

Biofizika - fogorvoslás



Dr. Szűcs Attila
Arc-Állcsont-Szájsebészeti és
Fogászati Klinika

- **Mechanika**

a fizikai törvényekkel leírható problémák megoldása

- **Biomechanika**

az élő szervezetben lezajló mechanikai folyamatok vizsgálata, adott esetben a fellépő biológiai hatásokat is figyelembe véve

- a fogak ill. különböző fogművek (pl. fogtömések, fogpótlások, implantátumok) mechanikai jellemzőinek, viselkedésének vizsgálata
- az implantátumok (állcsontba helyezett műgyökerek) és a csontszövet dinamikus kapcsolatának vizsgálata

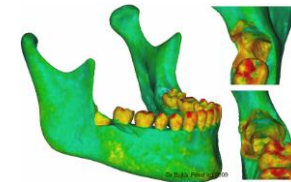
Biofizika - fogorvoslás



Dr. Szűcs Attila
Arc-Állcsont-*Szájsebészeti* és
Fogászati Klinika

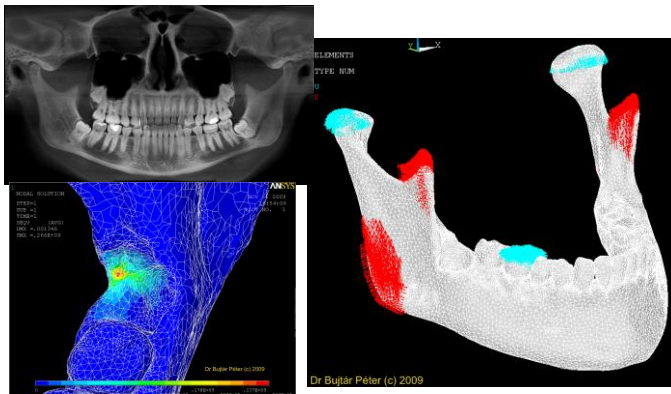
Biomechanikai kérdések a szájsebészetben

- Állcsontok vizsgálata
 - Szilárdsági viszonyok
 - Áttörésben visszamaradt fogak
 - Állcsont hasadékok
 - Törések predilekciós helyei
 - Állcsonttörések gyógyítása - oszteoszintézis lemezek
 - Állcsontokon végzett műtétek tervezése
- Fogászati implantátumok
 - Rendszerek tervezése, forma, méretezés
 - Mechanikai feszültségátvitel az állcsontokra



CBCT felvétel és az adatállománya alapján készült 3D végeselemes modell

(20 éves nőbeteg, 38, 48, valamint 18 és 28 fogak áttörésben visszamaradtak)

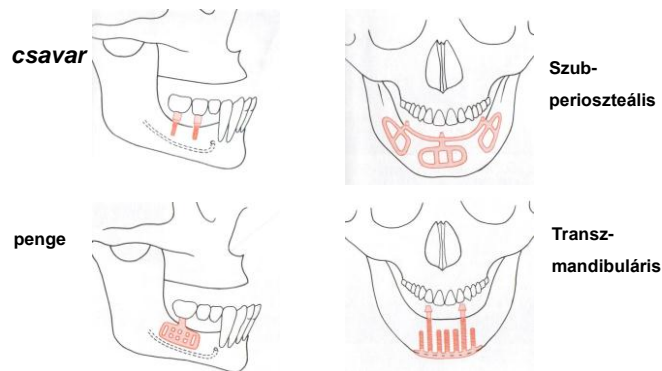


Implantológia

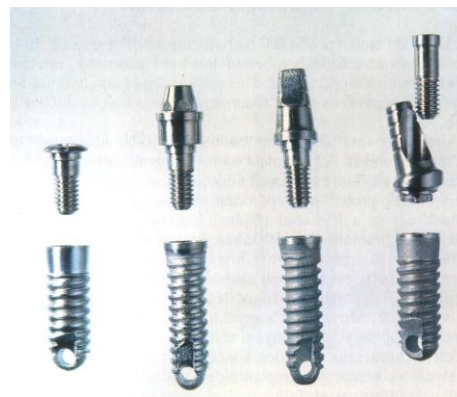
2 féléves tantárgy a 8. és 9. szemeszterben

- Az állcsontokban, az elvesztett fogak helyén, alloplastikus anyagból készült implantátumok („műgyökerek”) helyezhetőek el, fogpótlás készítése céljából.
- A feladat megoldása komplex biológiai és mechanikai (biomechanikai) problémát jelent. Az implantológia napjainkban a fogászat egyik legdinamikusabban fejlődő ága.

Különböző implantátum típusok

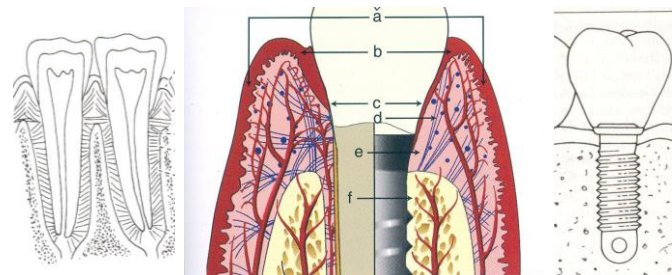


Csavarimplantátumok





A természetes fogak és az implantátumok rögzülése az állcsontban



Az implantátum biomechanikai szerepe:

ERŐÁTVITEL

a fogpótlás és az állcsont között.

Cél: a csontszövetre továbbított erők, mechanikai feszültségek fiziológiai tartományban maradjanak

- Inaktivitási atrófia megelőzése
- Túlterhelés, mikrosérülések elkerülése
- A fellépő feszültségek (húzó-, nyomó-, nyíró feszültségek) arányának optimalizálása

A biomechanika szerepe az implantológiában

- Implantációs rendszerek tervezése
 - Biomérnöki feladat
- Implantációs fogpótlások tervezése – klinikai megvalósítás
 - Fogorvosi feladat
- Implantátumok klinikai vizsgálata – mérések a páciensen
 - Fogorvosi feladat

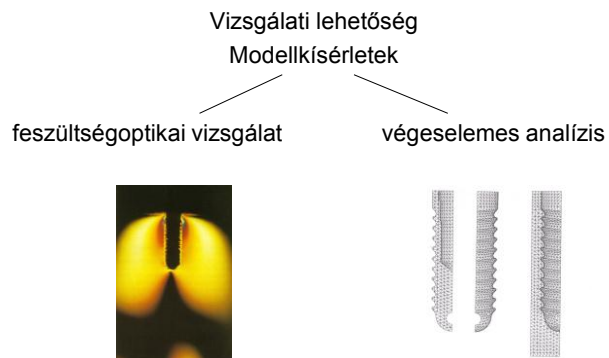
Implantációs rendszerek tervezése

- Az implantátum és alkatrészeinek kellő mechanikai stabilitásának biztosítása
 - törések, deformációk megelőzése
- Az implantátum csontintegrálódásának, hosszú élettartamának biztosítása
 - kedvező erőátvitel

Biomérnök – orvos kooperáció

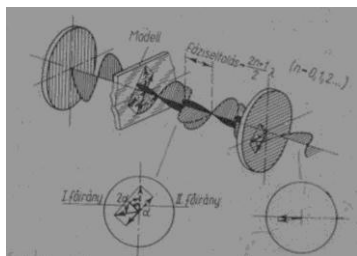
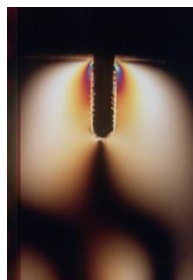
Implantációs rendszerek tervezése

Mechanikai feszültségek az implantátumok csontkörnyezetében



Feszültségoptikai vizsgálat

Direkt modell kísérlet
-feszültségeloszlási kép,
számszerű értékek nélkül



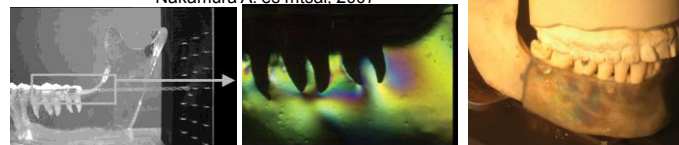
• Feszültségoptikai vizsgálat

- Direkt modellkészítést igényel
- Az egyedi anatómiai viszonyok figyelembevétele körülményes
- A feszültségek abszolút értéke nem meghatározható

Gáspár J. és mtsai, 2005

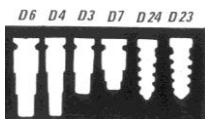


Nakamura A. és mtsai, 2007



Implantátum geometria hatása a mechanikai feszültségátadásra - feszültségoptikai vizsgálat

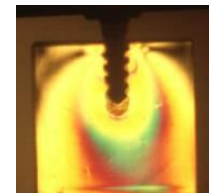
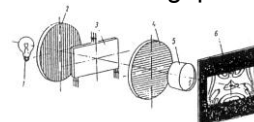
- **Cél:**
 - Különböző geometriai kialakítású DIAKOR® típusú implantátumok összehasonlítása



- Csontintegrált és nem csontintegrált implantátum modellek összehasonlítása

Implantátum geometria hatása a mechanikai feszültségátadásra

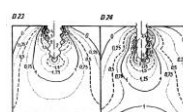
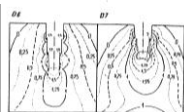
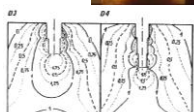
- **Módszer:** feszültségoptikai vizsgálat



Implantátum geometria hatása a mechanikai feszültségátadásra

Eredmények I.:

- Csúcsi területen legmagasabbak a feszültségek, a lépcsők területén is feszültségkoncentráció alakul ki
- Lépcsős forma kedvezőbb a csavarmenetesnél
- Nagyobb méretű implantátumoknál a feszültségek alacsonyabbak, eloszlásuk egyenletesebb

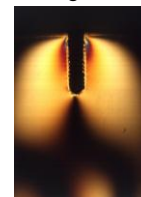


Implantátum geometria hatása a mechanikai feszültségátadásra

Eredmények II.:

- Csontintegrált implantátumok (A): legmagasabbak a feszültségek az implantátum nyaki részén, de az implantátum palástján is történik feszültségátadás
- Elégtelenül rögzülő implantátumok (B): a feszültségek erősen koncentrálnak az implantátum csúcsánál, a palást mentén alig adódik át teher

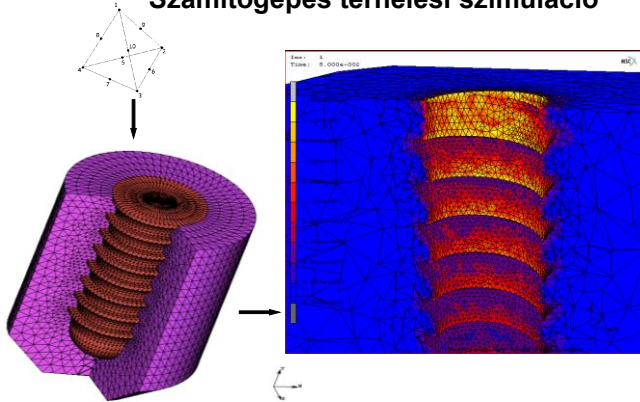
A



B

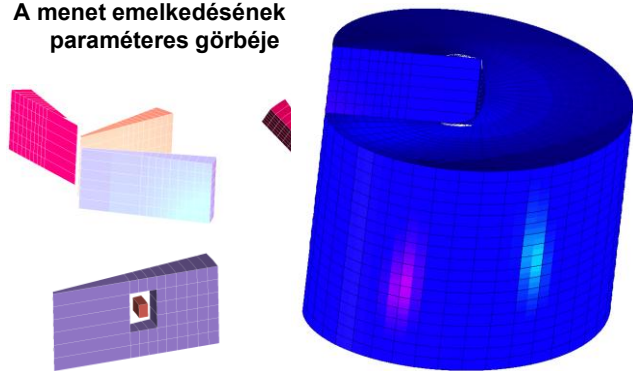
Végeselemes vizsgálati módszer

Számítógépes terhelési szimuláció



Az implantátumok három dimenziós modellje

A menet emelkedésének paraméteres görbéje

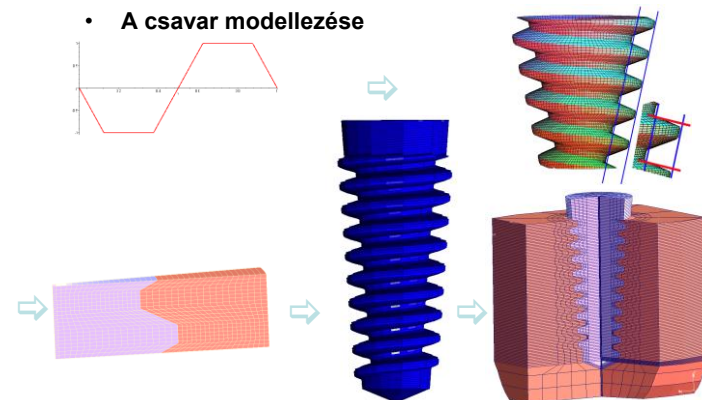


Végeselemes vizsgálati módszer (VEA, FEA)

- Az implantátum és csontkönyezetének számítógépes geometriai modellezése (2 vagy 3D hálózat felépítése)
- Megtámasztások, terhelés helyének megválasztása
- Mechanikai anyagállandók megválasztása
- Terhelési paraméterek meghatározása
- Számítógépes futtatások elvégzése
- Eredmények értékelése, következtetések

A háromdimenziós geometriai modell létrehozása

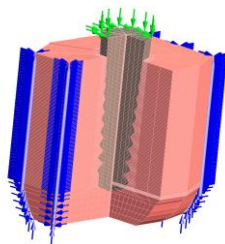
A csavar modellezése



Vizsgálati paraméterek

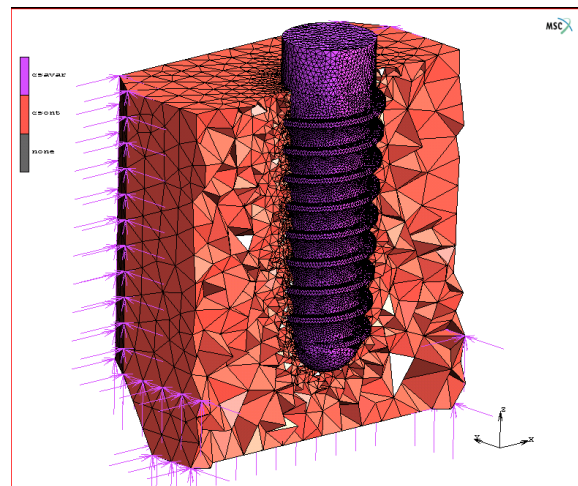
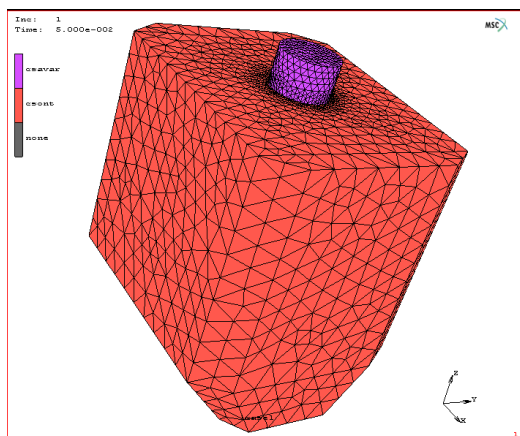
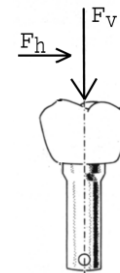
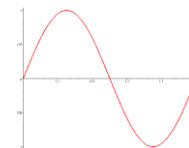
- Anyagjellemzők (csont, titán)
 - Homogén
 - Izotrop
 - Lineárisan rugalmas
- Geometriai adatok, alátámasztások, terhelés helye:

Anyag-jellemzők	Állcsont, spongiosa	Titán
E – Young modulus (MPa)	1340	137000
ν - Poisson tényező	0.3	0.35

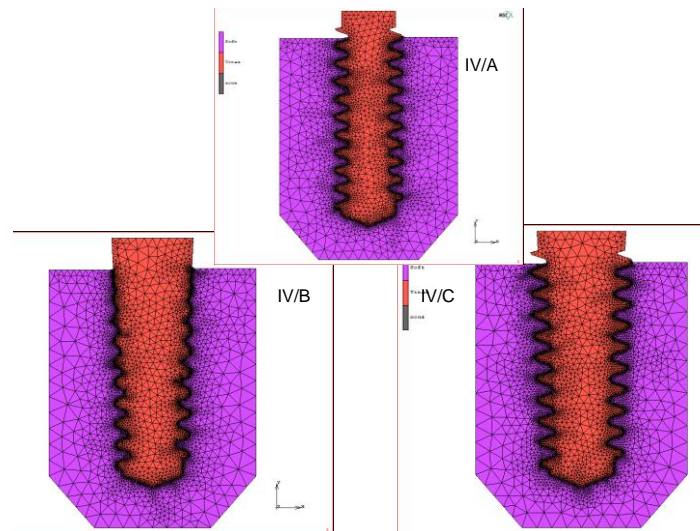
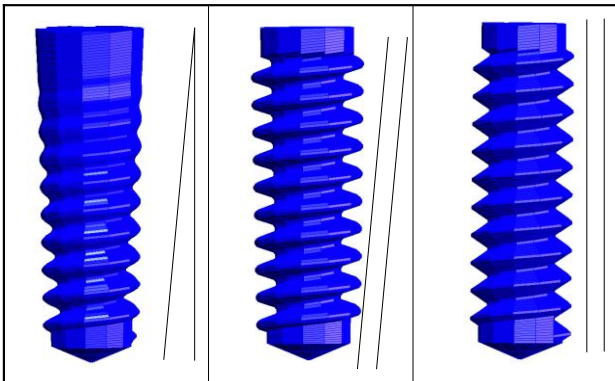


Statikus és dinamikus terhelés

- Függőleges terhelőerő őrlőfognál: $F_v = 250-650$ N (terhelő erő: 500 N)
- Függőleges terhelőerő metszőfognál: $F_v = 225$ N
- Vízszintes terhelőerő: $F_h = 20$ N
- Frekvencia: 1 Hz (sinus hullám)

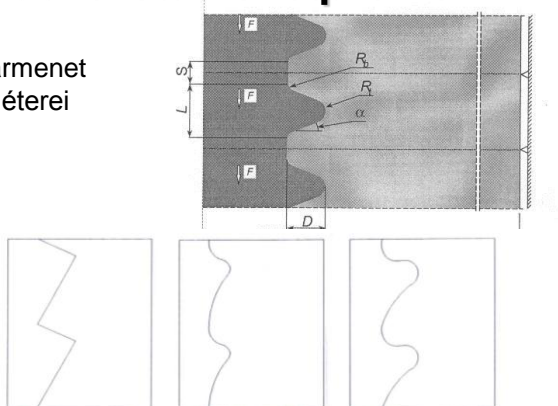


Modellezett implantátum formák

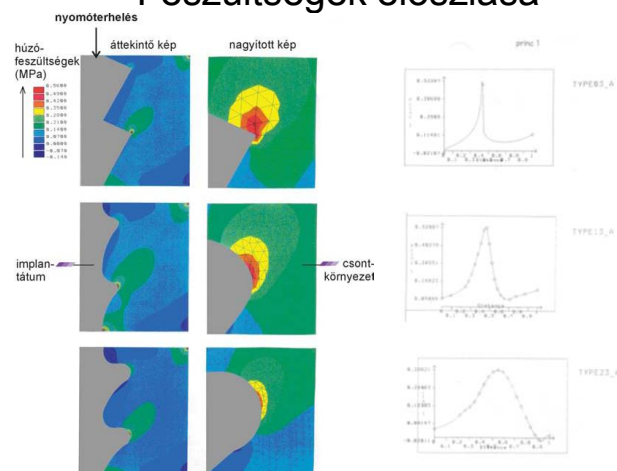


Modellezett menetprofilok

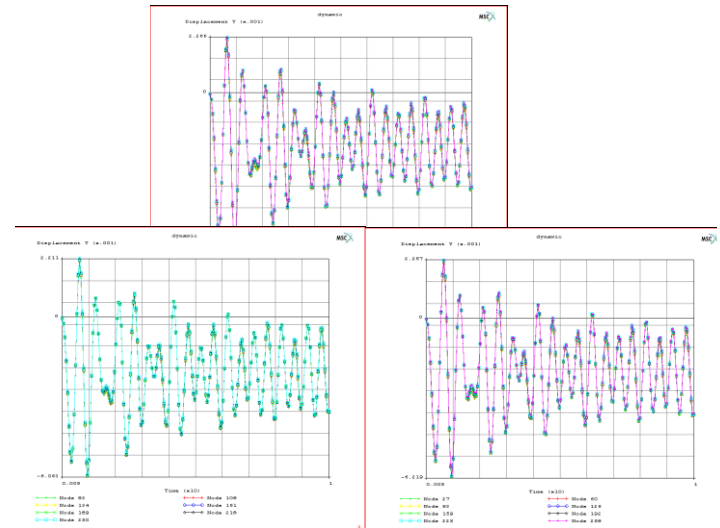
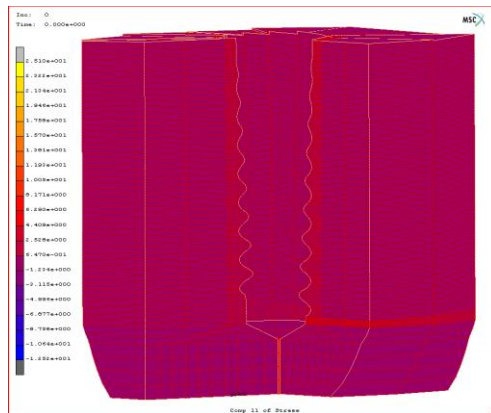
- Csavarmenet paraméterei



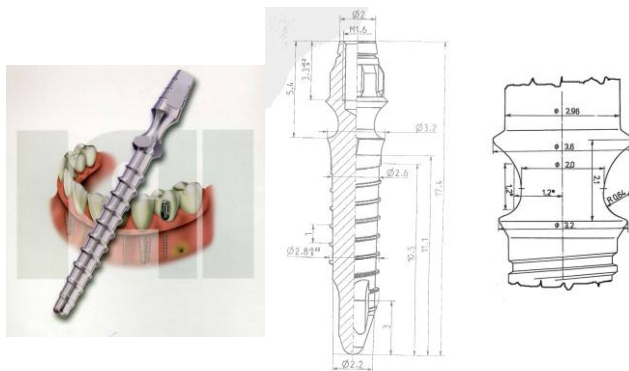
Feszültségek eloszlása



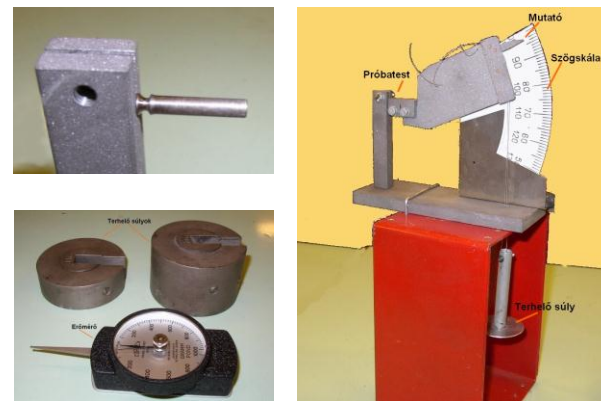
Dinamikus animáció



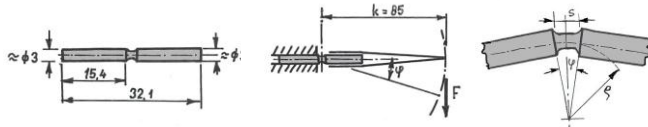
Direkt modell készítés, terhelési, hajlítási paraméterek vizsgálata



Mérőberendezés



A mérés elve



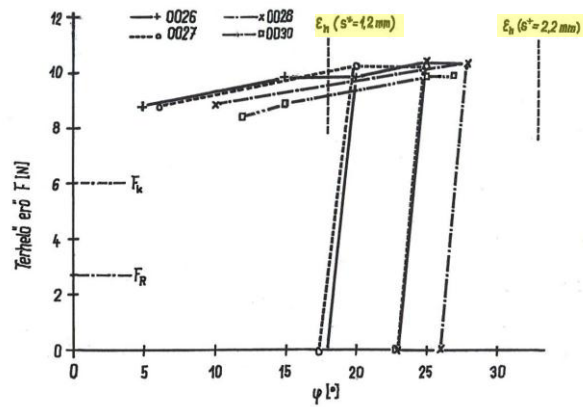
$$\varepsilon_{\max} = \frac{r}{s} \varphi$$

Eredmények

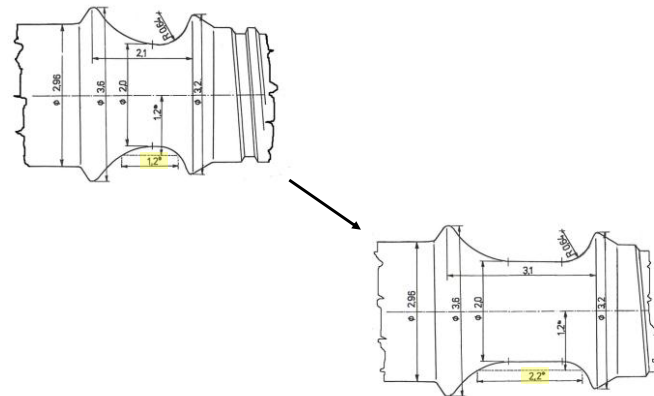
Anyagjellemző	Érték műbizonylat alapján
Szakító szilárdság	$\sigma_B = 535,7 \text{ MPa}$
Folyási határ	$\sigma_F = 282,7 \text{ MPa}$
Szakadási nyúlás	$\varepsilon_B = 31,4\%$

$\varphi [^\circ]$	$\varphi [^\circ]$	$\varepsilon [\%]$	
		$s^* = 1,2 \text{ mm}$	$s^* = 2,2 \text{ mm}$
5	0,08726	8,726	4,76
10	0,1745	17,45	9,52
15	0,2618	26,18	14,28
20	0,1490	34,90	19,04
25	0,4363	43,63	23,80
30	0,5236	52,36	28,56

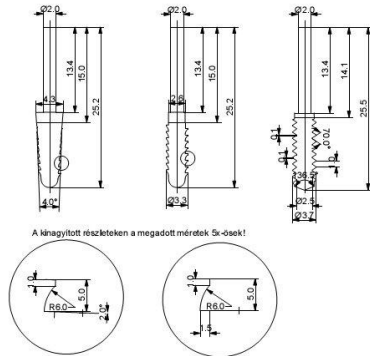
Eredmények



Következtetés



**Direkt modell készítés,
menetforma vizsgálata ciklikus
terhelés mellett**



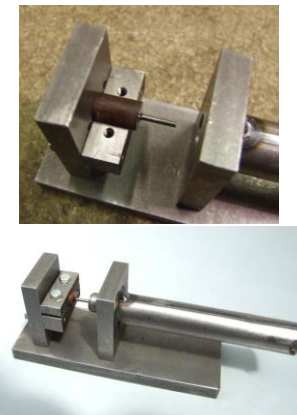
Textilbakelit hengerben műgyanta alapú
ragasztóval rögzített modellek



**Konstans előterhelésre alkalmas
befogószerkezet**



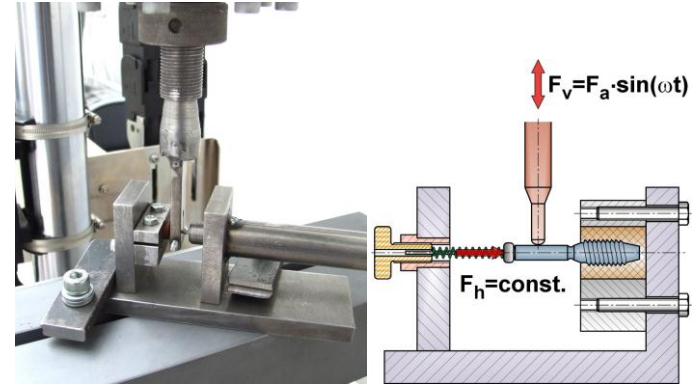
A próbatetek rögzítése a befogószerkezetben



A próbatestek terhelése



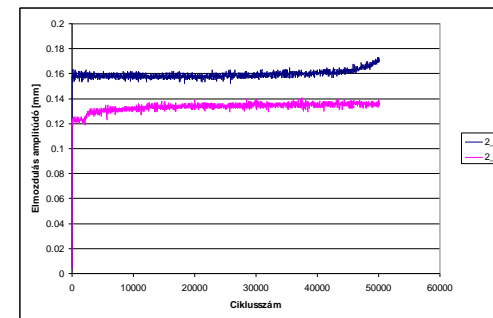
A próbatestek terhelése



Egy terhelési ciklus



Ciklikus terhelés – fáradási jellemzők



Fűrészfog kialakítású menetű modellek mérési eredményei

Biomechanikai vizsgálómódszerek a klinikai gyakorlatban

• Rágóerő mérése

- okklúziós egységek között erőmérő érzékelő
- nagyság +, irány ?, erő megoszlása ? dinamikus mérések ?,
- standardizálhatóság, reprodukálhatóság ?



• Forgatónyomaték mérése

- Implantátum behelyezésekor + nyomatékjelző behajtókulcs - primer stabilitás
- Fogpótlásokra, implantátumokra ? feltételezésekkel számítható

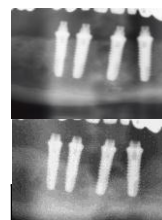
Implantátumok stabilitásának vizsgálata

	Preop.	Intraop.	Postop.	Noninv.	Objekt.
Hisztológia	+	+	+	-	+++
Radiol. vizsg.	++	++	++	++	-
Behajt. nyom.	-	+++	-	+	++
Kihajtási nyom.	-	-	++	-	++
Mech.rezg. el.:					
Kopogtatás	-	++	++	+	+
Periotest	-	++	++	++	++?
RFA	-	+++	+++	+++	++?

Biomechanikai vizsgálómódszerek a klinikai gyakorlatban

• Implantátumok stabilitásának vizsgálata

- Implantátum stabilitás
 - Primer stabilitás - behelyezést követően
 - Szekunder stabilitás – csontintegráció – csontos gyógyulást követően
- Prognosztikus jel az implantátum
 - (korai)terhelhetősége és
 - hosszú távú funkcióképessége szempontjából.



Implantátumok stabilitásának vizsgálata

	Preop.	Intraop.	Postop.	Noninv.	Objekt.
Radiol. vizsg.	++	++	++	++	-
Behajt. nyom.	-	+++	-	+	++
Kihajtási nyom.	-	-	++	-	++



Kopogtatási teszt

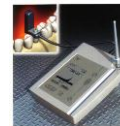
Preop.	Intraop.	Postop.	Noninv.	Objekt.
-	++	++	+	+

- „Modell analízis”, kísérletes (direkt) vizsgálati módszer
- Akusztikus értékelés
 - „Tiszta csengő” hang
 - „Tompá” hang

Mechanikai rezgések műszeres vizsgálata

	Preop.	Intraop	Postop.	Noninv.	Objekt.
RFA	-	+++	+++	+++	++?

- Az implantátumokra bocsátott mechanikai hullámok interferenciájának vizsgálata
 - Pulsed Oscillation Waveform (POWF) - (Japán) – az akusztikus rezgések (1 kHz) átvitele piezoelektromos csatoló tű segítségével történik, az eredmények oszcilloszkópon kerülnek megjelenítésre



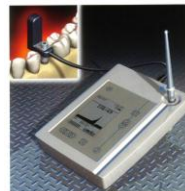
Resonance Frequency Analysis (RFA)

- Osstell készülék (Integration Diagnostics)
- Implomates (Bio Tech One)
- Egyedileg készített RFA készülékek



Rezonancia Frekvencia Analízis (RFA)

- **Osstell®** mérőkészülék
- Transzdúcer segítségével rezgésátvitel implantátumra, a kölcsönhatás alapján a stabilitást **mérőszám** jellemzi
- Eredmény: ISQ mérőszám
Implant Stability Quotient - Implantátum Stabilitási Hányados (relatív egységben)
- 15 éves múlttal rendelkezik



Mechanikai rezgések műszeres vizsgálata

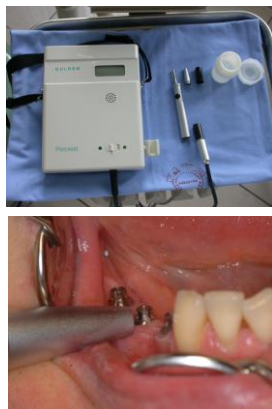
	Preop.	Intraop	Postop.	Noninv.	Objekt.
Periotest	-	++	++	++	++?

- Az implantátumok műszeres „ütögetésén” alapuló vizsgálatok
 - Dental Mobility Checker (J. Morita, Suita, Japan) – akusztikus jel detektálása
 - Periotest (Siemens, jelenleg Gulden)



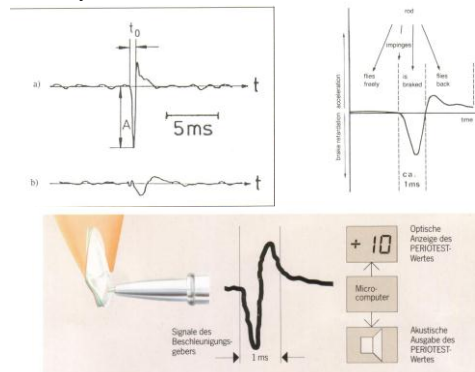
Periotest módszer

- **Periotest®** mérési eljárás fogak és implantátumok **stabilitásának** vizsgálatára
- kb 30 éve használatos



Periotest módszer elve

-a mérőfejből kicsiny fémrúd a vizsgálandó tárgy felszínének ütközik, a visszaverődés paraméterei alapján a stabilitást **mérőszám** jellemzi



Periotest mérőkészülék



Eredmény:

PTV mérőszám –

Periotest Value – Periotest érték
(relatív egység)

teljes méréstartomány -8 és +50
között



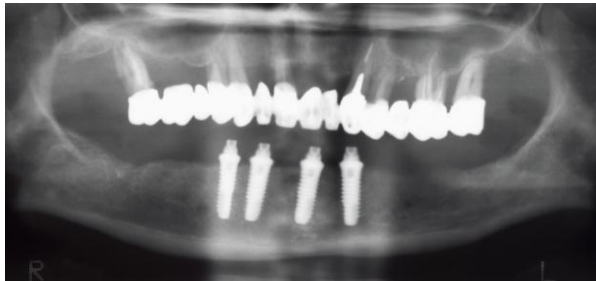
Periotest értékek implantátumoknál:
 $-8 \leq PTV \leq +5$ (?) - kielégítő stabilitás
 $+6 \leq PTV \leq +50$ - nem megfelelő
 stabilitás

Periotest mérés

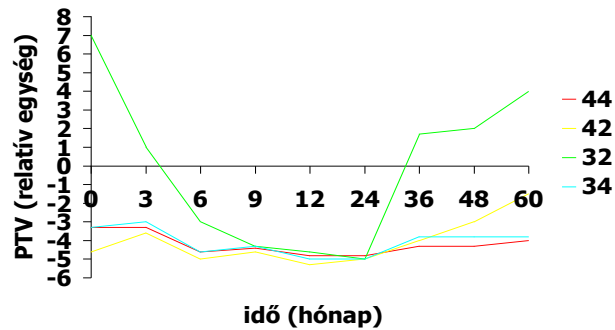


Sz. Gy. 45 éves nőbeteg

32, 34, 42, 44 fogak helyén Uniplant SP egyrészes implantátumok,
32 helyén lévő implantátum primer stabilitása alacsony

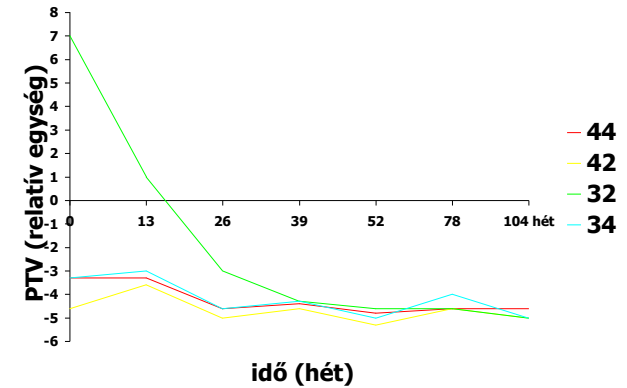


Periotest mérés klinikai eredményei (Sz. Gy. 45 éves nőbeteg)



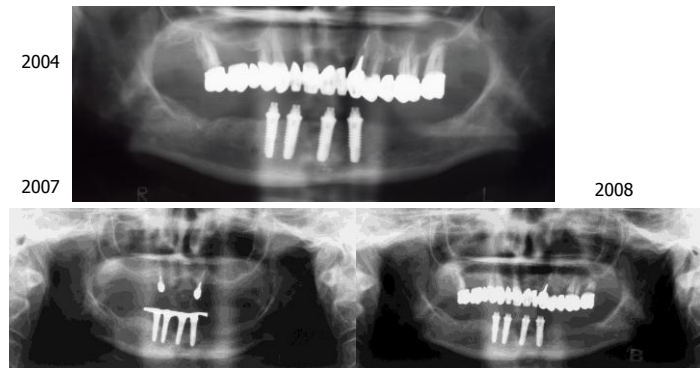
Periotest mérés klinikai eredményei

Sz. Gy. 45 éves nőbeteg- 32 alacsony primer stabilitás



2004. 32, 34, 42, 44 fogak helyén Uniplant SP egyrészes implantátumok
32 helyén lévő implantátum bukkális csontfal az implantátum
behelyezésekor megrepedt, primer stabilitása alacsony

2007. Periimplantitis, 42 h. impl. eltávolításába a beteg nem egyezik bele
2008. Sebészeti feltárás, kürett, 42 h. autolog csont feltöltés



Az implantációs fogpótlások készítésének biomechanikai alapelvei

- optimális teherelosztás
- horizontális erők csökkentése
- forgatónyomaték csökkentése
- erőtörő hatás

Az implantációs fogpótlások készítésének biomechanikai alapelvei

- A behelyezendő implantátumok pozíciójának meghatározása (hely+irány)
- A készítendő fogpótlás típusának kiválasztása,
- A fogpótlás egyedi tervezése
 - optimális teherelosztás
 - horizontális erők csökkentése, forgatónyomaték minimalizálása
 - erőtörő hatás, a sokkszerű erőhatások időbeni elnyújtása

Forgatónyomaték csökkentése

Forgatónyomaték >> fokozott feszültségek az implantátum körül
- meghatározásához ismerni kell(ene) a ható **erőket**+ **forgástengelyt**

Forgástengelye helyzete

- Az implantátum nyaki és középső harmadának határához közel, vagy
- az implantátum más részén, vagy
- az implantátumon kívül, a csontszövet területén (?)

A forgástengely tényleges helyzetét meghatározza

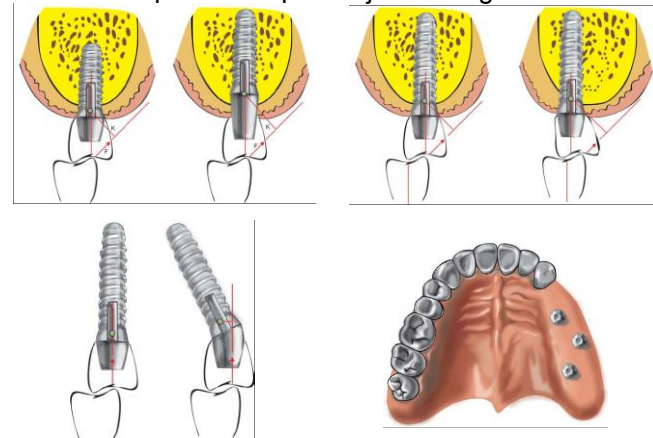
- a befogadó csont anatómiája, minősége, a kortikális és szivacsos állomány aránya
- a fogpótlás

Fellépő erők

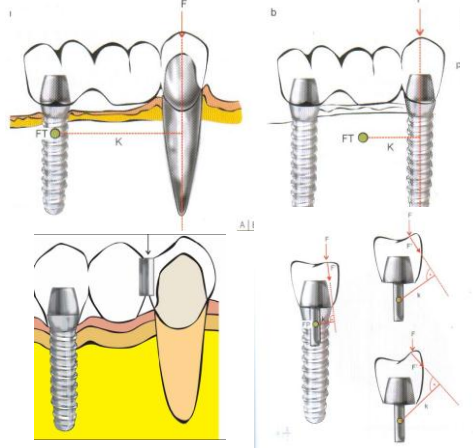
- Nagyságuk hozzávetőleges mérhető, megoszlásuk a pillérek között és irányuk csak feltételezhető

>> Bizonytalansági tényező – elmélet – valóság ?

Lehetőségek a forgatónyomaték csökkentésére
- az implantátum pozíciójának meghatározása



Lehetőségek a forgatónyomaték csökkentésére
- a fogpótlás egyedi tervezése



Az élővilág ösztönös biomechanikája



Köszönöm a figyelmet!