Magyar Fogorvos

A Magyar Orvosi Kamara Fogorvosi Tagozatának lapja
XXIX. évfolyam 2020/4.

Békés, boldog karácsonyi ünnepeket
és sikerekben gazdag új esztendőt kívánunk!

Varga József - Ügyvezető igazgató
és a VaLiD Kft. munkatársai

VaLiD

TELJES KÖRŰ PARTNER A FOGÁSZATBAN

Távoktatás

A Magyar Orvosi Kamara Fogorvosi Tagozat távoktatási rendszerében az on-line továbbképzésben meghirdetett közlemények bibliográfiája és a vonatkozó tesztvizsgakérdések a http://www.oftex.hu.hu internetes oldalon olvashatók.

A digitális fogszabályozás – trendek, eljárások és lehetőségek a SARS-CoV-2 pandémia tükrében

Dr. Felkai Tamás, Dr. Rózsa Noémi
Semmelweis Egyetem Fogorvostudományi Kar, Gyermekfogászati és Fogszabályozási Klinika

A XXI. század köztudott és bizonyított módon a mind szélesebb körű digitalizáció száza lesz. Ez a trend már hosszabb idő óta jelen van a fogászatban is. Nem kivétel ez alól a fogszabályozás sem, mely már világszerte jelentős lépéseket tett ebben az irányban. Az egyre jobban hozzáférhető eszközök, anyagok, eljárások és ismeretek szinte kötelezővé teszik a fogszabályzó szakorvosnak is, hogy megismerje a digitalizáció adta lehetőségeket a modern orthodontiában. A SARS-CoV-2 vírus által kiváltott pandémia miatt különös jelentőséget nyert a kezelés digitális távellenőrzése, hiszen ez teszi lehetővé az orvos–páciens személyes kontaktus jelentős csökkentését, a kezelés kontrolljának folyamatos fenntartása mellett.

A digitalizáció áthatja a mai modern világunkat, jelen van életünk számos területén. A páciensek a média jóvoltából informálódnak a digitalizáció lehetőségeiről, és joggal szeretnék fogszabályzó kezelésüket a XXI. századnak megfelelő módszerekkel, precízebben és gyorsabban elvégeztetni. Erre már van is lehetőség, mivel folyamatosan bővül a digitalizáción alapuló orthodontiai eljárások köre. Az alábbiakban egy rövid összefoglalást mutatunk be a digitális fogszabályozás fejlődéséről és jelenlegi elérhetőségeiről.

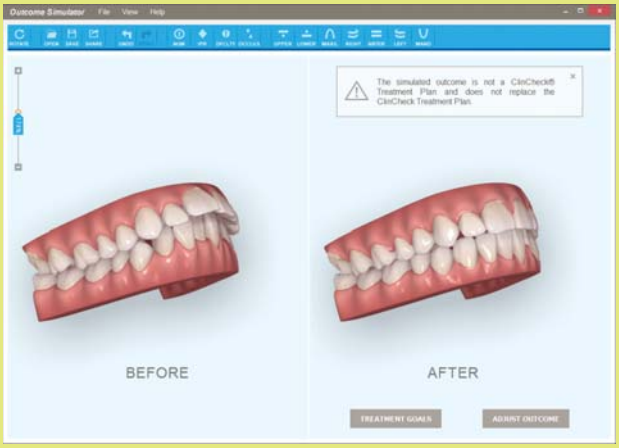
A digitalizálás fogalma és relevanciája a fogszabályozásban

A „digit”, mint önálló fogalom nem egyértelműen definiált. Eredetileg angol kifejezés, a mérés egységére vonatkozik. Ennek alapján a digitalizálás egy felület vagy folyamat azonos mértékű egységekre való bontását jelenti. Alapvető követelmény a fogászati digitalizálásban a megbízhatóság a leképezésben és a gyártási folyamatban. Az orthodontiai digitalizációban ezenkívül kiemelt fontosságú a megbízhatóság a szimulációban és a kezeléstervezésben. A két diszciplína

között különbséget jelent, hogy a fogászati digitalizálás *statikus*, egy felületet képez le, a fogszabályozásban viszont *dinamikus*, mivel a felületen kívül egy folyamatot is modellez. Megbízható digitális szimuláció nélkül a fogszabályozó kezelések a várható eredmény tekintetében csak feltételezetten valid klinikai tapasztalatokra és térbeli képzelőtehetségre hagyatkozhatnak.
További különbség a digitalizálás megbízhatóságának fontosságában a fogászat és a fogszabályozás között, hogy az esetleges hibák az orthodontiában csak hónapok vagy évek múlva látszanak. Ezek nehezen javíthatók, és adott esetben a kezelési folyamat már nem ismételhető.

Computer Aided Diagnosis/Design – CAD

A CAD kifejezésnek a fogászatban és a fogszabályozásban is kettős jelentése van. Egyfelől a *számítógépes támogatású diagnosztikát jelenti*. Manapság széleskörű elismertségnek örvendenek a digitalizált képalkotó eljárások. A digitális röntgenkészülékeken kívül már szinte a rutineljáráshoz tartozik a CBCT (Cone Beam Computer Tomography) is, melynek segítségével valós, háromdimenziós képet kaphatunk a vizsgált területről. Ez utóbbi haszna a fogszabályozásban vitathatatlan. A kefalometria területén jelenleg kutatások folynak arra nézve, hogy milyen mértékben és értékben, illetve milyen kiegészítésekkel alkalmazhatóak a klasszikus, kétdimenziós elemzések a háromdimenziós adatokra. A képalkotási lehetőségek jóval előrébb járnak, mint azok felhasználási területe.[1] A digitális fotográfia lehetőségei az élet más területeiről már közismertek. A megfelelő szoftverek és eljárások segítségével a diagnosztikához szükséges arcfotók egybeolvaszthatók a 3D-s röntgenfelvételekkel. Ez az arcesztétika jobb megítélését segíti.[2]
Az utóbbi években fokozatosan teret nyer a fogívek intraorális leképezését szolgáló szkennelés, mely mára már elérte a precíziós lenyomatok pontosságát,[3] és több országban hivatalosan is elfogadott, mint a hagyományos gipszminták alternatívája. Előnye – a pontosságon kívül –, hogy maga az adat online továbbítható, és a későbbi gyártási folyamathoz, konzultációkhoz felhasználható, ezenkívül nagymértékben leegyszerűsíti az archiválást is.
A CAD kifejezés másik értelmezése a *számítógépes támogatású design*. Ez jelenti egyfelől a kezelési eredmény modellezését (eredmény, outcome szimuláció), másfelől a kezeléshez szolgáló készülék tervezését. Az első háromdimenziós módon mutatja meg a várható végeredményt, a fogívek *(1. ábra)* és az arc egészének tekintetében. Ez lehetővé teszi alternatív kezelési tervek elkészítését, az optimális kezelés kiválasztását. Másfelől megtervezhető



1. ábra: Outcome Simulation (iTero)

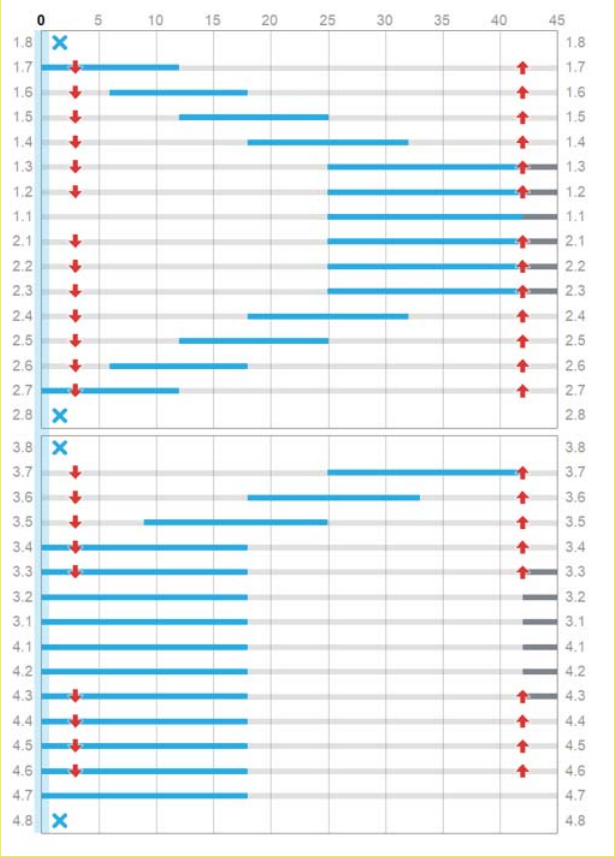
2. ábra: Digitális ragasztási sablon (Pro-Dent2000 Bt.)

3. ábra: Memotain retainer (CA Digital)

a kezeléshez szükséges készülék is. Ezt az eljárást alkalmazzák például a rögzített készülékes kezelések területén az indirekt ragasztási eljárás sablonjának elkészítéséhez *(2. ábra)*, vagy a nikkel-titán lemezből kifrézelt ragasztott retainerek legyártásához *(3. ábra)*.

Computer Aided Manufacturing – CAM

A CAM kifejezés a digitálisan megtervezett készülék *számítógépes támogatású legyártását* jelenti. Ez az iparban már régóta ismert folyamat, a fogszabályozásban először csak a tanulmányi és munkamodellek elkészítésében használták. A korábban alkalmazott eljárás az úgynevezett sztereolitográfia volt, melynek során folyékony műgyantából formázta ki a komputervezérlésű lézersugár a kívánt formát. A nagypontosságú modellekre a kívánt készülék is elkészíthető volt. Ezt az eljárást alkalmazta korábban az Align Technology Inc. is az Invisalign® sínek elkészí-



4. ábra: Invisalign kezelés lépéseinek folyamatábrája

5. ábra: TheraMon® készülék (TheraMon)

téséhez. A módszer hátránya a nagy – bár újrahasznosítható – anyagfelhasználás volt. A mai, modernebb eljárás a háromdimenziós (3D) nyomtatás.[4] A 3D nyomtatók az elmúlt öt évben hatalmas fejlődésen mentek át, jelenleg elérhetők különféle műanyagot, akár fémet is nyomtató, nagykapacitású laborkészülékek, de kaphatók az egyéni rendelők követelményeit is kielégítő reális árú asztali nyomtatók is.

Computer Aided Treatment – CAT

A Computer Aided Treatment (CAT) mozaikszó a fogászaton belül leginkább a fogszabályozásban használatos, itt a *számítógépes támogatású kezelésterezést* jelenti, azaz már nem egy statikus tárgy vagy eredmény, hanem egy dinamikus folyamat egyes lépéseken keresztül történő szimulálását. Ez a lehetőség – a várható eredmény nagy megvalósulási valószínűségével – egyelőre főleg a sínes terápiák területén használható. Ennek oka, hogy a rögzített készülékes kezelések során, bár a biomechanikai háttér tisztázott, a fogmozgatások analóg módon, tehát egységekre nem oszthatóan következnek be. A sínes kezelések (alignerek) modellálása magát a folyamatot digitalizálja, és a kezelés is ezeken a lépéseken keresztül zajlik. Mivel az egyes kezelési lépések csak egy jól körülhatárolt fogmozgatást végeznek el, ezek a kisebb mozgatások jól prognosztizálhatók. Ebből következik, hogy a kezelési végeredmény egésze is előrelátható, és validitása lehetővé teszi például a későbbi protetikai munkák pontos tervezhetőségét. A végeredmény szempontjából lényegtelen a fogmozgatások nagysága és komplexitása.

Az egyik legfejlettebb kezelésszimuláló program az Align Technology Inc. által kifejlesztett ClinCheck® kezelésterező. Ez a szoftver szakaszokra (stages) bontja a kezelés folyamatát, és minden lépéshez hozzárendel egy sínt, amely csak egy adott mozgatást végez el *(4. ábra)*. A legújabb ClinCheck® Pro verzió továbbfejlesztett algoritmusai segítségével képes a biomechanika szabályainak megfelelő fogmozgatásokhoz szükséges felépítmények (attachment) tervezésére, ezen felül tizedmilliméteres pontossággal kiszámolja s szükséges helyteremtés pozícióját, idejét és mértékét. A szoftver interaktív, tehát lehetővé teszi a kezelőorvos beavatkozását a kezelés kimenetelébe. A rendelkezésre álló eszközök (tools) segítségével a tér mindhárom irányában végezhető fog-, illetve fogcsoport mozgatás.[5] Ez egyfajta „*reverse engineering*”,[6] melynek során a virtuálisan elkészült digitális „termék” elemezhető és javítható annak legyártását megelőzően. A többféle kezelési lehetőségből kiválasztható az adott páciens számára optimális variáció, amely végül CAM eljárással készül el.

In-office Monitoring – Kezeléskövetés

A digitalizálás megváltoztatta a kezelés követésének lehetőségeit is. Főleg a kivehető készülékes kezelések terén – a fogszabályzók hordásának időtartama régi vita tárgya. Gyakran sem a páciens, sem a szülők nem tudják behatárolni a készülék hordási idejét, így annak effektivitása számunkra kérdésessé válik. Ennek megoldását jelentheti a TheraMon® cég *kezeléskövető* eszköze *(5. ábra)*.

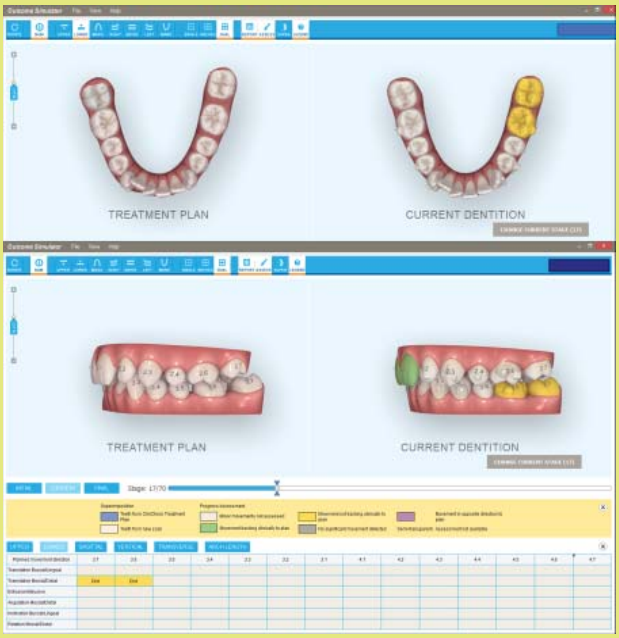
A Near Field Communication (NFC) *közeli mezős kommunikáció* kapcsolatra épülő készülék minden kontroll alkalmával kiolvassa a fogszabályozóba épített mikrochipet, melynek finoman kalibrált hőmérséklet-változása percnyi pontossággal kimutatja a hordási időt.[7] Saját megfigyelések szerint, ha az ifjú páciensek konfrontálódnak az általuk megfelelőnek hitt hordási idő elégtelen voltával, az nagymértékben fokozza a további együttműködési készséget.

Más megközelítést képvisel az iTero® (Align Technology) intraorális szkenner által biztosított compliance ellenőrzés lehetősége. A készülék az Outcome Simulator® szoftver segítségével már a kezdeti szkennelést követően, felépít egy „látványtervet", egy várható kezelés-kimeneti képet. Ez már önmagában is erős motivációt jelent a kezelés paramétereinek elfogadására és betartására. Egy másik, a szkenner által kínált lehetőség, a Progress Assessment®. Ez módot ad a kontrollok alkalmával elvégzett szkennelések összehasonlítására az adott fázisban várt képpel. Vizuálisan és táblázatos formában is megjeleníti az esetleges eltéréseket, pontos felvilágosítást adva a kezelőorvosnak arról, hogy a kezelés folyamatában hol található probléma *(6. ábra)*.

Remote Monitoring – Távfelügyelet

Az Állami Egészségügyi Ellátó Központ (ÁEEK) Egészségügyi Fogalomtára a „telemedicina" fogalmát egy olyan egészségügyi szolgáltatásként határozza meg, amelynek során az ellátásban részesülő és az ellátó személy közvetlenül nem találkozik, a kapcsolat valamilyen távoli adatátviteli rendszeren keresztül jön létre.[8] Az ez iránti igény nem újkeletű, eredetileg a szükség hozta létre, de a modern életstílus, a fokozott mobilitás[9] és a permanens elérhetőség megváltoztatta a páciensek igényeit és lehetőségeit. A mai elvárás a ritkább kontroll, ami az alkalmazott technika megbízhatóságát és a kezelés folyamatos, valid követhetőségét követeli meg. A SARS-CoV-2 vírus által kiváltott pandémia aktualizálta a szükségességet, mivel a páciensek, az orvosok és az egészségügyi személyzet védelmének érdekében kiemelt fontosságúvá vált az elkerülhető, személyes találkozások számának csökkentése a kezelés kontrollja nak fenntartása mellett. A sínes technikák általában jobban megfelelnek ezeknek a követelményeknek, nagyobb szabadságot és mozgásteret engedve a pácienseknek. Elérhetővé és megvalósíthatóvá válik egy kezelés, még akkor is, ha a páciens gyakran, illetve hosszabb ideig van távol a kezelőorvostól. Ez kétségkívül előnyös a páciens számára, de kihívás elé állítja a kezelőorvost, aki ellenőrzés alatt szeretné tartani a kezelés folyamatát.

Ebben nyújt segítséget a *Dental Monitoring* cég szolgáltatása, ami tulajdonképpen a páciens távkontrollja a saját – manapság mindig kéznél lévő – okostelefonjával készített képek segítségével *(7. ábra)*. Az online elküldött képeket a cég szakemberei és a mesterséges intelligencia (AI – Artificial Intelligence) által támogatott szoftverek fogadják, információt kapnak a szájhigiéné, valamint a készülék állapotáról, az adott kezelési cél eléréséről. A mellékelt scanbox segítségével a szoftver



6. ábra: iTero® Progress Assessment (iTero)

7. ábra: kezeléskövető scanner (Dental Monitoring)

8. ábra: SmileMate (Dental Monitoring)

0,07–0,09 mm-es pontossággal képezi le a küldött információt, és a többféle beállítás segítségével háromdimenziós képet állít össze. Ezt összevetve az adott kezelési fázis célkitűzéseivel, értesíti a pácienst és a kezelőorvost. Utóbbi engedélyezheti vagy leállíthatja a továbblépést. Ez az eljárás csökkenti az in-office kontrollok számát, lehetővé teszi a korrekciók időzítését és tervezését, ellenőrzi a stabilitást, de egyben lehetőséget nyújt a cég hatalmas képi adatbázisát felhasználva egyéb fogászati leletek (szájhigiéné, kezdődő kariesz stb.) felismerésére, illetve tudományos vizsgálatok elvégzésére is.

További segítséget nyújt a cég *SmileMate* elnevezésű szolgáltatása, mely a páciens részéről – a saját mobiltelefonjától eltekintve – semmilyen egyéb eszközt nem igényel. Ez az applikáció lehetővé teszi az orvos-páciens első, virtuális – azaz online – konzultációját. A páciens által beküldött intraorális felvételeket az említett szoftver elemzi, és a talált, feltételezett eltérések kiemelésével az orvoshoz továbbítja. Az orvos kielemzi a felvételeket és emailben értesíti a pácienst az észlelt eltérésekről, a kezelés szükségességéről és a kezelési lehetőségekről. *(8. ábra).*

Computer Aided Device Transformation – CAD-T: A jövő

A filmiparból is ismert *„cinematic rendering”* eddig soha nem látott minőségű betekintést enged az élő szervezetekbe,[10] a nanotechnológia és a négydimenziós (4D) nyomtatás pedig új anyagokat és lehetőségeket teremt. Ez szükségessé teszi a *Computer Aided Device Transformation (CAD-T)* bevezetését, ami az önmagukat a célhoz alkalmazkodva megváltoztató készülékek tervezését hivatott definiálni.

A 4D nyomtatás (bioprinting) egy digitális folyamat, mely a 3D nyomtatványhoz hozzákapcsolja a 4. dimenziót, az időbeli változást.[11] Ezáltal a kinyomtatott tárgy formája nem marad állandó, hanem egy időskálán változik. A modifikáció kiváltója lehet termikus, mechanikai, kinetikai, kémiai vagy elektromágneses inger. A folyamatot hasonlóan képzelhetjük el, mint ahogy egy nikkeltitán (NiTi) ív a közölt hő hatására megváltoztatja a formáját. Ebben az esetben egy egylépéses folyamatról van szó, melyben az anyag kristályszerkezete változik meg. A 4D nyomtatással ezek a változások dinamikussá és tervezhetővé válnak. És ahogy a NiTi-ívek forradalmasították a rögzített készülékes kezeléseket, a 4D printing forradalmasíthatja a digitális fogszabályozást.

A tudományos ismeretek mennyisége exponenciálisan növekszik, azaz 10-20 évenként megkétszereződik.[12] Az igazi kihívás ezeknek az ismereteknek a célszerű használata. A természettudományok, az informatika és még sok más tudományág olyan eljárásokat hoznak nyilvánosságra, melyek lehetőséget adnak arra, hogy alapvetően változtassuk meg kezelési módszereinket, de elsősorban gondolkodásunkat. Hogy milyen lesz a XXI. század fogszabályozása, azon múlik, hogy képesek és főleg hajlandók vagyunk-e erre.

Anyagi támogatás: a szerzők a cikk elkészítésével kapcsolatban semmiféle anyagi támogatásban nem részesültek.
Érdekeltség: a szerzőknek nincsenek érdekeltségeik.

Irodalom

1. Balogh E, Horváth J, Németh O, Kivovics P: A látható fény tartományában működő digitális 3D képalkotás ortodonciai felhasználása, az ortodonciai digitális 3D modellek készítésének technikája és eszközei. *Magyar Fogorvos 2018 27;(4):191-195.*
2. Kula K, Ghoneima A: Cephalometry in Orthodontics: 2D and 3D. *Quintessenz Publishing Co., USA, 2018;63-73.*
3. Zimmermann M: Intraorális szkennerrendszerek áttekintése. *Magyar Fogorvos 2017;6-14.*
4. Balogh E, Horváth J, Németh O, Kivovics P: A 3D nyomtatás és hatása a digitális ortodoncia fejlődésére. *Magyar Fogorvos 2019;28(1):32-36.*
5. Felkay T, Rózsa N: Az Invisalign® technológia legújabb fejlesztései és ezek összehasonlítása a különböző sínes fogszabályozó technikákkal. *Magyar Fogorvos 2018;27(1):12-17.*
6. https://searchsoftwarequality.techtarget.com/definition/reverse-engineering.*(2020.05.11.)*
7. Schott T, Göz G: Wearing times of orthodontic devices as measured by the TheraMon® microsensor. *J of Orofac Orthop 2011;72:103-110.*
8. Állami Egészségügyi Ellátó Központ. Egészségügyi Fogalomtár. [Online]. https://fogalomtar.aeek.hu/index.php/Telemedicina. *(2020.05.11.)*
9. Felkai P, Felkai T, Rózsa N: Utazás előtti tanácsadás – fogorvosi szempontból. *Fogorvosi Szemle 2020;113(1):8-11.*
10. Fellner F, Engel K, Kremer CH: Virtual Anatomy: The Dissecting Theatre of the Future - Implementation of Cinematic Rendering in a Large 8 K High-Resolution Projection Environment. *J Biomedical Science and Engineering, 2017;10(8):367-375.*
11. Tibbits S: 4D printing:Multi-Material Shape Change. *Architectural Design 2014;84(1):116-121.*
12. Csermely P, Gergely P, Koltay T, Tóth J: Kutatás és közlés a természettudományokban. *Osiris, Budapest, 1999.1.1.1;4.*