAMBES- European Alliance of Medical and Biological Engineering and Science. Online eskuragarri: <https://eambes.org/biomedical-engineering/>
7. Jain P, Gupta M. *Digitization in dentistry: Clinical applications*. Springer Nature Switzerland AG; 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-65169-5.
8. Van Der Stelt PF. Better Imaging: The Advantages of Digital Radiography. *J Am Dent Assoc* 2008;139(SUPPL.):S7–S13. DOI: 10.14219/JADA.ARCHIVE.2008.0357.
9. Kühnisch J, Anttonen V, Duggal MS, Spyridonos ML, Rajasekharan S, Sobczak M, *et al.* Best clinical practice guidance for prescribing dental radiographs in

## 9. ERREFERENTZI BIBLIOGRAFIKOAK

---

- children and adolescents: an EAPD policy document. *Eur Arch Paediatr Dent* 2020;21(4):375–386. DOI: 10.1007/s40368-019-00493-x.
10. Oenning AC, Jacobs R, Pauwels R, Stratis A, Hedesiu M, Salmon B. Cone-beam CT in paediatric dentistry: DIMITRA project position statement. *Pediatr Radiol* 2018;48(3):308–316. DOI: 10.1007/s00247-017-4012-9.
  11. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: A review of the current literature. *BMC Oral Health* 2017;17(1):1–11. DOI: 10.1186/s12903-017-0442-x.
  12. Joda T, Zarone F, Ferrari M. The complete digital workflow in fixed prosthodontics: A systematic review. *BMC Oral Health* 2017;17(1):1–9. DOI: 10.1186/s12903-017-0415-0.
  13. Harris BT, Montero D, Grant GT, Morton D, Llop DR, Lin WS. Creation of a 3-dimensional virtual dental patient for computer-guided surgery and CAD-CAM interim complete removable and fixed dental prostheses: A clinical report. *J Prosthet Dent* 2017;117(2):197–204. DOI: 10.1016/J.PROSDENT.2016.06.012.
  14. Iturrate M. Eskaner intraoralen zehaztasun azterketa eta paziente edentuluen inpresio digitala hobetzeko metodologia, UPV-EHU, 2019.
  15. Albanchez-González MI, Brinkmann JCB, Peláez-Rico J, López-Suárez C, Rodríguez-Alonso V, Suárez-García MJ. Accuracy of Digital Dental Implants Impression Taking with Intraoral Scanners Compared with Conventional Impression Techniques: A Systematic Review of In Vitro Studies. *Int J Environ Res Public Health* 2022;19(4). DOI: 10.3390/ijerph19042026.
  16. Tarraf NE, Ali DM. Present and the future of digital orthodontics☆. *Semin Orthod* 2018;24(4):376–385. DOI: 10.1053/J.SODO.2018.10.002.
  17. Asutay HC, Turkyilmaz I, Benli M, Martinez JL. Transforming smiles using an intraoral scanner and face scan application on smartphone. *J Dent Sci* 2022;17(3):1413–1414. DOI: 10.1016/J.JDS.2022.04.032.
  18. Koirala S. *Digital Occlusal Analysis and Force Finishing*. 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-65169-5\_8.
  19. Bozhkova T, Musurlieva N, Slavchev D. Comparative Study Qualitative and Quantitative Techniques in the Study of Occlusion. *Biomed Res Int* 2021;2021. DOI: 10.1155/2021/1163874.

20. Lee W, Kwon HB, Kim MJ, Lim YJ. Determination of the reliability and repeatability of a quantitative occlusal analyzer by using a piezoelectric film sensor: An in vitro study. *J Prosthet Dent* 2022;127(2):331–337. DOI: 10.1016/j.prosdent.2020.07.024.
21. Jeong MY, Lim YJ, Kim MJ, Kwon HB. Comparison of two computerized occlusal analysis systems for indicating occlusal contacts. *J Adv Prosthodont* 2020;12(2):49–54. DOI: 10.4047/jap.2020.12.2.49.
22. Bostancıoğlu SE, Toğay A, Tamam E. Comparison of two different digital occlusal analysis methods. *Clin Oral Investig* 2022;26(2):2095–2109. DOI: 10.1007/s00784-021-04191-1.
23. Cerna M, Ferreira R, Zaror C, Navarro P, Sandoval P. Validity and reliability of the T-Scan®III for measuring force under laboratory conditions. *J Oral Rehabil* 2015;42(7):544–551. DOI: 10.1111/joor.12284.
24. Okeson JP. *Tratamiento de oclusión y afecciones temporomandibulares*. 8. edizioa. Elsevier España, S.L.U.; 2019.
25. Gallardo Colchonero S, Mallat Callís E. *Oclusión y tratamiento de los pacientes con desgastes*. 1. edizioa. Editorial, Lisermed SL; 2022.
26. Putz R, Pabst R. *Sobotta. atlas de anatomía humana. tomo 1. cabeza, cuello y miembro superior*. 22. edizio. Editorial Médica Panamericana S.A.; 2006.
27. Pinterest. Online eskuragarri: <https://www.pinterest.es/>
28. Park S, Kim H, Shim E, Hwang BY, Kim Y, Lee JW, et al. Deep Learning-Based Automatic Segmentation of Mandible and Maxilla in Multi-Center CT Images. *Appl Sci* 2022;12(3). DOI: 10.3390/app12031358.
29. Alomar X, Medrano J, Cabratosa J, Clavero JA, Lorente M, Serra I, et al. Anatomy of the Temporomandibular Joint. *Semin Ultrasound, CT MRI* 2007;28(3):170–183. DOI: 10.1053/J.SULT.2007.02.002.
30. Iturriaga V, Bornhardt T, Velasquez N. Temporomandibular Joint: Review of Anatomy and Clinical Implications. *Dent Clin North Am* 2023;67(2):199–209. DOI: 10.1016/J.CDEN.2022.11.003.
31. Ortiz-Vigón hertz klinika. Online eskuragarri: <https://ortizvigon.com/>
32. Messerman T, Reswick JB, Gibbs C. Investigation of Functional Mandibular Movements. *Dent Clin North Am* 1969;13(3):629–642. DOI: 10.1016/S0011-

## 9. ERREFERENTZI BIBLIOGRAFIKOAK

---

8532(22)03371-7.

33. Ahn SJ, Tsou L, Antonio Sánchez C, Fels S, Kwon HB. Analyzing center of rotation during opening and closing movements of the mandible using computer simulations. *J Biomech* 2015;48(4):666–671. DOI: 10.1016/J.JBIOMECH.2014.12.041.
34. García M, Cabrera JA, Bataller A, Vila J, Mayoral P. Mandibular movement analysis by means of a kinematic model applied to the design of oral appliances for the treatment of obstructive sleep apnea. *Sleep Med* 2020;73:29–37. DOI: 10.1016/J.SLEEP.2020.04.016.
35. FACEBOOK: Portal Odontólogos. Online eskuragarri: <https://www.facebook.com/ArteyCienciaOdontologica/photos/a.523356781183848/1928446470674865/>
36. AD FISIOTERAPIA VALENCIA. Online eskuragarri: <https://www.adfisioterapiavalencia.com/blog/disfuncion-de-la-articulacion-temporomandibular>
37. Herring SW. Masticatory muscles and the skull: A comparative perspective. *Arch Oral Biol* 2007;52(4):296–299. DOI: 10.1016/J.ARCHORALBIO.2006.09.010.
38. PAINOTOPIA. Online eskuragarri: <https://www.dolor-muscular-articular.es/>
39. Wood WW. A review of masticatory muscle function. *J Prosthet Dent* 1987;57(2):222–232. DOI: 10.1016/0022-3913(87)90151-X.
40. Türp JC, Greene CS, Strub JR. Dental occlusion: A critical reflection on past, present and future concepts. *J Oral Rehabil* 2008;35(6):446–453. DOI: 10.1111/j.1365-2842.2007.01820.x.
41. Shillingburg HT, Sather DA, Wilson EL, Cain JR, Mitchell DL BL. *Fundamentals of fixed prosthodontics*. 4.edizioa. Hanover Park: Quintessence Publishing Co, Inc; 2012.
42. Bhatnagar P, Gupta I, Trivedi A, Kusum CK, Saxena D. Occlusal schemes in complete denture patients : A review Occlusal schemes in complete denture patients : A review . *J Orofac Rehabil* 2022;2(1). DOI: 10.5281/zenodo.6437352.
43. Craddock MR, Parker MH, Cameron SM, Gardner FM. Artifacts in recording immediate mandibular translation: A laboratory investigation. *J Prosthet Dent*



- 1997;78(2):172–178. DOI: 10.1016/S0022-3913(97)70122-7.
44. AL Quran FAM, Hazza’A A, Nahass N Al. The Position of the Occlusal Plane in Natural and Artificial Dentitions as Related to Other Craniofacial Planes. *J Prosthodont* 2010;19(8):601–605. DOI: 10.1111/j.1532-849X.2010.00643.x.
  45. Kazanoglu A, Unger JW. Determining the occlusal plane with the Camper’s plane indicator. *J Prosthet Dent* 1992;67(4):499–501. DOI: 10.1016/0022-3913(92)90080-T.
  46. Solaberrieta E. Integración de las técnicas de ingeniería inversa y análisis de mecanismos en el diseño de prótesis dentales dentro de un entorno de D.A.O., UPV-EHU, 2010.
  47. Amezua X. Arku fazial erregistro birtualak hartzeko erabili ohi diren paziente birtualak sortzeko prozedura berri baten garapena eta baliozkotzea, UPV-EHU, 2023.
  48. Driscoll CF, Freilich MA, Guckes AD, Knoernschild KL, MCGarry TJ, Goldstein G, et al. The Glossary of Prosthodontic Terms (Ninth Edition). *J Prosthet Dent* 2017;117:e1–e105. DOI: 10.1016/j.prosdent.2016.12.001.
  49. Nallaswamy VD, Karthikeyan R VB. *Textbook of prosthodontics*. 2. edizioa. Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd.; 2003. DOI: 10.5005/jp/books/10952.
  50. Rosenstiel SF, Land MF FJ. *Contemporary fixed prosthodontics*. 5. edizioa. St Louis: Elsevier Inc; 2015.
  51. Celenza F V, Kotowicz WE GA. Articulators and Articulation. *International prosthodontic workshop on complete denture occlusion*. 2. edizioa. Lang BR, Kelsey CC, Edk. Ann Arbor: School of Dentistry, University of Michigan; 1972:87–186.
  52. Hobo S, Shillingburg HT WL. Articulator selection for restorative dentistry. *J Prosthet Dent* 1976;36(1):35–43. DOI: 10.1016/0022-3913(76)90231-6.
  53. Mitchell DL WN. Articulators through the years. Part I. Up to 1940. *J Prosthet Dent* 1978;39(3):330–338. DOI: /10.1016/S0022-3913(78)80106-1.
  54. Mitchell DL WN. Articulators through the years. Part II. From 1940. *J Prosthet Dent* 1978;39(4):451–458. DOI: /10.1016/S0022-3913(78)80166-8.
  55. Starcke EN. The history of articulators: A critical review of articulators based

## 9. ERREFERENTZI BIBLIOGRAFIKOAK

---

- on geometric theories of mandibular movement, part II: Rupert Hall's conical theory. *J Prosthodont* 2002;11(3):211–222. DOI: 10.1053/jpro.2002.127767.
56. Starcke EN. The history of articulators: A critical history of articulators based on geometric theories of mandibular movement: Part I. *J Prosthodont* 2002;11(2):134–146. DOI: 10.1053/jpro.2002.124356.
57. Starcke EN. The history of articulators: A critical history of articulators based on geometric theories of mandibular movement, part III: The “balancer” designs. *J Prosthodont* 2002;11(4):305–320. DOI: 10.1053/jpro.2002.129835.
58. Starcke EN. The history of articulators: A critical history of articulators based on “geometric” theories of mandibular movement. Part IV: Needles, Wadsworth, and a look at some who followed. *J Prosthodont* 2003;12(1):51–62. DOI: 10.1053/jpro.2003.10.
59. Beck HO, Morrison WE. Investigation of an arcon articulator. *J Prosthet Dent* 1956;6(3):359–372. DOI: 10.1016/0022-3913(56)90057-9.
60. Beck HO. A clinical evaluation of the arcon concept of articulation. *J Prosthet Dent* 1959;9(3):409–421. DOI: 10.1016/0022-3913(59)90072-1.
61. Rihani A. Classification of articulators. *J Prosthet Dent* 1980;43(3):344–347. DOI: 10.1016/0022-3913(80)90414-X.
62. Koc D, Dogan A, Bek B. Bite Force and Influential Factors on Bite Force Measurements : A Literature Review. 2010;4(April):223–232.
63. Dan Mihai Ștefănescu. Piezoelectric Force Transducers (PZFTs). *Handbook of force transducers. Principles and components*. 1. edizioa. Springer Berlin, Heidelberg; 2011:109–130. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-18296-9>.
64. Gu Y, Bai Y, Xie X. Bite Force Transducers and Measurement Devices. *Front Bioeng Biotechnol* 2021;9(151):1–9. DOI: 10.3389/fbioe.2021.665081.
65. Vilela M, Picinato-Pirola MN de C, Giglio LD, Anselmo-Lima WT, Valera FCP, Trawitzki LVV, et al. Bite force in children with posterior crossbite. *Audiol Commun res* 2017;22(e1723):1–5. Online eskuragarri: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2317-64312017000100304](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2317-64312017000100304)
66. Stojanović G, Radovanović M, Vasiljević D, Kojić T, Pivaš B, Puškar T, et al. Comparison of Performances of Flexible Tailor-Made Force Sensing Resistors

- Fabricated Using Inkjet and Xurographic Techniques. *J Sensors* 2019;2019. DOI: 10.1155/2019/9181492.
67. Kruse T, Lehmann HC, Braumann B, Fink GR, Wunderlich G. The Maximum Bite Force for Treatment Evaluation in Severely Affected Adult SMA Patients—Protocol for a Longitudinal Study. *Front Neurol* 2020;11(February):1–6. DOI: 10.3389/fneur.2020.00139.
68. Al-Zarea BK. Maximum bite force following unilateral fixed prosthetic treatment: A within-subject comparison to the dentate side. *Med Princ Pract* 2015;24(2):142–146. DOI: 10.1159/000370214.
69. Hara K, Tohara H, Kenichiro K, Yamaguchi K, Ariya C, Yoshimi K, *et al.* Association between tongue muscle strength and masticatory muscle strength. *J Oral Rehabil* 2019;46(2):134–139. DOI: 10.1111/joor.12737.
70. Lee J, Choi YJ, Park JH, Chung CJ, Lee JH, Kim KH. Surgical vs nonsurgical treatments in patients with anterior open-bite have similar effects in occlusal function: A 2-year follow-up study. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2023:1–8. DOI: 10.1016/j.ajodo.2023.06.024.
71. T-Scan Web Site. Online eskuragarri: <https://www.tekscan.com/products-solutions/digital-occlusal-analysis>
72. Occlusense Web Site. Online eskuragarri: <https://es.occlusense.com/>
73. Dmetec Web Site. Online eskuragarri: [http://www.dmetec.com/e\\_index.php](http://www.dmetec.com/e_index.php)
74. T-SCAN® 9.1 USER MANUAL. Tekscan, Inc.
75. Sutter B. Digital Occlusion Analyzers: A Product Review of T-Scan 10 and Occlusense. *Adv Dent Technol Tech* 2019;2(1):1–31.
76. Sharma A, Rahul GR, Poduval ST, Shetty K, Gupta B, Rajora V. History of materials used for recording static and dynamic occlusal contact marks: A literature review. *J Clin Exp Dent* 2013;5(1):48–53. DOI: 10.4317/jced.50680.
77. Raju DS, Nair DV V, K DH, Ravichandran DR. Interocclusal recording materials and techniques: A literature review. *Int J Appl Dent Sci* 2020;6(4):397–400. DOI: 10.22271/oral.2020.v6.i4f.1095.
78. Baba K, Tsukiyama Y, Clark GT. Reliability, validity, and utility of various occlusal measurement methods and techniques. *J Prosthet Dent* 2000;83(1):83–89. DOI: 10.1016/S0022-3913(00)70092-8.

## 9. ERREFERENTZI BIBLIOGRAFIKOAK

---

79. Qadeer S, Kerstein R, Kim RJY, Huh JB, Shin SW. Relationship between articulation paper mark size and percentage of force measured with computerized occlusal analysis. *J Adv Prosthodont* 2012;4(1):7–12. DOI: 10.4047/jap.2012.4.1.7.
80. Carey JP, Craig M, Kerstein RB, Radke J. Determining a Relationship Between Applied Occlusal Load and Articulating Paper Mark Area. *Open Dent J* 2007;1(1):1–7. DOI: 10.2174/187421060701011060.
81. Kerstein RB, Radke J. Clinician accuracy when subjectively interpreting articulating paper markings. *Cranio - J Craniomandib Pract* 2014;32(1):13–23. DOI: 10.1179/0886963413Z.0000000001.
82. Saad MN, Weiner G, Ehrenberg D, Weiner S. Effects of load and indicator type upon occlusal contact markings. *J Biomed Mater Res - Part B Appl Biomater* 2008;85(1):18–22. DOI: 10.1002/jbm.b.30910.
83. Buduru S, Mesaros A, Talmaceanu D, Baru O, Ghiurca R, Cosgarea R. Occlusion in the digital era: A report on 3 cases. *Med Pharm Reports* 2019;92(3):78–84. DOI: 10.15386/MPR-1524.
84. Maness WL, Chapman RJ DL. Laboratory evaluation of a direct reading digital occlusal sensor. *J Prosthet Dent* 1985;54(5):744. DOI: 10.14746/strp.2015.40.1.28.
85. Cotruță AM, Mihăescu CS, Tănăsescu LA, Mărgărit R, Andrei OC. Analyzing the morphology and intensity of occlusal contacts in implant-prosthetic restorations using t-scan system. *Rom J Morphol Embryol* 2015;56(1):277–281.
86. Bicaj T, Pustina T, Ahmedi E, Dula L, Lila Z, Tmava-Dragusha A, *et al.* The Relation between the Preferred Chewing Side and Occlusal Force Measured by T-Scan III System. *Open J Stomatol* 2015;05(04):95–101. DOI: 10.4236/ojst.2015.54014.
87. Dias RAB, Rodrigues MJP, Messias AL, Guerra FADA, Manfredini D. Comparison between conventional and computerised methods in the assessment of an occlusal scheme. *J Oral Rehabil* 2020;47(2):221–228. DOI: 10.1111/joor.12905.
88. Bozhkova TP. The T-SCAN System in Evaluating Occlusal Contacts. *Folia Med (Plovdiv)* 2016;58(2):122–130. DOI: 10.1515/folmed-2016-0015.
89. Kerstein, DMD RB. The Evolution of the T-Scan I System From 1984 to the Present Day T-Scan 10 System. 2019:1–54. DOI: 10.4018/978-1-5225-9254-

9.ch001.

90. Kerstein RB, Lowe M, Harty M, Radke J. A force reproduction analysis of two recording sensors of a computerized occlusal analysis system. *Cranio - J Craniomandib Sleep Pract* 2006;24(1):15–24. DOI: 10.1179/crn.2006.004.
91. Iwase, M., Sugimori, M., Kurachi, Y., Nagumo M. Changes in Bite Force and Occlusal Contacts in Patients Treated for Mandibular Prognathism by Orthognathic Surgery. *J Oral Maxillofax Surg* 1998;56:850–855.
92. R.B. K. Disocclusion time-reduction therapy with immediate complete anterior guidance development to treat chronic myofascial pain-dysfunction syndrome. *Quintessence Int (Berl)* 1992;23:735–747.
93. Kerestein RB. The Hows and Whys of Disclusion Time Reduction Therapy. *Dent Today* 1993;March:34–35.
94. Kerstein R. B. FS. Treatment of Myofascial Pain-Dysfunction Syndrome with Occlusal Equilibration. *J Prosthet Dent* 1990;63:695–700.
95. Kerstein RB. Combining Technologies: A Computerized Occlusal Analysis System Synchronized with a Computerized Electromyography System. *J Craniomandib Pract* 2004;22:96–109.
96. Bozhkova T, Musurlieva N, Slavchev D, Dimitrova M. Occlusal Indicators Used in Dental Practice : A Survey Study. *Biomed Res Int* 2021;2021. Online eskuragarri: <https://doi.org/10.1155/2021/2177385>
97. Maness WL, Podoloff R. Distribution of occlusal contacts in maximum intercuspation. *J Prosthet Dent* 1989;62(2):238–242. DOI: 10.1016/0022-3913(89)90321-1.
98. Luo Q, Ding Q, Zhang L, Xie Q. Analyzing the occlusion variation of single posterior implant-supported fixed prostheses by using the T-scan system: A prospective 3-year follow-up study. *J Prosthet Dent* 2020;123(1):79–84. DOI: 10.1016/j.prosdent.2018.12.012.
99. Liu CW, Chang YM, Shen YF, Hong HH. Using the T-scan III system to analyze occlusal function in mandibular reconstruction patients: A pilot study. *Biomed J* 2015;38(1):52–57. DOI: 10.4103/2319-4170.128722.
100. Wu M Le, Lai PY, Cheong F, Zhou WC, Xu SH, Li H, *et al.* Application in the analysis of the occlusal force of free-end missing tooth implant restoration with T-SCAN III. *Front Bioeng Biotechnol* 2023;11(April):1–10. DOI:

10.3389/fbioe.2023.1039518.

101. Aradya A, Nagarajagowda RSK, Basavaraju RM, Srinivas S, Kumararama SS. Influence of T-scan System on Occlusion Correction of Implant Supported Prosthesis: A Systematic Review. *J Contemp Dent Pract* 2022;23(1):105–117. DOI: 10.5005/jp-journals-10024-3288.
102. Zhou T, Wongpairojpanich J, Sareethammanuwat M, Lilakhunakon C, Buranawat B. Digital occlusal analysis of pre and post single posterior implant restoration delivery: A pilot study. *PLoS One* 2021;16(7 July):1–21. DOI: 10.1371/journal.pone.0252191.
103. Angélica N, Moreno A, Aranza OT. Frecuencia de maloclusiones y su asociación con problemas de postura corporal en una población escolar del Estado de México Frequency of malocclusions in association with body posture problems in a school population from the State of Mexico. *Bol Med Hosp Infant Mex* 2013;70(5):364–371. Online eskuragarri: [www.medigraphic.org.mx](http://www.medigraphic.org.mx)
104. Olivieri F, Kang KH, Hirayama H, Maness WL. New method for analyzing complete denture occlusion using the center of force concept: a clinical report. *J Prosthet Dent* 1998;80(5):519–523. DOI: 10.1016/S0022-3913(98)70025-3.
105. Shinogaya T, Tanaka Y, Toda S, Hayakawa I. A new approach to evaluating occlusal support by analyzing the center of the bite force. *Clin Oral Investig* 2002;6(4):249–256. DOI: 10.1007/s00784-002-0180-5.
106. Assery MK, Albusaily HS, Pani SC, Aldossary MS. Bite Force and Occlusal Patterns in the Mixed Dentition of Children with Down Syndrome. *J Prosthodont* 2020;29(6):472–478. DOI: 10.1111/jopr.13186.
107. Di Berardino F, Filipponi E, Schiappadori M, Forti S, Zanetti D, Cesarani A. The occlusal imaging and analysis system by T-scan III in tinnitus patients. *Biomed J* 2016;39(2):139–144. DOI: 10.1016/j.bj.2016.04.001.
108. Alkayyal MA, Turkistani KA, Al-Dharrab AA, Abbassy MA, Melis M, Zawawi KH. Occlusion time, occlusal balance and lateral occlusal scheme in subjects with various dental and skeletal characteristics: A prospective clinical study. *J Oral Rehabil* 2020;47(12):1503–1510. DOI: 10.1111/joor.13095.
109. Rues S, Lenz J, Türp JC, Schweizerhof K, Schindler HJ. Muscle and joint forces under variable equilibrium states of the mandible. *Clin Oral Investig* 2011;15(5):737–747. DOI: 10.1007/s00784-010-0436-4.

- 
110. Mizui M, Nabeshima F, Tosa J, Tanaka M, Kawazoe T. Quantitative analysis of occlusal balance in intercuspal position using the T-Scan system. *Int J Prosthodont* 1994;7(1):62–71. Online eskuragarri: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8179785>
111. Wiechens B, Brockmeyer P, Wassmann T, Rödiger M, Wiessner A, Bürgers R. Time of day-dependent deviations in dynamic and static occlusion: A prospective clinical study. *J Prosthet Dent* 2022;1–9. DOI: 10.1016/j.prosdent.2022.05.025.
112. Berry DC, Singh BP. Daily variations in occlusal contacts. *J Prosthet Dent* 1983;50(3):386–391. DOI: 10.1016/S0022-3913(83)80099-7.
113. Raadsheer MC, Van Eijden TMGJ, Van Ginkel FC, Prah Andersen B. Contribution of jaw muscle size and craniofacial morphology to human bite force magnitude. *J Dent Res* 1999;78(1):31–42. DOI: 10.1177/00220345990780010301.
114. Osborn JW, Baragar FA. Predicted pattern of human muscle activity during clenching derived from a computer assisted model: Symmetric vertical bite forces. *J Biomech* 1985;18(8):599–612. DOI: 10.1016/0021-9290(85)90014-4.
115. Shimada A, Baad-Hansen L, Svensson P. Effect of experimental jaw muscle pain on dynamic bite force during mastication. *Arch Oral Biol* 2015;60(2):256–266. DOI: 10.1016/j.archoralbio.2014.11.001.
116. Goiato MC, Zuim PRJ, Moreno A, dos Santos DM, da Silva EVF, de Caxias FP, *et al.* Does pain in the masseter and anterior temporal muscles influence maximal bite force? *Arch Oral Biol* 2017;83(June):1–6. DOI: 10.1016/j.archoralbio.2017.06.029.
117. Li BY, Zhou LJ, Guo SX, Zhang Y, Lu L, Wang MQ. An investigation on the simultaneously recorded occlusion contact and surface electromyographic activity for patients with unilateral temporomandibular disorders pain. *J Electromyogr Kinesiol* 2016;28:199–207. DOI: 10.1016/j.jelekin.2015.11.002.
118. Prabahar T, Gupta N, Chowdhary N, Sonnahalli NK, Chowdhary R, Reddy VR. Comparative evaluation of occlusal bite force in relation to the muscle activity in the mixed dentition children of age group 9–12 years: A t-scan analysis. *Int J Clin Pediatr Dent* 2021;14(Special Issue 1):S26–S31. DOI: 10.5005/jp-journals-10005-2019.
119. Wiczorek A, Loster J, Loster BW. Relationship between occlusal force

## 9. ERREFERENTZI BIBLIOGRAFIKOAK

---

- distribution and the activity of masseter and anterior temporalis muscles in asymptomatic young adults. *Biomed Res Int* 2013;2013. DOI: 10.1155/2013/354017.
120. Saraçoğlu A, Özpınar B. In vivo and in vitro evaluation of occlusal indicator sensitivity. *J Prosthet Dent* 2002;88(5):522–526. DOI: 10.1067/jmpr.2002.129064.
121. C. Fraile, A. Ferreiroa, E. Solaberrieta GP. Intraoral versus extraoral digital occlusal records: a pilot study. *Int J Comput Dentistry* 2018;21(504\51):329–333.
122. Solaberrieta E, Etxaniz O, Otegi JR, Brizuela A, Pradies G. Customized procedure to display T-Scan occlusal contacts. *J Prosthet Dent* 2017;117(1):18–21. DOI: 10.1016/j.prosdent.2016.07.006.
123. Da Silva Martins MJ, Caramelo FJ, Ramalho da Fonseca JA, Gomes Nicolau PM. In vitro study on the sensibility and reproducibility of the new T-Scan®III HD system. *Rev Port Estomatol Med Dent e Cir Maxilofac* 2014;55(1):14–22. DOI: 10.1016/j.rpemd.2014.01.001.
124. Kerstein RB, Radke J. In-vitro consistency testing of the T-Scan 10 relative force measurement system In-vitro consistency testing of the T-Scan 10 relative force measurement system. *Adv Dent Technol Tech* 2022(April).
125. De Prado I, Iturrate M, Minguez R, Solaberrieta E. Evaluation of the Accuracy of a System to Align Occlusal Dynamic Data on 3D Digital Casts. *Biomed Res Int* 2018;2018. DOI: 10.1155/2018/8079089.
126. *International Organization for Standardization. ISO-5725-1:Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 1: General principles and definitions.* 2023.
127. Chrysler Group LLC; Ford Motor Company GMC. *Measurement Systems Analysis: Reference Manual.* 4.edizioa. Automotive Industry Action Group (AIAG); 2010. Online eskuragarri: <https://www.aiag.org/store/publications/details?ProductCode=MSA-4>
128. *International Organization for Standardization. ISO-5725-2:Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results— Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method.* 2019.



129. *International Organization for Standardization. ISO-5725-3:Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 3: Intermediate measures of the precision of a standard measurement method. 2023.*
130. Mehl A, Reich S, Beuer F, Güth J-F. Accuracy, trueness, and precision - a guideline for the evaluation of these basic values in digital dentistry. *Int J Comput Dent* 2021;24(4):341–352. Online eskuragarri: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/34931770>
131. Ferrato G. Digital evaluation of occlusal forces: comparison between healthy subjects and TMD patients. *Ann Stomatol (Roma)* 2017;8(2):79–88. DOI: 10.11138/ads/2017.8.2.079.
132. Wieczorek A, Loster JE. Activity of the masticatory muscles and occlusal contacts in young adults with and without orthodontic treatment. 2015. DOI: 10.1186/s12903-015-0099-2.
133. Bandodkar S, Tripathi S, Chand P, Singh S V., Arya D, Kumar L, *et al.* A study to evaluate psychological and occlusal parameters in bruxism. *J Oral Biol Craniofacial Res* 2022;12(1):38–41. DOI: 10.1016/j.jobcr.2021.10.007.
134. Sierpinska T, Kuc J, Golebiewska M. Assessment of masticatory muscle activity and occlusion time in patients with advanced tooth wear. *Arch Oral Biol* 2015;60(9):1346–1355. DOI: 10.1016/j.archoralbio.2015.06.006.
135. Zhang R, Hao X, Zhang K. Evaluation of two different occlusal patterns on single posterior implant-supported crowns: A 12-month prospective study of occlusal analysis. *J Prosthet Dent* 2023:1–8. DOI: 10.1016/j.prosdent.2022.11.026.
136. Kabbua P, Aunmeungtong W, Khongkhunthian P. Computerised occlusal analysis of mini-dental implant-retained mandibular overdentures: A 1-year prospective clinical study. *J Oral Rehabil* 2020;47(6):757–765. DOI: 10.1111/joor.12969.
137. Faggion CM. Guidelines for Reporting Pre-clinical In Vitro Studies on Dental Materials. *J Evid Based Dent Pract* 2012;12(4):182–189. DOI: 10.1016/J.JEBDP.2012.10.001.
138. Komi P V. Relevance of in vivo force measurements to human biomechanics. *J Biomech* 1990;23(SUPPL. 1):23–34. DOI: 10.1016/0021-9290(90)90038-5.
139. Iyer RR, Sethuraman R. Evidence, ethics, and quality appraisal tool for In Vitro studies: A concept note based on scoping review of current tools relevant to

## 9. ERREFERENTZI BIBLIOGRAFIKOAK

---

- dental In Vitro research. *J Datta Meghe Inst Med Sci Univ* 2022;17(4):984–989. DOI: 10.4103/jdmimsu.jdmimsu\_379\_22.
140. Blanc-Sylvestre N, Bouchard P, Chaussain C, Bardet C. Pre-clinical models in implant dentistry: Past, present, future. *Biomedicines* 2021;9(11). DOI: 10.3390/biomedicines9111538.
141. Cha S, Park YS. Plasma in dentistry. *Clin Plasma Med* 2014;2(1):4–10. DOI: 10.1016/J.CPME.2014.04.002.
142. Dian M, Hodinář L. The GRR a fundamental tool for dealing with measurement system variability. *Manuf Technol* 2018;18(1):29–34. DOI: 10.21062/ujep/48.2018/a/1213-2489/MT/18/1/29.
143. Yu Y-J, Zhou Y, Gong T-C, Chien W-T. G.R.R. Evaluation and Application in IC Manufacturing. *Int J Mater Mech Manuf* 2016;4(4):278–281. DOI: 10.18178/ijmmm.2016.4.4.271.
144. Bhakhri R, Belokar RM. Quality Improvement Using GR & R : A Case Study. *Int Res J Eng Technol* 2017;4(6):3018–3023. Online eskuragarri: <https://irjet.net/archives/V4/i6/IRJET-V4I6737.pdf>
145. Klaput P, Plura J. Influence of used method on the results of gage repeatability and reproducibility study. *Met 2012 - Conf Proceedings, 21st Int Conf Metall Mater* 2012:1756–1761.
146. Jauregi M, Amezua X, Manso AP, Solaberrieta E. Positional influence of center of masticatory forces on occlusal contact forces using a digital occlusal analyzer. *J Prosthet Dent* 2023;129(6):930.e1-930.e8. DOI: 10.1016/j.prosdent.2023.03.007.
147. *Food and Drug Administration. FDA-2013-D-0350. Use of International Standard ISO 10993-1, "Biological evaluation of medical devices - Part 1: Evaluation and testing within a risk management process.": Guidance for Industry and Food and Drug Administration.* Silver Spring: FDA; 2020.
148. *International Organization for Standardization. ISO-7050. Cross-recessed countersunk (flat) head tapping screws.* 2011.
149. *Iso U. International Organization for Standardization. ISO-10993-1. Biological evaluation of medical devices - Part 1: evaluation and testing within a risk management process. Geneva: ISO; 2018.* 2018.
150. Fraile C, Ferreira A, Romeo M, Alonso R, Pradíes G. Clinical study comparing

## 9. ERREFERENTZI BIBLIOGRAFIKOAK

---

the accuracy of interocclusal records, digitally obtained by three different devices. *Clin Oral Investig* 2021(0123456789). DOI: 10.1007/s00784-021-04174-2.

## 9. ERREFERENTZI BIBLIOGRAFIKOAK

---

**ERANSKINAK:**

**ARGITARATUTAKO ARTIKULUAK**

ERANSKINAK: ARGITARATUTAKO ARTIKULUAK

---

**1. ARTIKULUA: Positional influence of center of masticatory forces on occlusal contact forces using a digital occlusal analyzer.**

ERANSKINAK: ARGITARATUTAKO ARTIKULUAK

---



RESEARCH AND EDUCATION

Positional influence of center of masticatory forces on occlusal contact forces using a digital occlusal analyzer



Mikel Jauregi, BEng, MSc,<sup>a</sup> Xabier Amezua, BEng, MSc, PhD,<sup>b</sup> Angel P. Manso, BEng, MSc, PhD,<sup>c</sup> and Eneko Solaberrieta, BEng, MSc, PhD<sup>d</sup>

Digital occlusal analyzers were developed to detect contacts between teeth and to measure the relative intensity of force at those contacts at each instant throughout occlusion.<sup>1</sup> The first to be marketed and the most studied device (T-Scan; Tekscan Inc) has a measurable area unit of 1.27×1.27 mm, which corresponds to the area of a sensel.<sup>2</sup> This device, with its own software program (Fig. 1), processes measured data and provides qualitative graphical information on the intensity of force on each sensel and shows the location of the center of contact forces (CO-CF) together with its trajectory during occlusion.<sup>3,4</sup>

Output data provided by the device, and especially the location of CO-CF regarding the mid-sagittal plane, are intended to help the dentist detect occlusal quality. These

ABSTRACT

**Statement of problem.** Digital occlusal analyzers allow the recording of dental contact forces. Some authors assume a unique location for the center of contact forces at the position of maximum intercuspation, while others indicate variations in dental contact forces when recorded at different times of the day. Which approach is more appropriate is unclear.

**Purpose.** The purpose of this in vitro study was to analyze whether a change in the balance of masticatory forces influences the location of the center of contact forces and its magnitude.

**Material and methods.** Three different dental casts, selected under dental criteria, were mounted in maximum intercuspation on a semiadjustable articulator equipped with a pattern indicating 9 different force application points (intersection point between 3 longitudinal rows and 3 transverse columns). A force of constant magnitude (169 N) was applied 10 times at each of the application points, and occlusal forces were recorded with a digital occlusal analyzer. Then, two variables were studied: the location of the center of contact forces and its magnitude. Each force application position (9 positions × 3 dental casts=27 in total) was repeated 10 times, and measured data were statistically analyzed with 2-way repeated measures ANOVA ( $\alpha=.05$ ) test.

**Results.** The repeatability of the method indicated that the coefficient of variation mean was 0.37% in the location of the center of contact forces and that its magnitude was 3.70%. The 2-way repeated measures ANOVA test revealed statistically significant variations in the location of the center of contact forces and its magnitude, revealing that longitudinal changes of the application point of masticatory forces affected the magnitude of contact forces and that longitudinal and transverse changes of the application point of masticatory forces affected the location of the center of contact forces.

**Conclusions.** The location of the center of contact force and its magnitude provided by a digital occlusal analyzer at the position of maximum intercuspation are not necessarily unique to each articulated dental cast. Even if the intensity of the masticatory force remains unchanged, changes in its lateral or longitudinal balance also influence the result of the occlusion forces. (J Prosthet Dent 2023;129:930.e1–e8)

Supported by the University of the Basque Country UPV/EHU, Spain [grant GIU21/051]; the Gipuzkoa Provincial Council, Spain [grant 2022-CIEN-000019-01]; and by the Ministry of Science and Innovation (MCIN/AEI/10.13039/501100011033), Spain [grant PID2019-108975RA-I00].

<sup>a</sup>Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Gipuzkoa, University of the Basque Country (UPV/EHU), San Sebastian, Spain.

<sup>b</sup>Assistant Professor, Department of Graphic Design and Engineering Projects, Faculty of Engineering Bilbao, University of the Basque Country (UPV/EHU), Bilbao, Spain.

<sup>c</sup>Associate Professor, Department of Graphic Design and Engineering Projects, Faculty of Engineering Gipuzkoa, University of the Basque Country (UPV/EHU), San Sebastian, Spain.

<sup>d</sup>Associate Professor, Department of Graphic Design and Engineering Projects, Faculty of Engineering Gipuzkoa, University of the Basque Country (UPV/EHU), San Sebastian, Spain.

### Clinical Implications

Transverse equilibrium changes in masticatory forces can change occlusion measured with a digital occlusal analyzer. Dentists should consider this circumstance in their diagnoses, as fatigue or pain could change the masticatory force balance.

data are also used for other clinical purposes, such as to detect and correct diseases of the temporomandibular joint,<sup>5,6</sup> to evaluate rehabilitations with or without implants,<sup>4,7</sup> to evaluate the outcome of orthodontic treatment,<sup>8</sup> and to address various dental problems such as bruxism,<sup>9</sup> severe tooth wear,<sup>10</sup> and muscle pain.<sup>11</sup>

Despite providing useful information for dentists, the use of these devices has not been as widespread as initially expected,<sup>12</sup> possibly because of doubts about the reliability of their measurements. The reliability of contact positions provided by such a device has been widely analyzed and compared in relation to other methods,<sup>13-17</sup> whereas the reliability of the contact force (CF) values it provides has been less studied.<sup>18-20</sup> Another difficulty with the clinical use of such a device has been the inability to interpret the data obtained. One such difficulty is the location of the CO-CF, which has been studied.<sup>3,21,22</sup> While some authors assumed that each individual's dentition has a unique location of CO-CF at maximum intercuspation position (MIP),<sup>21-23</sup> other authors concluded that occlusion cannot be considered static and unique in MIP and that intensities at contact points vary throughout the day.<sup>24,25</sup> This last statement has been considered in the past, pointing to the level of contraction of the masticatory muscles as a possible cause of this variation.<sup>25</sup>

Three forces act simultaneously in the MIP of occlusion (Fig. 2): the forces exerted voluntarily by masticatory muscles, CFs between teeth, and forces on the temporomandibular joint. The sum of these 3 forces should be in equilibrium. Masticatory force and CF are different from each other, and each has a resultant that intersects the occlusal plane at a point called the center of forces; they also have a different force magnitude (Table 1).

When masticatory muscles exert compressive force, the maxillary and mandibular dentition come together until they reach the MIP, and, in response, the CFs, which are the forces measured by a digital occlusal analyzer, rise at all dental contacts. Reaction forces also occur at the condyles of the temporomandibular joint, although these are not recorded with these devices.

Any physiological inequality, or any lack of lateral symmetry of the main masticatory muscles (masseter and temporalis muscle),<sup>26,27</sup> is considered to result in a noncoincidental location of the center of masticatory

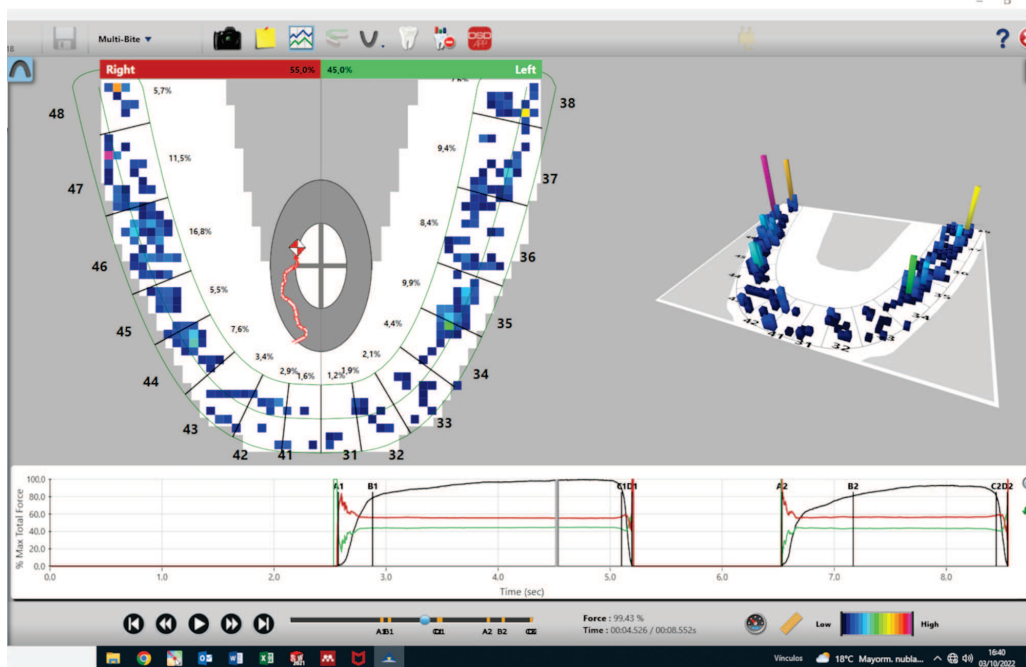
forces (CO-MF) in the mid-sagittal plane. In addition, each individual can voluntarily or involuntarily vary the intensity of muscle contraction.<sup>28,29</sup> As a consequence, the CO-MF position will move longitudinally in an anterior-posterior direction from the incisors (Y-coordinate) and also transversely from left to right from the mid-sagittal plane (X-coordinate).

The activity of masticatory muscles, measured with electromyography, and CFs, measured with a digital occlusal analyzer, have been studied together.<sup>6,30,31</sup> However, the authors are unaware of *in vitro* studies evaluating the consequence of the lack of masticatory force symmetry.

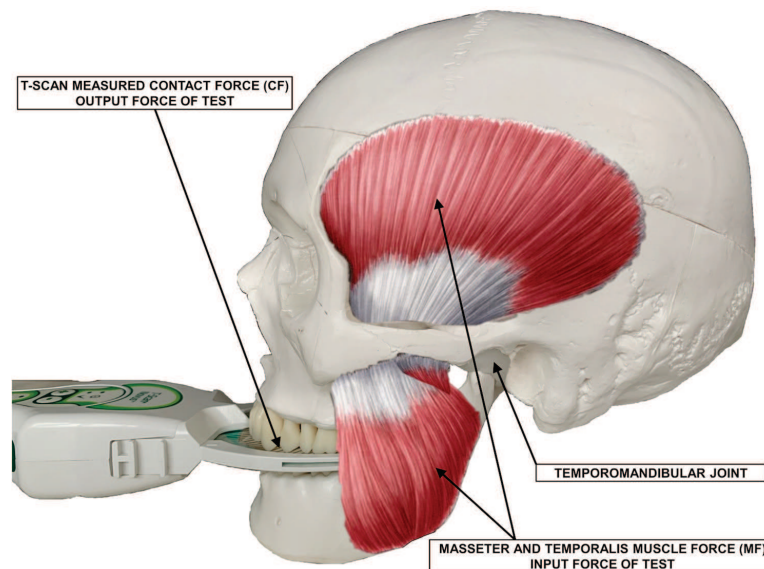
The purpose of this study was to analyze whether articulated dental casts have a unique resulting CF at MIP, which could only be changed by modifying the geometry of the dentition, or, alternatively, if there is an influence of CO-MF even if the magnitude of the masticatory forces are kept constant. The null hypotheses were that, for any articulated dental cast, no relationship would be found between CO-MF and CO-CF when the magnitude of the masticatory forces was constant and that, for any articulated dental cast, no relationship would be found between CO-MF and the contact force magnitude (CF-M) when the magnitude of the masticatory forces was constant.

### MATERIAL AND METHODS

The influence of the CO-MF position in the location of the CO-CF and the CF-M was studied by applying an input force (equivalent to masticatory force) of constant magnitude at 9 different positions on articulated dental casts (equivalent to different CO-MF or balances of masticatory force). Once approval had been obtained from the university ethical committee (M10\_2019\_254), 3 different dental casts (CASE GSR, CASE GSL, and CASE BSL) were mounted in maximum intercuspation on a semiadjustable articulator (Artex CN; Amann Girschbach AG). The articulator was calibrated by using a magnetic plate system, which obtained a precision where deviations were reduced to below 10  $\mu$ m. An investigator made an impression of both arches (3M ESPE Express 2 Putty Soft and 3M Express 2 Light Body Standard; 3M), recorded the occlusion at MIP with silicone (3M Imprint 4 Bite; 3M), and determined the position of the maxilla and its orientation relative to the cranium axis by using a facebow (Artex facebow; Amann Girschbach AG). That position was transferred to the articulator in the laboratory by using a transfer table (Artex Transfer Table; Amann Girschbach AG). Dental casts were mounted using the transferred position and the occlusal registry at MIP. This standardized procedure ensured the correct positioning of the dental cast in relation to the Frankfurt plane on the semiadjustable articulator.



**Figure 1.** Digital occlusal analyzer (T-Scan; Tekscan Inc) results screen with red and white rhombus indicating location of center of forces in maximum intercuspation position together with its trajectory during occlusion.



**Figure 2.** Force type that appears in occlusion when maximum intercuspation position has been reached.

**Table 1.** Abbreviations related to forces when maximum intercuspation position has been reached

Occlusion Force Type	Resultant	Magnitude	Center of Force
Masticatory force: input force of test	(MF)	(MF-M)	(CO-MF)
Device-measured contact forces: output force of test	(CF)	(CF-M)	(CO-CF)
Temporomandibular joint force	Not used	Not used	Not used

CF, contact force; CF-M, contact force magnitude; CO-CF, center of contact force; CO-MF, center of masticatory forces; MF, masticatory force; MF-M, magnitude of masticatory forces.

The dental casts were selected under dental criteria: CASE GSR (good symmetry and right displaced) presented many contact points, a good left–right symmetry in its contact points, and a CO-CF slightly shifted to the right; CASE GSL (good symmetry and left displaced) also presented many symmetrical contact points, but its CO-CF was slightly shifted to the left; and finally, CASE BSL (bad symmetry and left displaced) presented few nonsymmetrical contact points, and its CO-CF was clearly displaced to the left from the mid-sagittal plane.

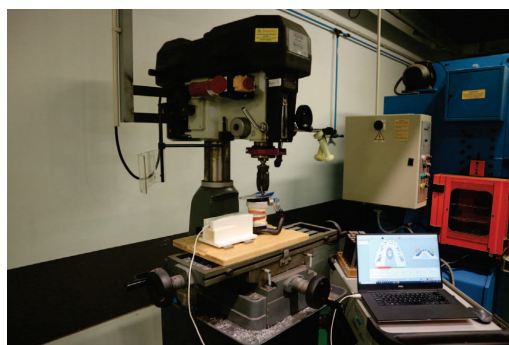
A pattern with an XY coordinate system (X=transverse axis and Y=longitudinal axis) and 9 points for application of input force was attached to the upper arm of the semiaadjustable articulator (Fig. 3). The points for application of the input force were established by using a grid with 3 rows and 3 columns: an anterior row, placed 6-mm distally from the incisors; a middle row, at a distance of 28 mm from the incisors; a posterior row, at a distance of 50 mm; a first column, placed 18 mm to the right from the mid-sagittal plane; a second column exactly in the mid-sagittal plane; and a third column, placed 18 mm to the left from the mid-sagittal plane. Furthermore, the 9 points for application of input force were grouped in 3 positional groups according to the row in which they were situated: anterior positions, the 3 situated in the anterior row; middle points, the 3 situated in the middle row; and posterior positions, the 3 situated in the posterior row.

For each articulator mounting, a digital occlusal analyzer (T-Scan; Tekscan Inc) was positioned with the aid of a fixed structure that had been custom designed and manufactured (Fig. 4). The structure was then placed on the table of a vertical drill (OPTI F30; Optimum), and an input force equivalent to a masticatory force of constant magnitude of 169 N—previously measured with a digital dynamometer (Beslands Push-pull Force Gauge, SF-500; beslandstool)—was applied perpendicular to the Frankfort plane with a Ø12.5-mm spherical tip 10 times on each application point identified in the pattern (Fig. 3).

Each time an input force was applied, the occlusion was measured with the digital occlusal analyzer, as per the manufacturer's protocol.<sup>20</sup> All measurements were recorded in the software program of the digital occlusal analyzer, and, from each of them, 3 values were



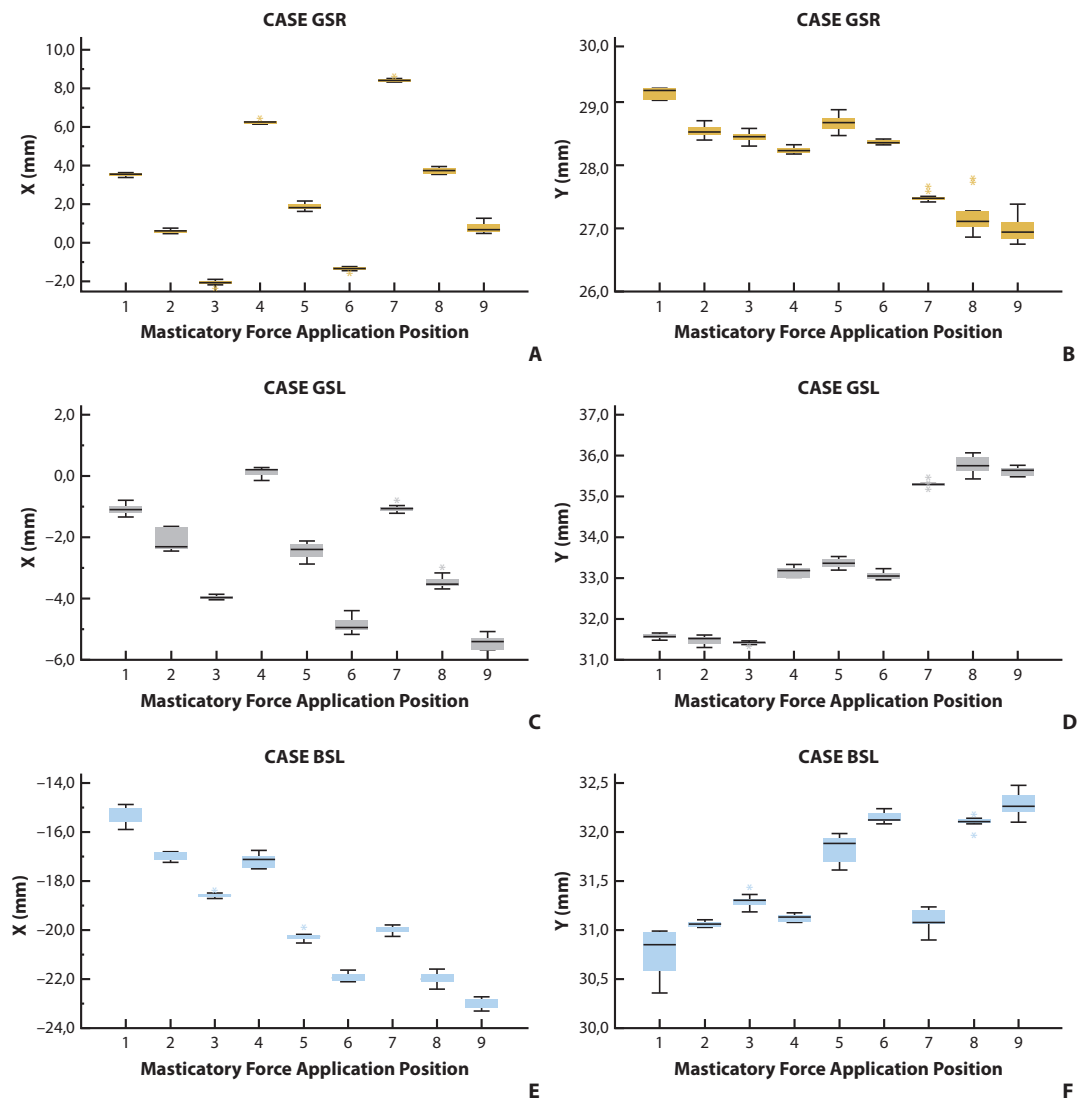
**Figure 3.** Pattern to control position of input force application point.



**Figure 4.** Assembly of elements used for tests.

subtracted from the American Standard Code for Information Interchange (ASCII) format file: CF-M and 2 coordinates of CO-CF (X and Y, in millimeters and with the same reference system as the pattern). The X-coordinate corresponded to the transverse location of the CO-CF from the mid-sagittal plane, and the Y-coordinate to the longitudinal location in the anterior–posterior direction measured from the incisors. In total, in each mounting, 10 CF-M and X and Y coordinates of CO-CF were obtained for each input force application point.

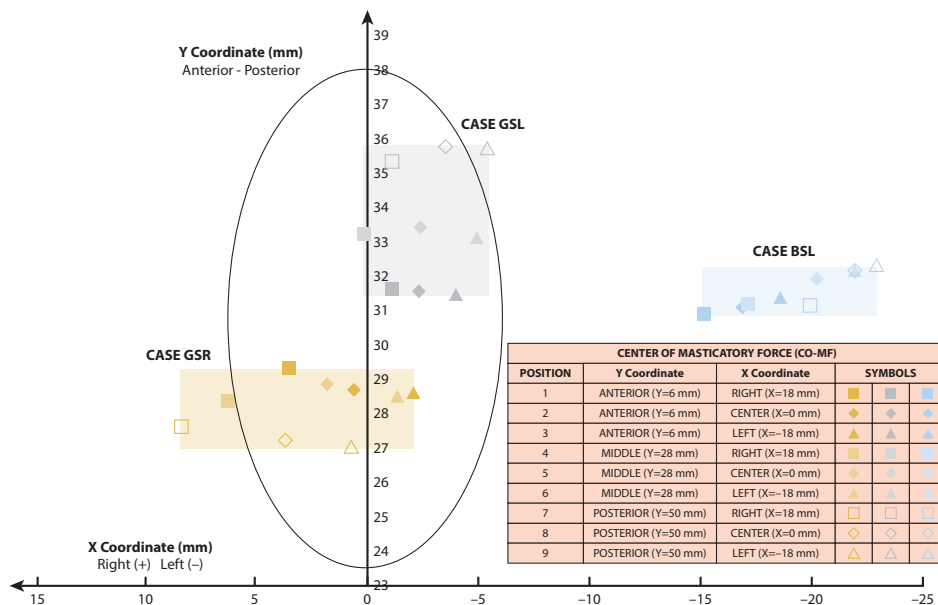
All measurements were entered into a statistical software program (IBM SPSS Statistics, v26; IBM Corp) to test the null hypotheses. To test the first null hypothesis, the influence of the input force application position in the X and Y coordinates of the CO-CF was analyzed with a 2-way repeated measures ANOVA test ( $\alpha=.05$ ) for each of the coordinates. Each coordinate was considered a repeated measures factor with 9 levels, and the articulated dental casts an independent factor with 3 levels (given that 10 repeated coordinates were measured for each of the 9 force application positions for each of the 3 articulated dental casts). Similarly, to test the



**Figure 5.** Box plot for XY coordinates for location of CO-CF. A, X-coordinate for CASE GSR (yellow). B, Y-coordinate for CASE GSR. C, X-coordinate for CASE GSL (gray). D, Y-coordinate CASE GSL. E, X-coordinate for CASE BSL (blue). F, Y-coordinate for CASE BSL. BSL, bad symmetry and left displaced; CO-CF, center of contact force; GSL, good symmetry and left displaced; GSR, good symmetry and right displaced.

second null hypothesis, the influence of the input force application position on the CF-M was analyzed by comparing the magnitudes for each group of input force application positions (anterior, middle, and posterior). In addition, to perform the comparisons, the means of the 10 CF-Ms measured for each of the 9 input force application positions were calculated for each of the

articulated dental casts. Then, the CF-Ms measured for each of the articulated dental casts were divided by the highest mean value and expressed as percentages. A 2-way repeated measures ANOVA test ( $\alpha=.05$ ) was then performed, considering CF-M (expressed in percentages) a repeated measures factor with 3 levels and the articulated dental casts an independent factor with 3 levels



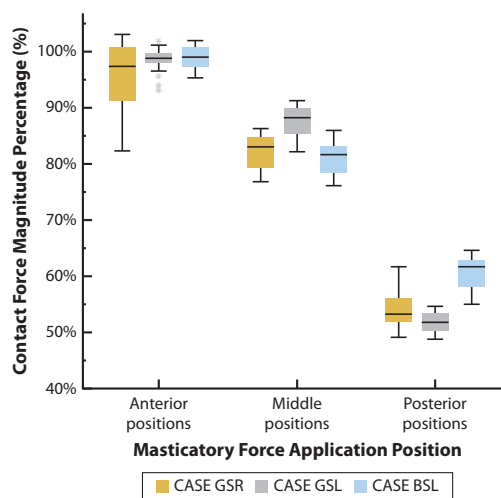
**Figure 6.** Graph for medians of locations for CO-CF in 3 dental cast situations. Each symbol corresponds to a different position of CO-MF. CO-CF, center of contact force; CO-MF, center of masticatory forces.

(given that 10 repeated CF-M values were obtained for each of the 3 input force application positions belonging to each of the 3 groups of input force application positions for each of the 3 articulated dental casts).

**RESULTS**

The influence of the input force application point on the X and Y coordinates of CO-CF is presented in Figure 5. The 2-way repeated measures ANOVA test revealed significant differences in the X ( $F_{G-G}$  [9.32, 125.85] =1204.70;  $P<.001$ ;  $\eta^2=0.989$ ) and Y ( $F_{G-G}$  [7.75, 104.66] =1149.69;  $P<.001$ ;  $\eta^2=0.988$ ) coordinates among the groups for the 3 articulated dental casts, demonstrating that the point of application of the input force had an influence on their value. Furthermore, a coefficient of variation mean of 0.37% was obtained in the X and Y coordinate values obtained in the 10 repetitions for the 27 groups. In Figure 6, the median of the CO-CF location for each group of repetitions of the test variable CO-MF has been positioned with a symbol; that is, 9 symbols for each dental cast. A reference ellipse has also been drawn, within which is what is considered to be a normal location in MIP for 68% of the population, according to Maness et al<sup>21</sup> and Mizui et al.<sup>22</sup>

Regarding the influence of the input force application point in the magnitude data of CF (Fig. 7), a 2-way repeated measures ANOVA test ( $F_{G-G}$  [3.37, 146.71] =73.08;  $P<.001$ ;  $\eta^2=0.627$ ) revealed statistically



**Figure 7.** Box plot of CF magnitudes percentages for 3 dental cast cases. Each group corresponds to anterior, middle, and posterior positions of CO-MF. BSL, bad symmetry and left displaced; CF, contact force; CO-MF, center of masticatory forces; GSL, good symmetry and left displaced; GSR, good symmetry and right displaced.

significant differences in CF magnitude percentages among the 3 groups in each articulated dental cast, demonstrating that even when testing with the same

magnitude of input force (169 N), the values of CF-M varied significantly for the 3 groups. In the CF-M percentages, a coefficient of variation mean of 3.70% was obtained for 30 repetitions for the 3 groups in each of the 3 articulated dental casts.

## DISCUSSION

The purpose of this study was to analyze whether a change in the masticatory force balance influenced the location of the CO-CF and its CF-M. Statistically significant differences were found on the measured CO-CF and CF-M values when changing the masticatory force balances (application points). Therefore, the hypothesis that each articulated dental cast had a unique location of the CO-CF at the MIP was rejected as was the hypothesis that if the intensity of the masticatory force remained constant, the magnitude of the tooth CF would also always remain constant. Furthermore, the obtained average coefficient of variation (0.37% in location of CO-CF and 3.70% in CF-M) revealed that the test method designed and used to measure both parameters of dental CFs was highly repeatable.

To analyze the location of CO-MF, 27 groups (9 positions of CO-MF in 3 dentures) were used, with excellent repeatability. However, to analyze the magnitude of CFs, 9 groups (anterior, middle, and posterior positions of CO-MF in 3 dentures) were used; these were less homogeneous and therefore had reduced repeatability.

Cerna et al<sup>18</sup> concluded that the digital occlusal analyzer used in the present study was a reliable device if the total force value was measured with sensors of the same manufacturing series, as used in the present study. Kerstein et al<sup>20</sup> also concluded that this digital occlusal analyzer was a reliable device if the percentage of left and right side force were measured; this information is consistent with good repeatability of the X coordinate of the CO-CF in the present study.

Lee et al<sup>19</sup> also concluded that the digital occlusal analyzer was a reliable device if absolute force value is measured. In their in vitro test, a denture was mounted in a semiadjustable articulator and was compressed with a force applied always at the same point of the articulator. This conclusion was consistent with the results of the present study (Fig. 6).

ANOVA tests performed on 2 coordinates of the CO-CF for 3 dental modes led to the rejection of the first null hypothesis ( $P < .05$ ). Graphically (Fig. 6), it could be clearly distinguished that medians of the CO-CF varied when the CO-MF changed. Examining the graph also led to the rejection of the first null hypothesis because each articulated dental cast did not have a unique location for the CO-CF in MIP. By using electromyography, Wiechens et al<sup>24</sup> concluded that symmetrical masticatory forces do not imply a centered and balanced CO-CF, consistent with the results of the present study (Fig. 6).

In the present study, the quality of the occlusion of articulated dental casts did not significantly influence variations in the location of the CO-CF. However, the poorest quality dental cast, CASE BSL, presented less variation in the CO-CF than better quality casts, possibly because there were fewer contact points and the redistribution of forces was more limited.

Although longitudinal position changes made in the CO-MF were greater than transverse changes, variations in the longitudinal location of the CO-CF were smaller. Furthermore, the transverse location variation of the CO-CF directly correlated with the transverse position changes of CO-MF. However, the longitudinal CO-CF location variation did not directly correlate with the longitudinal CO-MF changes. This effect may have been because transverse stability was achieved with 2 supports on the condyles located at each transverse end, but longitudinal stability was only achieved with the 2 condyles located at the same longitudinal end.

ANOVA tests for the percentages of the CF-M also rejected the second null hypothesis ( $P < .05$ ). When the same value of masticatory force (value 169 N) was applied in positions closer to condyles, the magnitude of CFs was lower (Fig. 7), because condyles bear a larger part of the masticatory force.

Among the studies simultaneously analyzing muscle force and dental CF,<sup>28-31</sup> none have focused on the influence of the first force with respect to the second. Wiechens et al<sup>24</sup> and Berry and Singh<sup>25</sup> concluded that the location and intensity of CF changes throughout the day and pointed to variation in muscle contraction as the likely cause, a finding that was consistent with the present study.

Limitations of the present study include the use of in vitro tests. Future research could measure the variability in the CO-CF in vivo by monitoring muscle contraction with surface electromyography measurements. To do this, once the point of maximum intercuspatation is reached, patients could voluntarily vary muscle contraction from left to right to determine the effect on the location of the CO-CF.

Although an imbalance was introduced by shifting the CO-MF from the mid-sagittal plane, another limitation was the impossibility of quantifying muscle force on each side. In order to quantify it, it would be necessary to know the exact lateral position of muscles, and this aspect was beyond the scope of the present study.

The null hypotheses were established for any existing dental cast, and they must be satisfied for all situations. Three dental casts were analyzed, and the statistics determined that the null hypotheses were not satisfied; as a result, they are not satisfied in any situation. It might be thought that the null hypotheses will not be satisfied in any dental cast, but, with only 3 examples tested, the statistical evidence was insufficient to confirm this.

## CONCLUSIONS

Based on the findings of this in vitro study, the following conclusions were drawn:

1. The location of the CFs offered by a digital occlusal analyzer at the maximum intercuspation position was not necessarily unique for each articulated dental cast. Even if the intensity of the masticatory force remains unchanged, changes in its lateral or longitudinal balance also influence this location.
2. Even if the intensity of the masticatory force remains constant, the magnitude of the absolute force measured with a digital occlusal analyzer can vary significantly. Changes in the longitudinal position of the CO-MF cause this variation.

## REFERENCES

1. Maness WL, Chapman RJ, Dario LD. Laboratory evaluation of a direct reading digital occlusal sensor. *J Prosthet Dent.* 1985;54:744.
2. Bozhkova TP. The T-SCAN system in evaluating occlusal contacts. *Folia Med (Plovdiv).* 2016;58:122-130.
3. Olivieri F, Kang KH, Hirayama H, Maness WL. New method for analyzing complete denture occlusion using the center of force concept: a clinical report. *J Prosthet Dent.* 1998;80:519-523.
4. Shinogaya T, Tanaka Y, Toda S, Hayakawa I. A new approach to evaluating occlusal support by analyzing the center of the bite force. *Clin Oral Investig.* 2002;6:249-256.
5. Ferrato G. Digital evaluation of occlusal forces: comparison between healthy subjects and TMD patients. *Ann Stomatol.* 2017;8:79-88.
6. Li BY, Zhou LJ, Guo SX, Zhang Y, Lu L, Wang MQ. An investigation on the simultaneously recorded occlusion contact and surface electromyographic activity for patients with unilateral temporomandibular disorders pain. *J Electromyogr Kinesiol.* 2016;28:199-207.
7. Liu CW, Chang YM, Shen YF, Hong HH. Using the T-scan III system to analyze occlusal function in mandibular reconstruction patients: a pilot study. *Biomed J.* 2015;38:52-57.
8. Wiecek A, Loster JE. Activity of the masticatory muscles and occlusal contacts in young adults with and without orthodontic treatment. *BMC Oral Health.* 2015;15:116.
9. Bandodkar S, Tripathi S, Chand P, et al. A study to evaluate psychological and occlusal parameters in bruxism. *J Oral Biol Craniofacial Res.* 2022;12:38-41.
10. Sierpinska T, Kuc J, Golebiewska M. Assessment of masticatory muscle activity and occlusion time in patients with advanced tooth wear. *Arch Oral Biol.* 2015;60:1346-1355.
11. Di Berardino E, Filippini E, Schiappadori M, Forti S, Zanetti D, Cesarani A. The occlusal imaging and analysis system by T-scan III in tinnitus patients. *Biomed J.* 2016;39:139-144.
12. Bozhkova T, Musurlieva N, Slavchev D, Dimitrova M. Occlusal indicators used in dental practice: a Survey Study. *Biomed Res Int.* 2021;2021:2177385.
13. Saraçoğlu A, Özpınar B. In vivo and in vitro evaluation of occlusal indicator sensitivity. *J Prosthet Dent.* 2002;88:522-526.
14. Bozhkova T, Musurlieva N, Slavchev D. Comparative study qualitative and quantitative techniques in the study of occlusion. *Biomed Res Int.* 2021;2021:1163874.
15. Bostancıoğlu SE, Toğay A, Tamam E. Comparison of two different digital occlusal analysis methods. *Clin Oral Investig.* 2022;26:2095-2109.
16. Fraile C, Ferreira A, Solaberrieta GP E. Intraoral versus extraoral digital occlusal records: a pilot study. *Int J Comput Dent.* 2018;21:329-333.
17. Solaberrieta E, Ebaniz O, Otegi JR, Brizuela A, Pradies G. Customized procedure to display T-Scan occlusal contacts. *J Prosthet Dent.* 2017;117:18-21.
18. Cerna M, Ferreira R, Zaror C, Navarro P, Sandoval P. Validity and reliability of the T-Scan III for measuring force under laboratory conditions. *J Oral Rehabil.* 2015;42:544-551.
19. Lee W, Kwon HB, Kim MJ, Lim YJ. Determination of the reliability and repeatability of a quantitative occlusal analyzer by using a piezoelectric film sensor: an in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2022;127:331-337.
20. Kerstein RB, Radke J. In-vitro consistency testing of the T-Scan 10 relative force measurement system in-vitro consistency testing of the T-Scan 10 relative force measurement system. *Adv Dent Technol Tech.* 2022;4:47-58.
21. Maness WL, Podoloff R. Distribution of occlusal contacts in maximum intercuspation. *J Prosthet Dent.* 1989;62:238-242.
22. Mizui M, Nabeshima F, Tosa J, Tanaka M, Kawazoe T. Quantitative analysis of occlusal balance in intercuspation position using the T-Scan system. *Int J Prosthodont.* 1994;7:62-71.
23. Türp JC, Greene CS, Strub JR. Dental occlusion: a critical reflection on past, present and future concepts. *J Oral Rehabil.* 2008;35:446-453.
24. Wiechens B, Brockmeyer P, Wassmann T, Rödiger M, Wiessner A, Bürgers R. Time of day-dependent deviations in dynamic and static occlusion: a prospective clinical study. *J Prosthet Dent.* 7 July 2022. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.05.025> [Epub ahead of print].
25. Berry DC, Singh BP. Daily variations in occlusal contacts. *J Prosthet Dent.* 1983;50:386-391.
26. Raadsheer MC, Van Eijden TMGJ, Van Ginkel FC, Pahl-Andersen B. Contribution of jaw muscle size and craniofacial morphology to human bite force magnitude. *J Dent Res.* 1999;78:31-42.
27. Peck CC. Biomechanics of occlusion - implications for oral rehabilitation. *J Oral Rehabil.* 2016;43:205-214.
28. Shimada A, Baad-Hansen L, Svensson P. Effect of experimental jaw muscle pain on dynamic bite force during mastication. *Arch Oral Biol.* 2015;60:256-266.
29. Goiato MC, Zuim PRJ, Moreno A, et al. Does pain in the masseter and anterior temporal muscles influence maximal bite force? *Arch Oral Biol.* 2017;83:1-6.
30. Prabakar T, Gupta N, Chowdhary N, Sonnahalli NK, Chowdhary R, Reddy VR. Comparative evaluation of occlusal bite force in relation to the muscle activity in the mixed dentition children of age group 9-12 years: a t-scan analysis. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2021;14:529-34.
31. Wiecek A, Loster J, Loster BW. Relationship between occlusal force distribution and the activity of masseter and anterior temporalis muscles in asymptomatic young adults. *Biomed Res Int.* 2013;2013:354017.

### Corresponding author:

Dr Eneko Solaberrieta  
Department of Graphic Design and Engineering Projects  
Faculty of Engineering  
University of the Basque Country (UPV/EHU)  
1 Europa Plaza  
Donostia, Gipuzkoa 20018  
SPAIN  
Email: eneko.solaberrieta@ehu.es

### Acknowledgments

The authors thank the University of the Basque Country (UPV/EHU) for providing the DEHI research laboratory ([www.ehu.es/dehi](http://www.ehu.es/dehi)). The authors also thank Ayesta dental practice and Odontolan dental laboratory for their assistance.

### CRediT authorship contribution statement

**Mikel Jauregi:** Conceptualization, Methodology, Software, Investigation, Writing – original draft. **Xabier Amezua:** Investigation, Writing – original draft, Visualization. **Angel P. Manso:** Formal analysis, Data curation, Visualization. **Eneko Solaberrieta:** Validation, Writing – review & editing, Supervision, Project administration, Funding acquisition.

Copyright © 2023 The Authors. Published by Elsevier Inc. on behalf of the Editorial Council for *The Journal of Prosthetic Dentistry*. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).  
<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.03.007>



**2. ARTIKULUA: Repeatability and reproducibility of 2 digital occlusal analyzers for measuring the right- and left-side balance of occlusal contact forces: An in vitro study.**

ERANSKINAK: ARGITARATUTAKO ARTIKULUAK

---

## RESEARCH AND EDUCATION

## Repeatability and reproducibility of 2 digital occlusal analyzers for measuring the right- and left-side balance of occlusal contact forces: An in vitro study

Mikel Jauregi, BEng, MSc,<sup>a</sup> Xabier Amezua, BEng, MSc, PhD,<sup>b</sup> Mikel Iturrate, BEng, MSc, PhD,<sup>c</sup> and Eneko Solaberrieta, BEng, MSc, PhD<sup>d</sup>

**ABSTRACT**

**Statement of problem.** Although different digital occlusal analyzers have been marketed, comparative studies are lacking.

**Purpose.** The purpose of this in vitro study was to compare the repeatability and reproducibility of 2 different digital occlusal analyzers (T-Scan and OccluSense) for measuring the right- and left-side balance of occlusal contact forces.

**Material and methods.** The repeatability and reproducibility of the 2 digital occlusal analyzers for measuring the balance of occlusal contact forces were determined and compared by using the Gauge Repeatability and Reproducibility tests based on the International Organization for Standardization (ISO), ISO 5725-2 and ISO 5725-3 standards. Ten different dental casts were mounted in the maximum intercuspation position on a semi-adjustable articulator. Then, the balance of occlusal contact forces in each of the 10 articulated dental casts was measured 24 times with each of the 2 digital occlusal analyzers. In addition, as the OccluSense, unlike the T-Scan, does not have a centering support for the piezoelectric film sensor, measurements with it were performed without and with a custom-designed and manufactured centering support. Finally, the repeatability and reproducibility of both digital occlusal analyzers were determined and compared using the Gauge Repeatability and Reproducibility tests.

**Results.** The repeatability and reproducibility tests revealed that only 0.8% of the variance of the measurements obtained with the T-Scan was due to repeatability and reproducibility (0.4% repeatability, 0.4% reproducibility). In contrast, 12% of the variance of the measurements obtained with the OccluSense was due to repeatability and reproducibility (2.2% repeatability, 9.8% reproducibility). However, when using OccluSense with the centering support, the variance decreased to 6.4% (2.8% repeatability, 3.6% reproducibility). According to the Automotive Industry Action Group classification, the repeatability and reproducibility of the T-Scan were good, those of the OccluSense poor, and those of the OccluSense with the centering support medium.

**Conclusions.** The repeatability and reproducibility of the T-Scan were significantly better than those of the OccluSense for measuring the balance of occlusal contact forces. Furthermore, the repeatability and reproducibility of the OccluSense were significantly improved when used with a device to center the piezoelectric film sensor between the incisors. Nevertheless, the repeatability and reproducibility of the T-Scan were better. (J Prosthet Dent xxxx:xxx:xxx-xxx)

Funding: Supported by the University of the Basque Country (UPV/EHU), Spain [grant GIU21/051]; the Gipuzkoa Provincial Council, Spain [grant 2022-CIEN-000019-01]; and by the Ministry of Economy and Competitiveness (MCIN/ AEI /10.13039/501100011033), Spain [grant PID2019-108975RA-I00].

The authors declare that there are no financial or personal interest that could affect their objectivity. There is no conflict of interest to carry out and publish this study.

<sup>a</sup>Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Gipuzkoa, University of the Basque Country (UPV/EHU), San Sebastian, Spain.

<sup>b</sup>Assistant Professor, Department of Graphic Design and Engineering Projects, Faculty of Engineering Bilbao, University of the Basque Country (UPV/EHU), Bilbao, Spain.

<sup>c</sup>Assistant Professor, Department of Graphic Design and Engineering Projects, Faculty of Engineering Gipuzkoa, University of the Basque Country (UPV/EHU), San Sebastian, Spain.

<sup>d</sup>Professor, Department of Graphic Design and Engineering Projects, Faculty of Engineering Gipuzkoa, University of the Basque Country (UPV/EHU), San Sebastian, Spain

### Clinical Implications

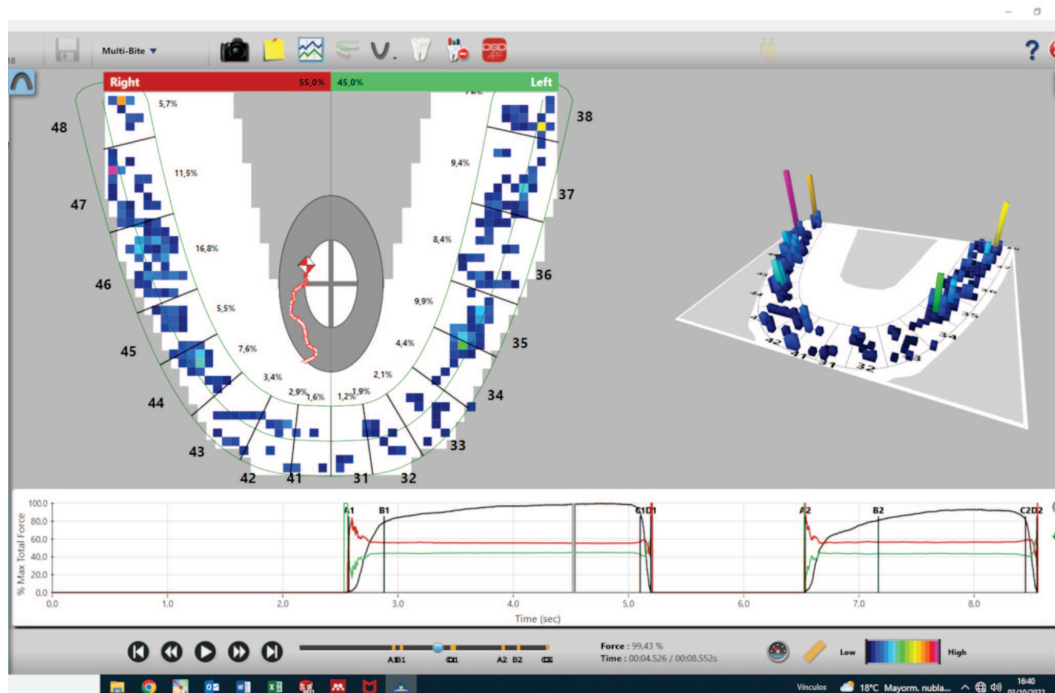
Digital occlusal analyzers can be used to measure the right- and left-side balance of occlusal contact forces. Dentists should be aware of the precision of commercially available devices, to inform their decision on their use in clinical practice.

Traditionally and most commonly, occlusal contacts have been detected using articulating paper or foil.<sup>1</sup> Although these diagnostic methods are able to determine the exact location of occlusal contacts, they are not able to measure their forces reliably.<sup>2</sup>

Digital occlusal analyzers were developed to detect occlusal contacts and also measure the relative intensity of force at each occlusal location.<sup>3</sup> The reliability of the first and most widely used digital occlusal analyzer (T-Scan; Tekscan, Inc) to determine the location of occlusal contacts has been widely studied.<sup>4-9</sup> However, studies of its reliability to measure the forces at these occlusal contacts are sparse.<sup>10-14</sup>

Since the introduction of the T-Scan, additional digital occlusal analyzers with similar functionalities have been developed and marketed at a lower cost, such as the Accura (Dmetec Co) and the OccluSense (Dr Jean Bausch GmbH & Co KG).<sup>11,15</sup> The OccluSense has the additional advantage that the sensor has built-in articulating paper to mark the occlusal contacts on the teeth. However, studies on its use are lacking,<sup>15</sup> and the authors are unaware of any studies on its reliability.

Digital occlusal analyzers provide valuable information for determining the quality of occlusion, which is important for different clinical purposes, including the detection and correction of temporomandibular disorders,<sup>16,17</sup> the evaluation of prostheses,<sup>18,19</sup> the evaluation of orthodontic treatment,<sup>20</sup> and the resolution of dental problems such as bruxism,<sup>21</sup> severe tooth wear,<sup>22</sup> and muscle pain.<sup>23</sup> The valuable information provided includes the balance of occlusal contact forces (BOCFs) with respect to the mid-sagittal plane, also known as right- and left-side balance. The software programs of digital occlusal analyzers such as the T-Scan provide this information directly (Fig. 1), while it can be easily calculated from the sum of the force percentages of the



**Figure 1.** Digital occlusal analyzer (T-Scan) software screen with right- and left-side contact forces percentage results at MIP. MIP, Maximum intercusp position.



**Figure 2.** Digital occlusal analyzer (OccluSense) software screen with contact force percentage results of each dental piece at MIP. MIP, Maximum intercuspal position.

tooth on each side of the mid-sagittal plane offered by the software programs of other digital occlusal analyzers, including the OccluSense (Fig. 2).

Studies on the accuracy of digital occlusal analyzers are sparse,<sup>10-14</sup> with even fewer on their accuracy for measuring the BOCFs (almost all of them focused only on the T-Scan).<sup>12</sup> According to the International Organization for Standardization (ISO) 5725-1 standard, accuracy is a combination of trueness and precision, with trueness referring to the ability of the digital occlusal analyzer to provide measurements of the BOCFs that are as close to their real value as possible and precision referring to the closeness of agreement between independent measurements of the BOCFs provided by the digital occlusal analyzer under stipulated conditions.<sup>24,25</sup> According to the ISO 5725-1 standard, the 2 conditions of precision are repeatability and reproducibility, are useful for describing the variability of the measurements of the BOCFs provided by a digital occlusal analyzer. Under repeatability conditions, factors such as the operator, the device used, the environment, and the time elapsed between measurements are considered constants and do not contribute to the variability of the

measurements, while under reproducibility conditions they vary and do contribute to the variability of the measurements. Therefore, to determine the precision of a digital occlusal analyzer for measuring the BOCFs, a standard repeatability and reproducibility test should be used, as described in the ISO 5725-2 and ISO 5725-3 standards.<sup>24,26,27</sup> In this study, the Gage Repeatability and Reproducibility (GRR) test was used, which classifies the precision of a device as good, medium, or poor according to the criteria accepted by the Automotive Industry Action Group (AIAG).<sup>28</sup>

The positioning of the digital occlusal analyzer's piezoelectric film sensor in the patient's mouth could influence the measurements of the BOCFs and thus also its repeatability and reproducibility. A recent study<sup>29</sup> concluded that the occlusal force measured at maximum intercuspal position (MIP) with a digital occlusal analyzer varied throughout the day, so it would be convenient to know whether this is because of the lack of precision of the digital occlusal analyzer or because of other circumstances.<sup>30</sup> Some digital occlusal analyzers, including the T-Scan, have a centering support with a central incisor pointer to help position the piezoelectric



**Figure 3.** Three digital occlusal analyzer options tested (T-Scan; OccluSense; OccluSense with centering support) with piezoelectric film sensor attached.

film sensor in a reproducible way, whereas other digital occlusal analyzers, including the OccluSense, do not have a centering support.<sup>15</sup>

The purpose of this *in vitro* study was to determine and compare the repeatability and reproducibility for measuring the BOCFs obtained with 2 different digital occlusal analyzers. One of the digital occlusal analyzers had no centering support, so a custom centering support was designed and manufactured for it, and its precision with and without centering support was also determined and compared. The following reproducibility conditions were established for this *in vitro* study: same devices and operator but different articulated dental casts (equivalent to different patients) and sensor positioning (equivalent to different measurements over time). The null hypotheses tested were that no significant differences would be found in the repeatability and reproducibility of the 2 digital occlusal analyzers and that a centering support would not improve the repeatability and reproducibility of the digital occlusal analyzer.

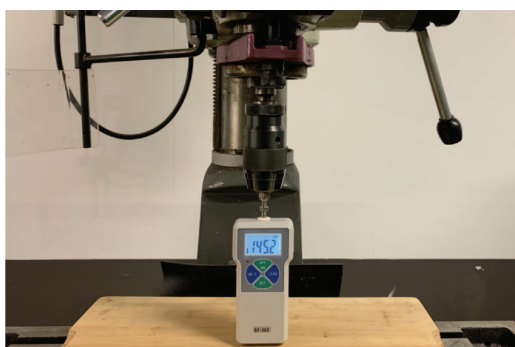
## MATERIAL AND METHODS

The repeatability and reproducibility for measuring BOCFs were determined and compared for 2 different digital occlusal analyzers: T-Scan (T-Scan Novus; Tekscan Inc) and OccluSense (OccluSense; Dr. Jean Bausch GmbH & Co KG). Since the OccluSense does not have a centering support for the piezoelectric film sensor, 1 was custom designed and manufactured.

The study was approved by the university ethical committee (M10\_2019\_254). Ten pairs of dental casts were mounted in MIP on a semi-adjustable articulator (Artex CN; Amann Girrbach AG). Before mounting the casts, the articulator was calibrated with a magnetic plate system to a precision of less than 10  $\mu$ m. An experienced clinician made the impressions with a high- and low-viscosity polyvinyl siloxane impression material (3M ESPE Express 2 Putty Soft and Light Body Standard; 3M). The same clinician obtained the inter-occlusal records at MIP with polyvinyl siloxane material (3M Imprint 4 Bite; 3M) and facebow records (Artex



**Figure 4.** Assembly of elements used for tests.



**Figure 5.** Vertical drill and input force of constant magnitude of 145 N.

facebow; Amann Girschbach AG). The dental casts were produced and mounted on the semi-adjustable articulator by a dental laboratory technician.

For each articulated dental cast, the BOCFs were measured using the T-Scan, the OccluSense, and the OccluSense with the centering support (Fig. 3). For each digital occlusal analyzer, the piezoelectric film sensor was placed centrally between each of the articulated maxillary and mandibular casts. A custom fixed support was used to fix the position of each of the digital occlusal analyzers (Fig. 4).

To measure the BOCFs, the corresponding fixed structure was placed on a vertical drill press table (OPTI

F30; Optimum) (Fig. 4), designed to reproduce the trajectory and position the tool with respect to its table. An input force of 145 N, equivalent to masticatory force,<sup>10–12</sup> previously measured with a digital dynamometer (Beslands Push-pull Force Gauge SF-500; Beslandstool) (Fig. 5), was applied perpendicular to the Frankfurt plane from a Ø12.5 mm spherical tip. The force was applied at the same point on the upper arm of the semi-adjustable articulator, which was set by using a printed grid attached to the articulator (Fig. 4). Each time an input force was applied, the BOCFs were measured as per the manufacturer's protocol.<sup>12</sup> For each of the 10 articulated dental casts, 24 measurements were made in each of the 3 ways, repositioning the piezoelectric film sensor every 6 measurements (720 in total) (Table 1).

All measurements were recorded in a spreadsheet software program (Microsoft Excel 2016 with Real Statistics Resource Pack; Microsoft Corp.). The GRR test was used to determine and compare the repeatability and reproducibility of the 3 ways of measuring BOCFs. The GRR tests quantified the variability of the 240 BOCF measurements obtained with each of the measuring methods. This test separated the variability into 3 components: the repeatability of the measuring method, the reproducibility of the measuring method, and the variation of articulated dental casts (equivalent to patient variation). The precision of the measuring method was represented in terms of variations in its repeatability and reproducibility. Within the GRR test, an ANOVA test was performed to measure the interaction between the positioning of the piezoelectric film sensor and articulated dental casts to determine whether this variation was due to the repeatability or the reproducibility of the measuring method ( $\alpha=.05$ ).<sup>28</sup>

## RESULTS

The ANOVA within the GRR test revealed that the articulated dental casts (part in GRR tests), the positioning of the piezoelectric film sensor (operator in GRR tests), and the iteration of both of them (operator×part in GRR tests) had a statistically significant influence on the variability of the measurements of the BOCFs obtained through the 3 measurement ways used ( $P<.05$ ) (Tables 2–4). According

**Table 1.** Experimental protocol for BOCFs measurement

	T-Scan Device				OccluSense Device				OccluSense Device With Centering Support			
	SP 1	SP 2	SP 3	SP 4	SP 1	SP 2	SP 3	SP 4	SP 1	SP 2	SP 3	SP 4
ADC 1	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R
ADC 2	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R
...	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R
ADC 10	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R	6 R

ADC, articulated dental cast (part of gage repeatability and reproducibility test); BOCFs, balance of occlusal contact forces; R, repetition of measures; SP, sensor positioning (operator of gage repeatability and reproducibility test).

**Table 2.** GRR test results for T-Scan device

GRR (With Interaction) for T-Scan						
ANOVA				Alpha	.05	
	SS	DF	MS	F	P	Sig.
Part	6.728	9	0.748	1059.615	<.001	
Operator	0.007	3	0.003	3.450	.030	
Operator*part	0.019	27	<0.001	6.194	<.001	Yes
Repeatability	0.023	200	<0.001			
Total	6.777	239	0.028			

Variation				AIAG Classification		
	Variance	SD		Range	Evaluation	
Total GRR	0.024%	0.8%	1.6%	8.8%	<10%	Good
- Repeatability	0.011%	0.4%	1.1%	6.0%	<10%	Good
- Reproducibility	0.013%	0.4%	1.1%	6.4%	<10%	Good
- Operator	0.003%	0.1%	0.5%	3.0%		
- Op*part	0.010%	0.3%	1.0%	5.6%		
Part-to-part	3.112%	99.2%	17.6%	99.6%		
Tot variation	3.136%	100.0%	17.7%	100.0%		
No. of categories:		16				

AIAG, Automotive Industry Action Group; DF, degree of freedom; F, Fisher statistical; GRR, Gage repeatability and reproducibility; MS, mean square; SD, standard deviation; SS, sum of squares.

to the GRR test, the variability between the positioning of the piezoelectric film sensor and the articulated dental casts used was a component of the reproducibility of the measurement method used.

According to the GRR test, the variance of 0.8% of the measurements obtained with the T-Scan was caused by its repeatability and reproducibility (0.4% repeatability, 0.4% reproducibility) (Table 2). The repeatability and reproducibility of the OccluSense caused 12% of the variance of the measurements obtained with it (2.2% repeatability, 9.8% reproducibility) (Table 3). However, when using the OccluSense with the centering support, the variance caused by its repeatability and reproducibility decreased to 6.4% (2.8% repeatability, 3.6% reproducibility) (Table 4). According to the AIAG classification,<sup>28</sup> the repeatability and reproducibility of the T-Scan were good (standard deviation below 10%) (Table 2), those of

the OccluSense poor (standard deviation above 30%) (Table 3), and those of the OccluSense with the centering support medium (standard deviation above 10% but below 30%) (Table 4). The coefficient of variation of the repeatability and reproducibility (calculated as the standard deviation due to the repeatability and reproducibility divided by the mean value of the corresponding measurements) was 2.97% for the T-Scan, 9.72% for the OccluSense, and 8.57% for the OccluSense with the centering support (Table 5).

## DISCUSSION

This in vitro study determined and compared the repeatability and reproducibility for measuring the BOCFs of 2 different digital occlusal analyzers: the T-Scan and

**Table 3.** GRR test results for OccluSense device

GRR (With Interaction) for OccluSense						
ANOVA				Alpha	.05	
	SS	DF	MS	F	P	Sig.
Part	4.562	9	0.507	35.626	<.001	
Operator	0.028	3	0.009	0.660	.584	
Operator*part	0.384	27	0.014	27.701	<.001	Yes
Repeatability	0.108	200	<0.001			
Total	5.077	239	0.021			

Variation				AIAG Classification		
	Variance	SD		Range	Evaluation	
Total GRR	0.280%	12.0%	5.3%	34.6%	>30%	Poor
- Repeatability	0.051%	2.2%	2.3%	14.8%	10%-30%	Medium
- Reproducibility	0.229%	9.8%	4.8%	31.3%	>30%	Poor
- Operator	0.000%	0.0%	0.0%	0.0%		
- Op*part	0.229%	9.8%	4.8%	31.3%		
Part-to-part	2.053%	88.0%	14.3%	93.8%		
Tot variation	2.332%	100.0%	15.3%	100.0%		
No. of categories:		3				

AIAG, Automotive Industry Action Group; DF, degree of freedom; F, Fisher statistical; GRR, Gage repeatability and reproducibility; MS, mean square; SD, standard deviation; SS, sum of squares.



**Table 4.** GRR test results for OccluSense with centering support

GRR (With Interaction) for OccluSense With Centering Support						
ANOVA						
	SS	DF	MS	Alpha	.05	
				F	P	Sig.
Part	6.114	9	0.679	93.618	<.001	
Operator	0.015	3	0.005	0.667	.580	
Operator*Part	0.196	27	0.007	8.705	<.001	Yes
Repeatability	0.167	200	<0.001			
Total	6.492	239	0.027			

Variation						
	Variance	SD		Alpha	AIAG Classification	
					Range	Evaluation
Total GRR	0.190%	6.4%	4.4%	25.2%	10%-30%	Medium
- Repeatability	0.083%	2.8%	2.9%	16.7%	10%-30%	Medium
- Reproducibility	0.107%	3.6%	3.3%	18.9%	10%-30%	Medium
- Operator	0.000%	0.0%	0.0%	0.0%		
- Op*part	0.107%	3.6%	3.3%	18.9%		
Part-to-part	2.800%	93.6%	16.7%	96.8%		
Tot variation	2.991%	100.0%	17.3%	100.0%		
No. of categories:		5				

AIAG, Automotive Industry Action Group; DF, degree of freedom; F, Fisher statistical; GRR, Gage repeatability and reproducibility; MS, mean square; SD, standard deviation; SS, sum of squares.

**Table 5.** Comparative of precision results of 3 digital occlusal analyzer options

Comparative Values of GRR Tests	T-Scan	OccluSense	OccluSense With Centering Support
Mean value of 240 measurements	52.29%	54.40%	50.90%
Total variance of 240 measurements	3.136%	2.332%	2.991%
Variance due to repeatability and reproducibility	0.024%	0.280%	0.190%
(% respect total variance)	(0.8%)	(12.0%)	(6.4%)
Variance due to repeatability	0.011%	0.051%	0.083%
(% respect total variance)	(0.4%)	(2.2%)	(2.8%)
Variance due to reproducibility	0.013%	0.229%	0.107%
(% respect total variance)	(0.4%)	(9.8%)	(3.6%)
Standard deviation due to repeatability and reproducibility divided by standard deviation of 240 measurements	8.8%	34.6%	25.2%
Classification of the precision according to the AIAG	Good	Poor	Medium
Coefficient of variation of repeatability and reproducibility (standard deviation due to repeatability and reproducibility divided by the mean value)	2.97%	9.72%	8.57%

AIAG, automotive industry action group; GRR, Gage repeatability and reproducibility.

the OccluSense. Given that in clinical practice it is common for the same clinician to perform different occlusion measurements on the same patient with the same device at different appointments, the reproducibility conditions tested were the same devices and operator but different articulated dental casts (equivalent to different patients) and sensor positioning (equivalent to different measurements over time). In addition, since the OccluSense does not have a centering support to assist in the positioning of the piezoelectric film sensors, measurements with that device were performed without a centering support and with a custom-designed centering support to analyze whether such a support would improve the reproducibility of the device. The results revealed that the repeatability and reproducibility of the T-Scan were better than those of the OccluSense and that the reproducibility of the OccluSense improved with a centering support. Therefore, both null hypotheses were rejected.

The results revealed that only 0.8% of the variance of the measurements obtained with the T-Scan was from

its repeatability and reproducibility, 0.4% from repeatability, and 0.4% from reproducibility (that is, by differences in the positioning of the piezoelectric sensor film) (Table 2). Thus, according to the results, 99.2% of the variance of the measurements obtained with the T-Scan was caused by differences between the articulated dental casts used (equivalent to differences between patients). With these results, according to the AIAG classification, the repeatability and reproducibility of the T-Scan were considered to be good. These results were consistent with those of previous studies, including Kerstein et al,<sup>12</sup> which also concluded that the T-Scan was repeatable for measuring the BOCFs. In addition, Lee et al<sup>11</sup> concluded that the T-Scan was repeatable for measuring the total force value. Cerna et al<sup>10</sup> concluded that the T-Scan was reliable and repeatable for measuring the total force when using sensors of the same manufacturing series. In addition, the coefficient of variation of the BOCFs measured with the T-Scan in this study (2.97%) was similar to the magnitudes of total contact forces and the center of contact force positions

measured with the T-Scan by Jauregi et al<sup>14</sup> (3.70% and 0.37%, respectively).

In contrast, the results revealed that 12.0% of the total variance of the measurements obtained with the OccluSense was from repeatability and reproducibility with 2.2% repeatability and 9.8% reproducibility (Table 3). According to the AIAG classification, the repeatability and reproducibility of OccluSense were considered poor. The fact that the variance from reproducibility was much larger than from repeatability suggested that positioning the piezoelectric film sensor of the OccluSense in a reproducible manner in the patient's mouth is problematic. When the OccluSense was tested with the centering support to help position the piezoelectric film sensor, the variance of the measurements from repeatability and reproducibility decreased to 6.4% (2.8% repeatability, 3.6% reproducibility) (Table 4). The decrease in the variance of the measurements from the repeatability and reproducibility of the OccluSense was due to the decrease in the variance from reproducibility, indicating that a centering support for the piezoelectric film sensor could improve the repeatability and reproducibility of the OccluSense. With this support, the repeatability and reproducibility of the OccluSense were acceptable, according to the AIAG classification. This improvement in the repeatability and reproducibility of the OccluSense is clinically significant, especially considering that the OccluSense device is considerably less costly than the T-Scan.<sup>28</sup>

The coefficient of variation of the measurements obtained with the T-Scan was 2.97%, and those of the measurements obtained with the OccluSense with and without centering support were 8.57% and 9.72%, respectively (Table 5). These comparable values, according to the results of the GRR tests, indicated that the first version of the OccluSense with or without the centering support had significantly less precise results than the current version of the T-Scan and that the OccluSense was more precise with the centering support.

Limitations of the present study included the in vitro design and that only the precision of the digital occlusal analyzers for measuring the BOCFs at MIP was determined and compared. The authors were unaware of the existence of methods for analyzing the trueness of digital occlusal analyzers for measuring the BOCFs at MIP, so trueness was not analyzed. Therefore, further studies are needed to develop a procedure to determine its trueness. Procedures to determine and compare the accuracy of digital occlusal analyzers for measuring other data such as the contact force percentage over time or the position of the center of forces should also be developed. Future research should be carried out in vivo, since under those conditions, the placement of the piezoelectric film sensor could be more complicated and the results of the GRR tests could be worse. Such studies

should consider that the magnitude and balance of human masticatory forces are not as repeatable as in an in vitro study<sup>14,30</sup> and that this could also affect the GRR test results.

## CONCLUSIONS

Based on the results of this in vitro study, the following conclusions were drawn:

1. The T-Scan digital occlusal analyzer was significantly more precise than the OccluSense digital occlusal analyzer for measuring the right- and left-side balance of occlusal contact forces.
2. The precision of the OccluSense digital occlusal analyzer for measuring the right- and left-side balance of occlusal contact forces was significantly improved by using a centering support for the piezoelectric film sensor. Although its precision was still lower than that of the T-Scan, it could be acceptable, especially considering that it is much more affordable than the T-Scan.

## REFERENCES

1. Bozhkova T, Musurlieva N, Slavchev D, Dimitrova M. Occlusal indicators used in dental practice: A survey study. *Biomed Res Int*. 2021;2021:2177385.
2. Qadeer S, Kerstein R, Kim RY, Huh JB, Shin SW. Relationship between articulation paper mark size and percentage of force measured with computerized occlusal analysis. *J Adv Prosthodont*. 2012;4:7–12.
3. Olivier F, Kang KH, Hirayama H, Maness WL. New method for analyzing complete denture occlusion using the center of force concept: A clinical report. *J Prosthet Dent*. 1998;80:519–523.
4. Bozhkova TP. The T-SCAN system in evaluating occlusal contacts. *Folia Med*. 2016;58:122–130.
5. Saraçoğlu A, Özpınar B. In vivo and in vitro evaluation of occlusal indicator sensitivity. *J Prosthet Dent*. 2002;88:522–526.
6. Bozhkova T, Musurlieva N, Slavchev D. Comparative study qualitative and quantitative techniques in the study of occlusion. *Biomed Res Int*. 2021;1163874.
7. Jeong MY, Lim YJ, Kim MJ, Kwon HB. Comparison of two computerized occlusal analysis systems for indicating occlusal contacts. *J Adv Prosthodont*. 2020;12:49–54.
8. Fraile C, Ferreira A, Solaberrieta GP E. Intraoral versus extraoral digital occlusal records: A pilot study. *Int J Comput Dent*. 2018;21:329–333.
9. Solaberrieta E, Ebaniz O, Otegi JR, Brizuela A, Pradies G. Customized procedure to display T-Scan occlusal contacts. *J Prosthet Dent*. 2017;117:18–21.
10. Cerna M, Ferreira R, Zaror C, Navarro P, Sandoval P. Validity and reliability of the T-Scan\*III for measuring force under laboratory conditions. *J Oral Rehabil*. 2015;42:544–551.
11. Lee W, Kwon HB, Kim MJ, Lim YJ. Determination of the reliability and repeatability of a quantitative occlusal analyzer by using a piezoelectric film sensor: An in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2022;127:331–337.
12. Kerstein RB, Radke J. In-vitro consistency testing of the T-Scan 10 relative force measurement system in-vitro consistency testing of the T-Scan 10 relative force measurement system. *Adv Dent Tech*. 2022;4:47–58.
13. Da Silva Martins MJ, Caramelo FJ, Ramalho da Fonseca JA, Gomes Nicolau PM. In vitro study on the sensibility and reproducibility of the new T-Scan III HD system. *Rev Port Estomatol Med Dent e Cir Maxilofac*. 2014;55:14–22.
14. Jauregi M, Amezuza X, Manso AP, Solaberrieta E. Positional influence of center of masticatory forces on occlusal contact forces using a digital occlusal analyzer. *J Prosthet Dent*. 2023;129. 930.e1–e8.
15. Sutter B. Digital occlusion analyzers: A product review of T-Scan 10 and Occlusense. *Adv Dent Tech*. 2019;2:1–31.
16. Ferrato G. Digital evaluation of occlusal forces: Comparison between healthy subjects and TMD patients. *Ann Stomatol*. 2017;8:79–88.

17. Li BY, Zhou LJ, Guo SX, Zhang Y, Lu L, Wang MQ. An investigation on the simultaneously recorded occlusion contact and surface electromyographic activity for patients with unilateral temporomandibular disorders pain. *J Electromyogr Kinesiol.* 2016;28:199–207.
18. Shinogaya T, Tanaka Y, Toda S, Hayakawa I. A new approach to evaluating occlusal support by analyzing the center of the bite force. *Clin Oral Investig.* 2002;6:249–256.
19. Liu CW, Chang YM, Shen YF, Hong HH. Using the T-scan III system to analyze occlusal function in mandibular reconstruction patients: A pilot study. *Biomed J.* 2015;38:52–57.
20. Wiczorek A, Loster JE. Activity of the masticatory muscles and occlusal contacts in young adults with and without orthodontic treatment. *BMC Oral Health.* 2015;15:116.
21. Bandodkar S, Tripathi S, Chand P, et al. A study to evaluate psychological and occlusal parameters in bruxism. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2022;12:38–41.
22. Sierpiska T, Kuc J, Golebiewska M. Assessment of masticatory muscle activity and occlusion time in patients with advanced tooth wear. *Arch Oral Biol.* 2015;60:1346–1355.
23. Di Berardino F, Filippini E, Schiappadori M, Forti S, Zanetti D, Cesarani A. The occlusal imaging and analysis system by T-scan III in tinnitus patients. *Biomed J.* 2016;39:139–144.
24. International Organization for Standardization. ISO-5725-1:1994 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 1: general principles and definitions.
25. Mehl A, Reich S, Beuer F, Güth J-F. Accuracy, trueness, and precision - A guideline for the evaluation of these basic values in digital dentistry. *Int J Comput Dent.* 2021;24:341–352.
26. International Organization for Standardization. ISO-5725-2:1994 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method.
27. International Organization for Standardization. ISO-5725-3:1994 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 3: Intermediate measures of the precision of a standard measurement method.
28. Automotive Industry Action Group (AIAG). Measurement system analysis (MSA) reference manual. 4th ed. June 2010. p. 78. ISBN-13: 978-1605342115.
29. Wiechens B, Brockmeyer P, Wassmann T, Rödiger M, Wiessner A, Bürgers R. Time of day-dependent deviations in dynamic and static occlusion: A prospective clinical study. *J Prosthet Dent.* 2022.
30. Berry DC, Singh BP. Daily variations in occlusal contacts. *J Prosthet Dent.* 1983;50:386–391.

**Corresponding author:**

Dr Eneko Solaberrieta  
 Department of Graphic Design and Engineering Projects  
 Faculty of Engineering Gipuzkoa  
 University of the Basque Country (UPV/EHU)  
 Plaza Europa 1  
 20.018, San Sebastian  
 SPAIN  
 Email: [eneko.solaberrieta@ehu.eus](mailto:eneko.solaberrieta@ehu.eus).

**Acknowledgments**

The authors thank the University of the Basque Country (UPV/EHU) for providing the DEHI research laboratory ([www.ehu.eus/dehi](http://www.ehu.eus/dehi)), and the Ayesta dental practice for providing digital dental equipment and professional assistance ([www.ayesta.com](http://www.ayesta.com)).

**CRediT authorship contribution statement**

**Mikel Jauregi:** Conceptualization, Methodology, Software, Investigation, Writing - original draft. **Xabier Amezuza:** Investigation, Writing - original draft, Visualization. **Mikel Iturrate:** Formal analysis, Data curation, Visualization. **Eneko Solaberrieta:** Validation, Writing - review and editing, Supervision, Project administration, Funding acquisition.

Copyright © 2023 Published by Elsevier Inc. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).  
<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.07.026>



**3. ARTIKULUA: Improving the precision of recordings acquired with digital occlusal analyzers: A dental technique.**

ERANSKINAK: ARGITARATUTAKO ARTIKULUAK

---

## DENTAL TECHNIQUE

## Improving the precision of recordings acquired with digital occlusal analyzers: A dental technique

Mikel Jauregi, BEng, MSc,<sup>a</sup> Xabier Amezua, BEng, MSc, PhD,<sup>b</sup> Mikel Iturrate, BEng, MSc, PhD,<sup>c</sup> and Eneko Solaberrieta, BEng, MSc, PhD<sup>d</sup>

Digital occlusal analyzers are used to record the location of occlusal contacts and the percentage of force on them at different times,<sup>1-4</sup> information that is valuable for occlusal analysis<sup>5</sup> in prosthodontics<sup>6</sup> or maxillofacial prosthetics.<sup>7</sup> Based on the records, the software program of the digital occlusal

analyzers performs a series of calculations, including the forces on each tooth, the center of contact forces, and the right- and left-side balance of these forces.<sup>8-10</sup>

The most widely used and studied<sup>11</sup> device was the first to be marketed (T-Scan; Tekscan Inc), with its accuracy being evaluated for detecting the occlusal contact location<sup>12-15</sup> and magnitude of contact forces.<sup>16-20</sup> These studies confirmed that the most accurate way to analyze the time sequence of occlusal contacts and forces is with digital occlusal analyzers. More recently, a lower-cost digital occlusal analyzer (OccluSense; Dr. Jean Bausch GmbH & Co. KG) has been marketed with the additional advantage of a sensor with built-in articulating paper that marks the occlusal contacts directly on the teeth. However, studies on its use are sparse,<sup>3</sup> and the authors are unaware of any studies on its accuracy.

In some prospective clinical studies of rehabilitation treatments, occlusion has been analyzed at different stages

### ABSTRACT

A technique to improve the precision of recordings acquired with the 2 main digital occlusal analyzers on the market (T-Scan and OccluSense) is presented. This technique consists of using digital occlusal analyzers with a customizable centering tray. The virtual design of the centering tray is available online, together with that of the adapters required for both digital occlusal analyzers. The designs can be downloaded and additively manufactured for clinical use. These parts improve the positioning of the piezoelectric film sensors of the digital occlusal analyzers in the patient's mouth and thus the precision of their records. Improving the precision of the records of the digital occlusal analyzers is especially important for the comparison of records obtained at different stages of rehabilitation treatment. (*J Prosthet Dent* xxxx;xxx:xxx-xxx)

of the treatment by using a digital occlusal analyzer.<sup>21-25</sup> To compare records obtained with digital occlusal analyzers at the different stages of rehabilitation treatment, it is important to minimize the factors that may contribute to the variability of the records, and therefore, improve the precision of the records.<sup>26</sup> A recent study reported that the occlusal forces at the maximum intercuspal position recorded with a digital occlusal analyzer varied throughout the day for the same patient.<sup>27</sup> Such variance could be caused by changes in masticatory forces<sup>28,29</sup> but could also be caused by variations in the positioning of the piezoelectric film sensor of the digital occlusal analyzer in the patient's mouth.

The piezoelectric film sensor of digital occlusal analyzers has the shape of a dental arch. Therefore, different positioning of the piezoelectric film sensor in the mouth of the same patient would lead to different records of the location of the occlusal contact points and consequently to significantly different values of the position of the

Funding: Supported by the University of the Basque Country (UPV/EHU), Spain (grant GIU21/051); the Gipuzkoa Provincial Council, Spain (grant 2022-CIEN-000019-01); and by the Ministry of Economy and Competitiveness (MCIN/AEI/10.13039/501100011033) (grant PID2019-108975RA-I00), Spain.

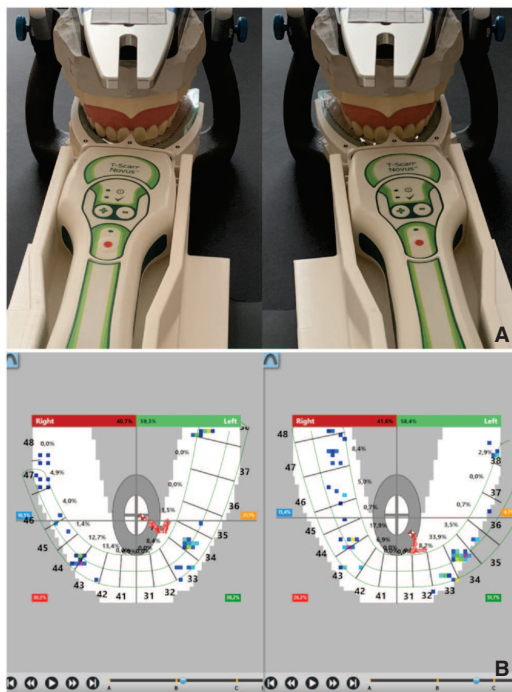
The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this article.

<sup>a</sup>Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Gipuzkoa, University of the Basque Country (UPV/EHU), San Sebastian, Spain.

<sup>b</sup>Assistant Professor, Department of Graphic Design and Engineering Projects, Faculty of Engineering Bilbao, University of the Basque Country (UPV/EHU), Bilbao, Spain.

<sup>c</sup>Assistant Professor, Department of Graphic Design and Engineering Projects, Faculty of Engineering Gipuzkoa, University of the Basque Country (UPV/EHU), San Sebastian, Spain.

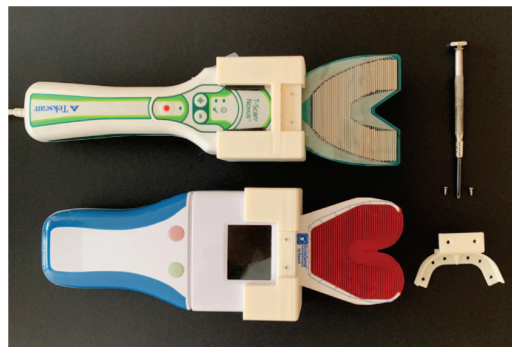
<sup>d</sup>Professor, Department of Graphic Design and Engineering Projects, Faculty of Engineering Gipuzkoa, University of the Basque Country (UPV/EHU), San Sebastian, Spain



**Figure 1.** Recordings acquired with a digital occlusal analyzer at different positioning of its piezoelectric film sensor. A, Digital occlusal analyzer at 2 different positions of its piezoelectric film sensor (rotated around midline). B, Recordings acquired with a digital occlusal analyzer in each position of its piezoelectric film sensor (observe variations in the location of occlusal contact points, location of the center of contact forces, and percentage of contact forces in each quadrant).

center of contact forces or of the sum of percentage of forces in each quadrant (Fig. 1). The T-Scan, unlike the OccluSense, has a centering pin that is inserted between the maxillary incisors to facilitate the reproducible positioning of the piezoelectric film sensor in the patient's mouth, thus minimizing the variability of its records and improving precision. However, this centering pin does not ensure a perfectly reproducible position of the piezoelectric film sensor, because even when the centering pin is properly fixed to the maxillary dental arch, the sensor may rotate around the midline, contributing to variability in the records (Fig. 1A).

The present technique established a procedure to ensure reproducible positioning of the piezoelectric film sensor of digital occlusal analyzers in the patient's mouth and thus improve the precision of their records. This technique requires by using digital occlusal analyzers with a centering tray. Its virtual design is available online (Supplementary File 1, available online), together with that of the adapters required for both the T-Scan

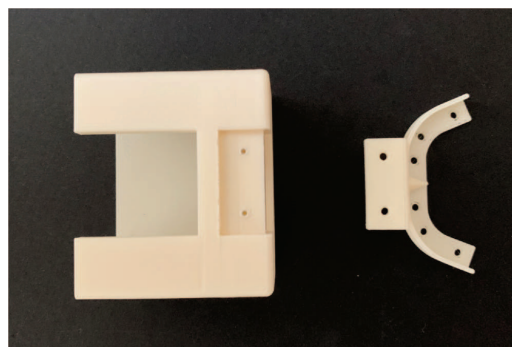


**Figure 2.** Components used for both digital occlusal analyzers.

(Supplementary File 2, available online), and OccluSense (Supplementary File 3, available online), and can be downloaded and used by the dental community. As the same technique is used for both digital occlusal analyzers (Fig. 2), only that for the T-Scan is described.

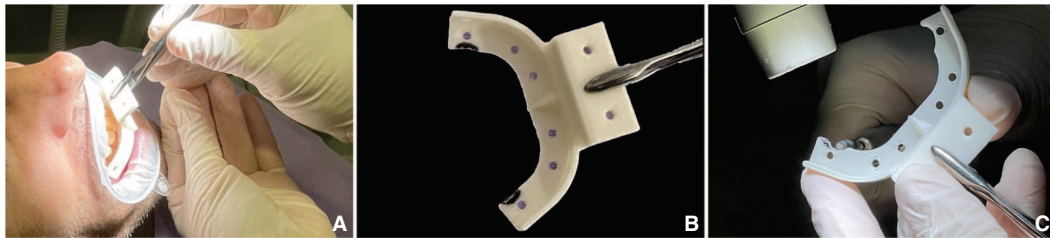
#### TECHNIQUE

1. Manufacture the centering tray (Supplementary File 1, available online) and required adapter for the digital occlusal analyzer (Supplementary File 2, available online) in a material that meets biocompatibility requirements<sup>30,31</sup> (VisiJet M2R-WT; 3D Systems, Inc) with an additive manufacturing machine (ProJet MJP 2500 Plus; 3D Systems, Inc) (Fig. 3).
2. Test the centering tray and customize it if necessary (Fig. 4). To do that, insert the pin of the centering tray between the maxillary incisors of the patient and ensure that there is no contact between the tray and the teeth before the pin is completely inserted. Also, ensure that the centering tray does not obstruct the



**Figure 3.** Additively manufactured centering tray (right) and its adapter for digital occlusal analyzer (left).

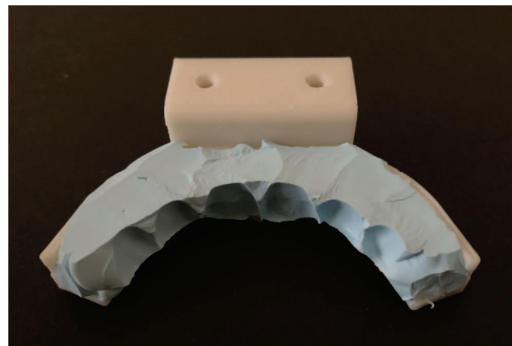




**Figure 4.** Testing and customization of centering tray. A, Testing of centering tray. B, Marking of centering tray collision areas with indelible marker. C, Removing of centering tray collision areas with an acrylic resin bur.

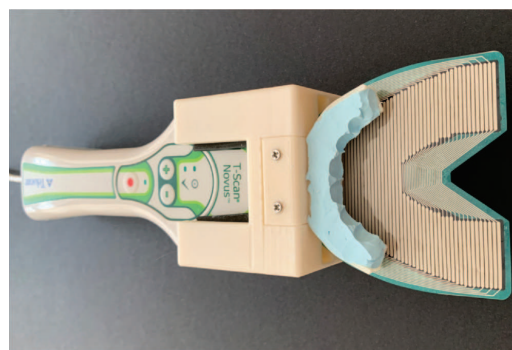


**Figure 5.** Impression making.



**Figure 6.** Impression of labial surfaces of anterior teeth after trimming excess impression material.

- occlusion once the pin is completely inserted between the maxillary incisors (Fig. 4A). If necessary, the centering tray can be customized to eliminate contact between the tray and teeth by marking the areas of the centering tray that collide with the teeth with an indelible marker (Fig. 4B) and grinding with an acrylic resin bur (Tungsten Carbide Cutter with ISO reference 500104194145045; Edenta AG) (Fig. 4C).
3. Make an impression of the labial surfaces of the maxillary anterior teeth with a medium-viscosity polyvinyl siloxane (PVS) impression material (3M Imprint Bite; 3M) loaded onto the centering tray (Fig. 5). Keep the tray centered until the PVS polymerizes. Use the tip of the patient's nose as a visual reference and keep it centered between the 2 existing screw-holes in the tray.
  4. Trim the impression material extending beyond the rim of the centering tray with a scalpel blade, including excess posterior impression material (Fig. 6). After trimming, the centering tray can be positioned against the labial surfaces of the teeth in a reproducible way, and will allow visualization to ensure it is positioned correctly.
  5. Attach the customized centering tray to its adapter for the digital occlusal analyzer with 2 screws (Tapping screw ISO 7050—ST 2.2×6.5) (Fig. 7).<sup>32</sup>



**Figure 7.** Customized tray attached to T-Scan.

6. Make a record with the digital occlusal analyzer as per the manufacturer's protocol (Fig. 8).

## DISCUSSION

The aim of this technique was to increase the precision of the records acquired with digital occlusal analyzers and thus improve their performance for comparing



**Figure 8.** Record-making with T-Scan.

information recorded at different treatment stages. The technique requires by using the digital occlusal analyzers with a centering tray, the virtual design of which is available online ([Supplementary File 1, available online](#)), together with that of the adapters required for both the T-Scan ([Supplementary File 2, available online](#)), and OccluSense ([Supplementary File 3, available online](#)). The technique is identical for both T-Scan and OccluSense, and the same centering tray could be used with both digital occlusal analyzers.

This technique ensures reproducible positioning of the piezoelectric film sensor of digital occlusal analyzers. The technique maintains the insertion of a pin between the maxillary incisors but prevents rotation around the midline thanks to the centering tray and the impression of the labial surfaces of the maxillary anterior teeth. The need for an impression of the labial surfaces of the maxillary anterior teeth could be avoided by manufacturing the centering tray with the geometry of the labial surfaces of the maxillary anterior teeth obtained from a digital scan of the maxillary arch. This alternative is feasible but would need to be manufactured in an elastic material to avoid problems of insertion into interproximal undercuts.

The centering tray and its adapters for the digital occlusal analyzers must be additively manufactured from a material that meets or exceeds the biocompatibility requirements established for medical devices in contact with intact mucosal membrane surfaces.<sup>30,31</sup> Studies are needed to analyze the influence of the positioning of the piezoelectric film sensor on the precision of the records acquired with the digital occlusal analyzers. Studies are also needed to analyze the precision of records acquired with digital occlusal analyzers by using this technique. The protocol of previous in vitro studies could be adapted by using this technique to determine whether the precision of the recordings acquired with digital occlusal analyzers improves.<sup>12-15,19</sup>

## SUMMARY

A technique to improve the precision of recordings acquired with T-Scan and OccluSense digital occlusal analyzers is presented. The technique uses digital occlusal analyzers with a customizable centering tray to ensure the reproducible positioning of the piezoelectric film sensor in the patient's mouth and thus to improve the precision of their records. Improving the precision of the records of the digital occlusal analyzers is essential for the comparison of records obtained at different stages of rehabilitation treatment. The virtual design of the centering tray is available online, together with that of the adapters required for both the T-Scan and OccluSense digital occlusal analyzers. These virtual designs can be downloaded and additively manufactured for clinical use.

## PATIENT CONSENT

The patient illustrated signed an informed consent form. The procedure was approved by the university ethics committee (M10\_2019\_254) according to local and international ethical rules.

## APPENDIX A. SUPPORTING INFORMATION

Supplementary data associated with this article can be found in the online version at [doi:10.1016/j.prosdent.2023.08.001](https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.08.001).

## REFERENCES

- Maness WL, Chapman RJDL. Laboratory evaluation of a direct reading digital occlusal sensor. *J Prosthet Dent*. 1985;54:744.
- Kerstein RB, Lowe M, Harty M, Radke J. A force reproduction analysis of two recording sensors of a computerized occlusal analysis system. *Cranio*. 2006;24:15-24.
- Sutter B. Digital occlusion analyzers: A product review of T-Scan 10 and Occlusense. *Adv Dent Technol Techn*. 2019;2:1-31.
- Bozhkova TP. The T-SCAN system in evaluating occlusal contacts. *Folia Med*. 2016;58:122-130.
- Bozhkova T. Capabilities of the T-Scan 10 novus system in the diagnosis of occlusion. *J Pharm Res Int*. 2022;34:7-19.
- Cotruță AM, Mîhăescu CS, Tănăsescu LA, Mărgărit R, Andrei OC. Analyzing the morphology and intensity of occlusal contacts in implant-prosthetic restorations using T-Scan system. *Rom J Morphol Embryol*. 2015;56:277-281.
- Majithia IP, Arora V, Anil Kumar S, Saxena V, Mittal M. Comparison of articulating paper markings and T Scan III recordings to evaluate occlusal force in normal and rehabilitated maxillofacial trauma patients. *Med J Armed Forces India*. 2015;71:S382-S388.
- Olivieri F, Kang KH, Hirayama H, Maness WL. New method for analyzing complete denture occlusion using the center of force concept: A clinical report. *J Prosthet Dent*. 1998;80:519-523.
- Maness WL, Podoloff R. Distribution of occlusal contacts in maximum intercuspal position. *J Prosthet Dent*. 1989;62:238-242.
- Mizui M, Nabeshima F, Tosa J, Tanaka M, Kawazoe T. Quantitative analysis of occlusal balance in intercuspal position using the T-Scan system. *Int J Prosthodont*. 1994;7:62-71.
- Qadeer S, Özcan M, Edelhoff D, VanPelt H. Accuracy, reliability and clinical implications of static compared to quantifiable occlusal indicators. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2020;28:1-12.
- Bozhkova T, Musurlieva N, Slavchev D. Comparative study qualitative and quantitative techniques in the study of occlusion. *Biomed Res Int*. 2021;1163874.

13. Jeong MY, Lim YJ, Kim MJ, Kwon HB. Comparison of two computerized occlusal analysis systems for indicating occlusal contacts. *J Adv Prosthodont.* 2020;12:49–54.
14. Fraile C, Ferreira A, E. Solaberrieta GP. Intraoral versus extraoral digital occlusal records: A pilot study. *Int J Comput Dentistry.* 2018;21:329–333.
15. Fraile C, Ferreira A, Romeo M, Alonso R, Pradies G. Clinical study comparing the accuracy of interocclusal records, digitally obtained by three different devices. *Clin Oral Investig.* 2022;26:1957–1962.
16. Da Silva Martins MJ, Caramelo FJ, Ramalho da Fonseca JA, Gomes Nicolau PM. In vitro study on the sensibility and reproducibility of the new T-Scan III HD system. *Rev Port Estomatol Med Dent e Cir Maxilofac.* 2014;55:14–22.
17. Qadeer S, Kerstein R, Kim RYJ, Huh JB, Shin SW. Relationship between articulation paper mark size and percentage of force measured with computerized occlusal analysis. *J Adv Prosthodont.* 2012;4:7–12.
18. Cerna M, Ferreira R, Zaror C, Navarro P, Sandoval P. Validity and reliability of the T-Scan III for measuring force under laboratory conditions. *J Oral Rehabil.* 2015;42:544–551.
19. Lee W, Kwon HB, Kim MJ, Lim YJ. Determination of the reliability and repeatability of a quantitative occlusal analyzer by using a piezoelectric film sensor: An in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2022;127:331–337.
20. Kerstein RB, Radke J. In-vitro consistency testing of the T-Scan 10 relative force measurement system. *Adv Dent Technol Tech.* 2022;4:47–58.
21. Luo Q, Ding Q, Zhang L, Xie Q. Analyzing the occlusion variation of single posterior implant-supported fixed prostheses by using the T-scan system: A prospective 3-year follow-up study. *J Prosthet Dent.* 2020;123:79–84.
22. Liu CW, Chang YM, Shen YF, Hong HH. Using the T-scan III system to analyze occlusal function in mandibular reconstruction patients: A pilot study. *Biomed J.* 2015;38:52–57.
23. Buduru S, Mesaros A, Talmaceanu D, Baru O, Ghiurca R, Cosgarea R. Occlusion in the digital era: A report on 3 cases. *Med Pharm Reports.* 2019;92:78–84.
24. Zhang R, Hao X, Zhang K. Evaluation of two different occlusal patterns on single posterior implant-supported crowns: A 12-month prospective study of occlusal analysis. *J Prosthet Dent* 2022. In press.
25. Kabbua P, Aunmeungtong W, Khongkhunthian P. Computerised occlusal analysis of mini-dental implant-retained mandibular overdentures: A 1-year prospective clinical study. *J Oral Rehabil.* 2020;47:757–765.
26. International Organization for Standardization. ISO-5725-1. Accuracy (trueness and precision) of Measurement Methods and Results—Part 1: General Principles and Definitions. Geneva: ISO; 2023.
27. Wiechens B, Brockmeyer P, Wassmann T, Rödiger M, Wiessner A, Bürgers R. Time of day-dependent deviations in dynamic and static occlusion: A prospective clinical study. *J Prosthet Dent* 2022. In press.
28. Berry DC, Singh BP. Daily variations in occlusal contacts. *J Prosthet Dent.* 1983;50:386–391.
29. Jauregi M, Amezua X, Manso AP, Solaberrieta E. Positional influence of center of masticatory forces on occlusal contact forces using a digital occlusal analyzer. *J Prosthet Dent.* 2023;129:930.e1–930.e8.
30. International Organization for Standardization. ISO-10993-1. Biological Evaluation of Medical Devices—Part 1: Evaluation and Testing within a Risk Management Process. Geneva: ISO; 2018.
31. Food and Drug Administration. FDA-2013-D-0350. Use of International Standard ISO 10993-1, “Biological Evaluation of Medical Devices—Part 1: Evaluation and Testing Within a Risk Management Process.”: Guidance for Industry and Food and Drug Administration Staff. Silver Spring: FDA; 2020.
32. International Organization for Standardization. ISO-7050. Cross-Recessed Countersunk (flat) Head Tapping Screws. Geneva: ISO; 2011.

**Corresponding author:**

Dr Eneko Solaberrieta  
 Department of Graphic Design and Engineering Projects  
 Faculty of Engineering Gipuzkoa  
 University of the Basque Country (UPV/EHU)  
 Plaza Europa 1  
 San Sebastian 20018  
 SPAIN  
 Email: eneko.solaberrieta@ehu.eus.

**Acknowledgments**

The authors thank the University of the Basque Country (UPV/EHU) for providing the DEHI research laboratory ([www.ehu.eus/dehi](http://www.ehu.eus/dehi)), and the Ayesta dental practice for providing digital dental equipment and professional assistance ([www.ayesta.com](http://www.ayesta.com)).

**CRediT authorship contribution statement**

**Mikel Jauregi:** Conceptualization, Methodology, Software, Investigation, Writing – original draft **Xabier Amezua:** Investigation, Writing – original draft, Visualization **Mikel Iturrate:** Formal analysis, Data curation, Visualization **Eneko Solaberrieta:** Validation, Writing – review & editing, Supervision, Project administration, Funding acquisition.

Copyright © 2023 The Authors. Published by Elsevier Inc. on behalf of the Editorial Council of *The Journal of Prosthetic Dentistry*. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.08.001>



**KONGRESU KOMUNIKAZIOA: Methodology proposal using CAD/CAE for the quantitative analysis of contact forces in dental occlusion.**

ERANSKINAK: ARGITARATUTAKO ARTIKULUAK

---

# Methodology proposal using CAD/CAE for the quantitative analysis of contact forces in dental occlusion

**Abstract** In dentistry, occlusion is the way in which the teeth of the upper arch fit together with those of the lower arch and determines the mechanical functioning of the mouth for biting, chewing, swallowing or speaking. Mandibular dynamics studies the forces that occur between the contacts of the teeth in occlusion. Due to the importance of this issue, and taking advantage of the potential of finite element technology available in commercial software packages for industrial design, a study has been developed to calculate the magnitudes and directions of the contact forces. Considering the geometric complexity of a denture, simple geometries have been used instead of real teeth ones for a preliminary phase of the study. The development of the study consists of the next phases: creating or importing the geometry of the teeth, placing the teeth on a mandibular and a maxillary base, positioning the upper denture with respect to the lower one, setting a linear static analysis using finite elements method and establishing individualized contact conditions between the teeth, and finally obtaining and analyzing the results. The viability of the method has been tested with an example, and it has been verified that it is possible to calculate the dental contact forces for different occlusion scenarios and thus identify the existing problems.

**Keywords:** FEM, mandibular dynamics, contact forces, occlusion.

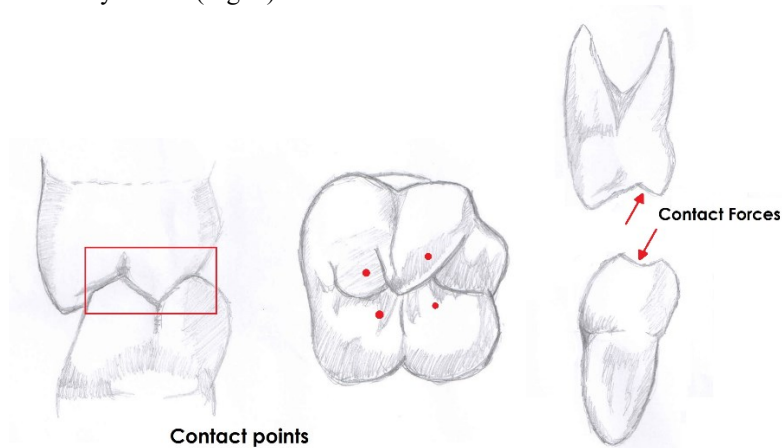
## 1 Introduction

The finite element method has been used as an analysis method in the field of dentistry in several research areas [1]. This method allows structural analysis in general and can be used to determine forces, stresses and displacements of various dental structures [2][3][4].

There are many advantages of this method with respect to experimental studies performed in vivo or in the laboratory; it is a non-invasive technique, it requires less time for complicated studies, it does not require large instrumentation, and the study can be repeated as many times as required [1]. On the other hand, it has the disadvantage that the modeling of human structures is extremely difficult due to their complex anatomy and there is uncertainty about the exact knowledge of the mechanical properties of human biological materials (bone structure, teeth,

ligaments, etc.). Therefore, the method requires certain assumptions and the results will largely depend on the calculation hypotheses made [5].

Dental occlusion studies how the teeth of the upper arch fit together with those of the lower arch and determines the mechanical functionality of the mouth for biting, chewing, swallowing or speaking [6]. The forces that occur between the contacts of the teeth in occlusion are of particular importance, and these are studied using mandibular dynamics (Fig. 1).



**Fig. 1.** Contact points and contact forces in occlusion.

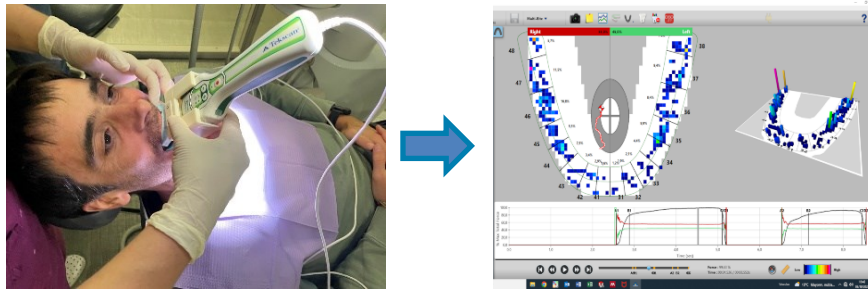
By the conventional workflow of prosthetic and restorative dentistry, the forces of occlusion are usually deduced from the size of the ink mark that remains attached to the teeth using the articulating paper (Fig.2), but this technique does not allow to analyze the evolution over time of the contacts points and the magnitude of the forces involved are also not proportional to the size of the marks [7][8][9].



**Fig. 2.** Occlusal marks obtained using articulating paper.



There is also another option of using electronic devices (Fig.3), which allow the location of the occlusal contacts to be measured and the magnitude of the forces produced in them over time to be quantified [10], but these devices are also unable to know the direction of the contact forces of each tooth.



**Fig. 3.** T-Scan Novus provides to clinicians essential occlusion data that cannot be captured with analog occlusion methods, such as articulating paper.

This work presents a procedure to study dental contact forces, using the simulation module based on the finite element method and integrated in an industrial CAD design package (SolidWorks2021, Dassault Systemes). This work has been carried out by members of the research group called DEHI, which belongs to the School of Engineering of Gipuzkoa of the University of the Basque Country UPV/EHU.

## 2. Objectives

The major objective of this study has been focused on studying the viability of the proposed method. For this purpose, a denture model will be designed and analyzed by means of the finite element method with the aim of obtaining the contact points and the magnitudes and directions of the contact forces that occur between the dental pieces. Once the viability of the method has been checked and once the results obtained have been contrasted, it will be possible to test different modes of occlusion and obtain conclusions in a quicker and more agile way than using experimental tests.

Considering that the study of the contact forces between solids using the finite element method presents serious difficulties, at first the real geometry of the teeth has been replaced by other geometries of regular shapes that are simpler and more easily carried out with CAD software. Later on, it will be possible to study the contact forces with real tooth geometries, since these can be imported with STL files of dentures digitized with an intraoral scanner.

### 3. Methodology

Figure 4 shows the steps to carry out a finite element study.

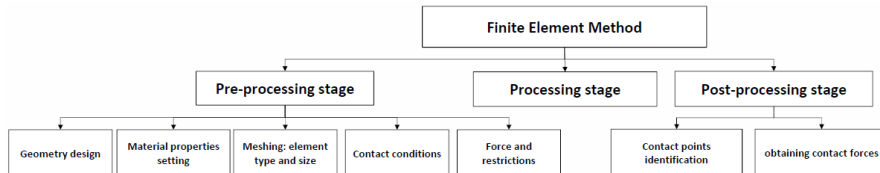


Fig. 4. Equation formatting.

#### 3.1. Geometry design

Firstly, it is necessary to design the geometry of the maxilla and mandible indicating the positions for the placement of dental pieces. This process can be more real (CBCT radiographs for the maxilla and mandible and intraoral scans for the dental pieces) or more approximate (design of comparable geometries in CAD) depending on the accuracy of the result to be achieved. Very simplified geometries will be used in this example (Fig. 5), in order to show only the procedure.

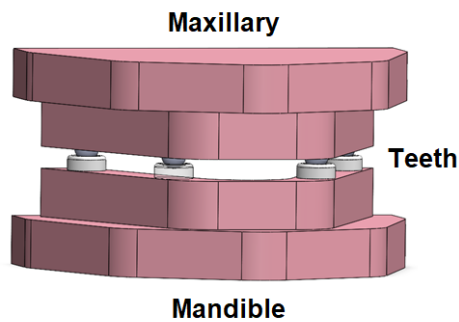


Fig. 5. Simplified denture designed in CAD (SolidWork) consisting of a mandible and a maxilla with 4 simplified teeth in each one.

### 3.2. Material properties setting

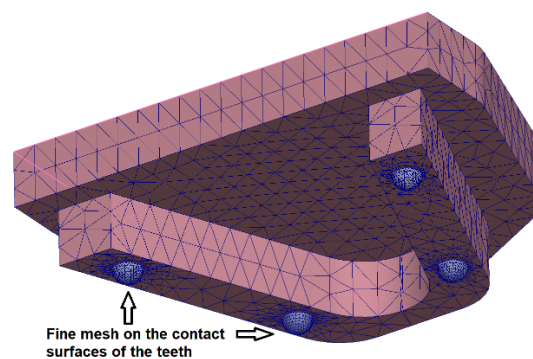
Analysis can be performed using bone and tooth material properties, or it could also be performed using substitute materials used in dental rehabilitation (titanium and zirconium among others). Young's modulus and Poisson's ratio are shown in Table 1 for some of the mentioned materials.

**Table 1.** Mechanical properties of the commonly used dental materials and structures.

<i>Materials</i>	<i>Young's modulus (MPa)</i>	<i>Poisson's ratio</i>
Teeth	2,60E+04	0,30
Bone	1,40E+04	0,30
Periodontal ligament	6,80E-01	0,49
Stainless steel	2,00E+05	0,28
Titanium alloy (implant)	1,10E+05	0,30
Zirconium	9,90E+04	0,34

### 3.3. Meshing: element type and size

Considering that the geometries of real teeth are totally irregular, 3D tetrahedral elements will be best suited to adapt to these shapes automatically (Fig 6.). The contact forces occur on the occlusal surfaces of the teeth, therefore, these surfaces will require a finer mesh size (example: element with 0.2 mm edge) to obtain more accurate results. In the rest of the geometric entities, the size of the elements is not critical, and a larger one will be used (example: element with 4 mm edge). It must be ensured that there is an acceptable transition between element sizes.



**Fig. 6.** Meshing with tetrahedral adapted sizes elements for each zone of the geometry.

### 3.4. Contact conditions between solids

Since the assembly is built up by several solids, it is necessary to establish the contact conditions between all the solids. Dental pieces are rigidly attached to the mandible and maxilla, i.e., it is not possible to make detachment between the nodes of those bodies.

Considering that the objective of the study is the contact forces between the occlusal surfaces, "non-penetration" conditions with a friction coefficient of 0.05 will be established for these surfaces. This condition implies that the nodes of a dental piece cannot penetrate the elements of another one, but they can be detached. Non-penetration conditions are difficult to solve, as they require iterative mathematical processes, so the use of this condition may delay or cause the convergence of the solution failure.

### 3.5. Force and restrictions

One of the dentures is completely fixed and on the other acts the force of the masticatory muscles. In the example shown the mandible is the fixed part and on the maxilla acts a force of 150 N perpendicular to the occlusal plane (Fig. 7).

In order to avoid static problems and to ensure the convergence of the numerical solution, it is convenient to fix the lateral and protrusive displacements of the upper dentition. In this example there is no protrusive movement, but there is a lateral movement of 0,1 mm (Fig. 7).

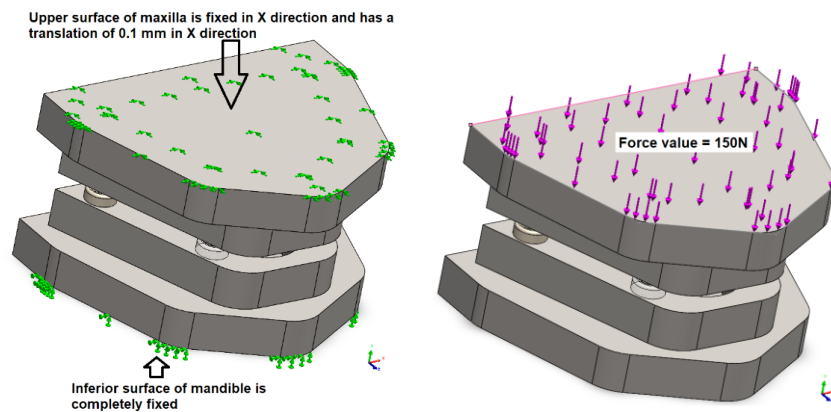


Fig. 7. Displacement restrictions and load application.

### 3.6. Running the analysis and obtaining result

A linear static analysis has been performed (Fig. 8). Although the problem of contacts between non-concordant surfaces is a non-linear problem, there are some solvers that can linearize it.

The linear analysis allows a faster convergence, although it only obtains the results at the final position without finding results for the intermediate steps. In our example a muscle force of 150 N has been used and it should be ensured that this magnitude is enough to reach the position of maximum intercuspitation of the denture.

The example has a mesh with 87.535 nodes and 84.311 elements resulting a system with 259.353 degrees of freedom. The analysis was run in less than 5 minutes with a medium-capacity PC.

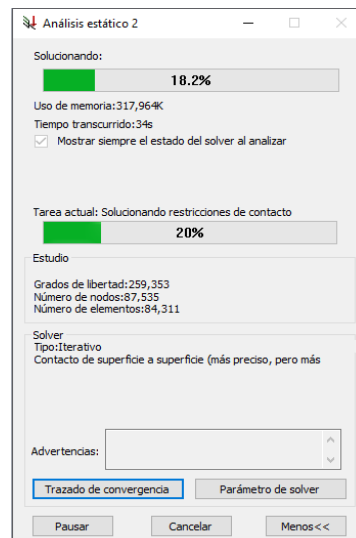


Fig. 8. SolidWorks analysis status window.

### 3.7. Post-processing: Contact point identification

In dental occlusion it is important to determine the areas where there is contact between teeth. In dental practice this is achieved by inserting a tinted paper between the teeth, and after biting several times the paper is able to mark the areas of contact. The same result can be achieved by making a "contact pressure" chart (Fig. 9). All areas that have come into contact will have values different from 0, those stresses are comparable to Hertz stresses.

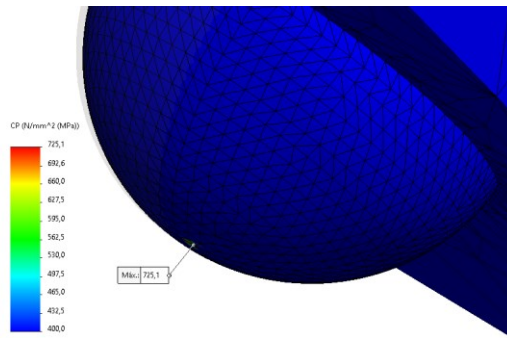


Fig. 9. Contact forces of the upper denture shown by post-processor.

### 3.8. Post-processing: contact forces obtaining.

The main advance of this method is the capacity to calculate the contact forces on each dental piece. It is possible to calculate the 3 force components and their moments on a given reference system. Based on these three components, the direction of the force and its magnitude are known. Since we are performing a static analysis, the sum of forces (1) and sum of moments (2) in the three directions must be zero.

$$\Sigma F_x = 0; \Sigma F_y = 0; \Sigma F_z = 0 \quad (1)$$

$$\Sigma M_x = 0; \Sigma M_y = 0; \Sigma M_z = 0 \quad (2)$$

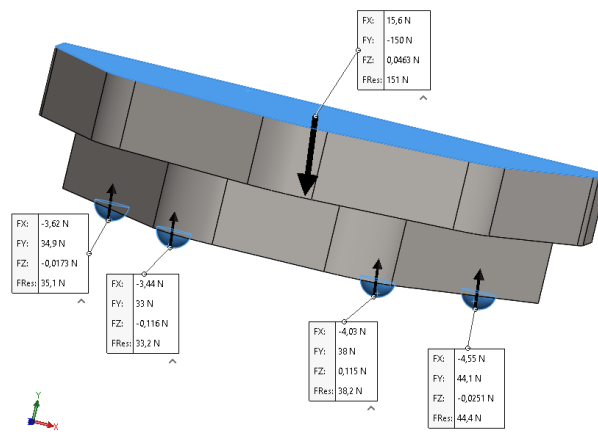


Fig. 10. Contact forces of the upper denture shown by post-processor.

In this example (Fig. 10), results satisfy the static condition check and it can be seen that the forces of each tooth are not exactly the same.

## 6 Conclusions

The methodology of calculation by simulation with the finite element method presented shows consistent results for the example performed. This method represents an important innovation in the area of dentistry, since no other method is known to determine or measure the direction and magnitude of the contact forces that develop during occlusion. Knowledge of these forces opens up the possibility of more precise studies in such important areas as implantology, orthodontics, disorders of the temporomandibular joint, and others.

**Acknowledgments** The authors of this paper thank the Faculty of Engineering Gipuzkoa for locating the DEHI laboratory in their facilities and the Spanish Ministry of Economy, Industry and Competitiveness (MINECO) for financing the project (grant code PID2019-108975RA-I00).

## References

1. M. S. Desai H, "Basic Concepts of Finite Element Analysis and its Applications in Dentistry: An Overview," *J. Oral Hyg. Heal.*, vol. 02, no. 05, 2014, doi: 10.4172/2332-0702.1000156.
2. M. A. Gélvez Vera, J. Velosa Porras, and B. Pérez Gutiérrez, "Efecto de las fuerzas oclusales sobre el periodonto analizado por elementos finitos / Effect of occlusal forces over periodontium analyzed through finite elements," *Univ. Odontol.*, vol. 35, no. 74, pp. 85–92, 2016, doi: 10.11144/javeriana.uo35-74.efop.
3. S. Gomes De Oliveira, P. I. Seraidarian, J. Landre, D. D. Oliveira, and B. N. Cavalcanti, "Tooth displacement due to occlusal contacts: A three-dimensional finite element study," *J. Oral Rehabil.*, vol. 33, no. 12, pp. 874–880, 2006, doi: 10.1111/j.1365-2842.2006.01670.x.
4. J. Chen, U. Akyuz, L. Xu, and R. M. V. Pidaparti, "Stress analysis of the human temporomandibular joint," *Med. Eng. Phys.*, vol. 20, no. 8, pp. 565–572, 1998, doi: 10.1016/S1350-4533(98)00070-8.
5. J. T. Celigüeta Lizarza, *Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural*. 2011.
6. S. J. Ash, Major M.; Nelson, WHEELER *Anatomia, Fisiología y Oclusion Dental*.pdf. Elsevier Science.
7. M. N. Saad, G. Weiner, D. Ehrenberg, and S. Weiner, "Effects of load and indicator type upon occlusal contact markings," *J. Biomed. Mater. Res. - Part B Appl. Biomater.*, vol. 85, no. 1, pp. 18–22, 2008, doi: 10.1002/jbm.b.30910.
8. J. P. Carey, M. Craig, R. B. Kerstein, and J. Radke, "Determining a Relationship Between Applied Occlusal Load and Articulating Paper Mark Area," *Open Dent. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2007, doi: 10.2174/187421060701011060.

9. S. Qadeer, R. Kerstein, R. J. Y. Kim, J. B. Huh, and S. W. Shin, "Relationship between articulation paper mark size and percentage of force measured with computerized occlusal analysis," *J. Adv. Prosthodont.*, vol. 4, no. 1, pp. 7–12, 2012, doi: 10.4047/jap.2012.4.1.7.
10. B. Sutter, "Digital Occlusion Analyzers: A Product Review of T-Scan 10 and Occlusense," *Adv. Dent. Technol. Tech.*, p. 11079, 2019.