

A női medencefenék biomechanikai vizsgálata hüvelyi taktilis képalkotás módszerrel



Rátonyi Dávid dr.¹, Koroknai Erzsébet dr.¹, Takács Péter dr.²,
Krasznai Zoárd dr.¹, Kozma Bence dr.¹

¹Debreceni Egyetem, Klinikai Központ, Szülészeti és Nőgyógyászati Klinika, Debrecen
(Igazgató: Dr. Krasznai Zoárd, PhD, med. habil., egyetemi docens)

²Division of Female Pelvic Medicine and Reconstructive Surgery, Department of Obstetrics and Gynecology, Eastern Virginia Medical School, Norfolk, VA, USA

A szövetek tapintásos vizsgálata (palpatio) az alapvető orvosi vizsgálatok közé tartozik. Az egészséges és a kóros szövetek elasztikus tulajdonságai eltérnek egymástól. A taktilis képalkotás a lágy szövet felületére helyezett nyomás által kiváltott deformációt, a funkcionális taktilis képalkotás pedig ugyanezt dinamikus módon képes vizsgálni. A hüvelyi taktilis képalkotás a női medencefenék biomechanikai vizsgálatát teszi lehetővé, és elősegítheti olyan betegségek gyorsabb és könnyebb kórismézését, mint például a kismedencei süllyedéses kórképek, stresszinkontinencia, a koraszülés vagy az endometriózis.

Kulcsszavak: hüvelyi taktilis képalkotás, VTI, biomechanikai képalkotás

Biomechanical assessment of the female pelvic floor using vaginal tactile imager

Tissue palpation is one of the basic medical tests. Healthy and abnormal tissues have different elastic properties. Tactile imaging can examine the deformation caused by pressure applied to the surface of soft tissue, while functional tactile imaging can dynamically examine the same. Vaginal tactile imaging allows biomechanical assessment of the female pelvic floor and can facilitate faster and easier diagnosis of diseases such as pelvic floor disorders, stress incontinence, premature birth, or endometriosis.

Keywords: vaginal tactile imaging, VTI, biomechanical imaging

A medencefenék biomechanikai paramétereit vizsgáló eljárások áttekintése

Az orvosi gyakorlat legalapvetőbb vizsgálati módszerei közé tartozik a szövetek tapintása. A kóros szövetek elasztikus tulajdonságai az egészséges szövetekhez képest általában megváltozik. A medicina elmúlt évszázadaiban a gyógyító erőteljesen támaszkodott a saját, szubjektív megítélésén alapuló módszerek használatára, de a XX. századtól kezdve mindinkább igény mutatkozott az objektív mérőszámokat produkáló eljárások bevezetésére. A szövetek elaszticitásának objektív módszerekkel való vizsgálatát elsőként az 1990-es években Ophir és munkatársai írták le. Módszerük, az ultrahang-elasztográfia (UHE), a Hooke-törvényen alapszik, amely kimondja, hogy egy rugalmas test alakváltozása arányos azzal az erővel, amely az alakváltozást okozza [1].

A medencefenék izomzatának és kötőszövetes tartórendszerének biomechanikai paramétereinek vizsgálatában

nagy szerephez juthat az UHE. A kismedencei süllyedéses kórképek kialakulásához a medencefenéki izomzat sérülése, elváltozása egyértelműen hozzájárul. Háromdimenziós tomografikus ultrahangvizsgálattal bizonyítható, hogy a levator ani sérülése növeli a süllyedéssel járó kismedencei kórképek előfordulását, illetve súlyosságát [2]. Ezen felül az UHE az egyértelmű izomsérülés mellett a funkcióvesztéssel járó állapotok, mint a hegképződés vagy hipokontraktilitás diagnosztizálására is alkalmas eljárás [3]. A levator ani elaszticitásának csökkenése, bárminemű izomsérülés nélkül is rizikófaktora a kismedencei süllyedéses kórképeknek [4]. Pákozdy és munkatársai közleményükben első alkalommal számoltak be ultrahang-elasztográfiával Magyarországon végzett nőgyógyászati klinikai vizsgálatról, elsőként írva az irodalomban is a hüvelyfal strain elasztográfias vizsgálatáról. Kutatásukban az UHE, mint a hüvelyfali atrófia kimutatására alkalmas új módszer jelenik meg: az atrófiás hüvelyfal szignifikánsan rigidebb, míg a nem-atrófiás hüvelyfal jobb

Érkezett: 2023. július 11. Közlésre elfogadva: 2023. szeptember 7. Received: 11 July 2023. Accepted: 7 September 2023

Levelezési cím: Dr. Rátonyi Dávid, Debreceni Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Szülészeti és Nőgyógyászati Intézet 4033 Debrecen, Nagyerdei krt. 98. E-mail: ratonyi.david@med.unideb.hu

elaszticitású [5]. Összességében elmondható, hogy az UHE egy értékes vizsgálóeljárás, amely hozzásegítheti a vizsgáló orvost, hogy a kismedencei süllyedéses kórképek funkcióvesztéssel járó állapotainak feltárására is képes legyen.

A mágnesesrezonancia-képalkotás (MRI) módszerének fejlődése lehetővé tette, hogy az MRI szerepet kapjon a női kismedencei szervi, illetve medencefenéki rendellenességek jellemzésében. A cine-MRI-vizsgálat alatt néhány másodperces időközzel történik a képek rögzítése, így a méh tartós kontrakciós állapotát [6], illetve a medencefenék izomzatának különböző eltéréseit is vizsgálhatjuk [7]. A női kismedence funkcionális MRI-vizsgálatát elsősorban a kutatásban használják, a mindennapi klinikai gyakorlatban használata limitált [8]. Felhasználásában akadályt jelent a megfelelő képzés hiánya, a vizsgálat bonyolultsága és magas költsége.

A taktilis képalkotás, a biomechanikai képalkotás egy ága, amely az elasztográfiai technikákhoz hasonlóan szövetek rugalmasságát vizsgálja. Ugyanakkor a taktilis képalkotás leginkább a felszínen történő „tapintást” hivatott képszerűen megjeleníteni, amely képi megjelenítésből objektív számszerű adatok exportálhatóak. A vizsgálat alatt a vizsgálófej az emberi ujjhoz hasonlóan összenyomja a lágy szöveteket, majd a vizsgálófejen elhelyezkedő nyomá szenzorok detektálják a szövetek nyomásból adódó változásait. A vizsgálat során a szöveti felszín több pontjáról is adatokat nyerünk a vizsgálófej mozgatásával, ezek kiértékelése során egy 2D vagy 3D nyomáseloszlási térképet kapunk a vizsgált felszínről, illetve a szövetek mélyebb rétegéről is [9].

Biomechanikai képalkotás

A biomechanikai térképezés a biológiai rendszerek, így az emberi test mechanikai tulajdonságainak és működésének különböző technikákkal és módszerekkel való objektív értékelése és számszerűsítése. Tehát a biomechanikai térképezés során az élő szervezeteket alkotó struktúrák, többek között a csontokra, izmokra, ízületekre, inakra, szalagokra és kötőszövetekre gyakorolt erők, a mozgatás és terhelés kölcsönhatását vizsgáljuk. A mechanikai tulajdonságok vizsgálatával részletesebben megérthetjük a szövetek és az emberi szervezet működését és a változó körülményekre adott válaszreakcióját [10–12].

A taktilis képalkotás egy olyan orvosi képalkotási mód, amely a tapintás érzékelését digitális képpé alakítja. A tapintási kép a $p(x, y, z)$ függvénye, ahol p a lágyszövet felületére alkalmazott nyomás, amely deformálja a szövetet, x , y és z pedig a p mérési koordinátái. A tapintási képalkotás során egy olyan a szöveti deformáció által meghatározott digitális kép jön létre, amely az adott szövet nyomáseloszlási térképét adja meg, így információt kapunk a szövetek rugalmasságáról, anatómiai viszonyokról, a hüvelytágasságról, illetve a medencefenék alátámasztó funkciója is vizsgálhatóvá válik [13].

A funkcionális tapintási képalkotás az izomaktivitást dinamikus nyomásmintázatként $p(x, y, t)$ vizsgálja egy adott területen, ahol t az idő, x , y pedig azok a koordináták, ahol a p nyomást mértük. Ez az alábbiakat foglalhatja magába:

1. az izom akaratlagos összehúzódása,
2. akaratlan reflexes összehúzódás,
3. akaratlan relaxáció és
4. specifikus manőverek.

Ezáltal meghatározhatjuk a medencefenéki izmok kontrakciós erejét, strukturális mobilitását, izmok relaxációs képességét [9].

Biomechanikai térképezés = Taktilis képalkotás + funkcionális taktilis képalkotás [14]

Hüvelyi taktilis képalkotás

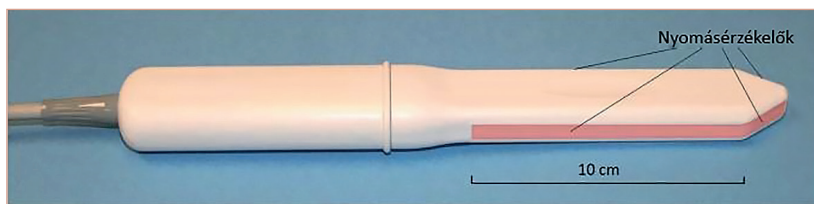
A hüvelyi taktilis képalkotó eszköz (VTI – vaginal tactile imager) segítségével nagy felbontású nyomáseloszlás-térképet készíthetünk a hüvelyi viszonyokról, illetve a medencefenéki izomzat erejét és funkcionalitását is vizsgálhatjuk, mindezt valós időben (1. ábra). A VTI célja, hogy segítse a diagnózis felállítását és a vizsgált kórkép értékelését, jellemzését [15]. Fontos megjegyezni, hogy a VTI nem diagnosztikai eszköz; nem konkrét betegség diagnosztizálására szolgál. A VTI az UH-készülékekhez hasonlóan egy képalkotó eszköz. Az értékelést a klinikusnak kell megtennie a megfelelő ismeretek birtokában.

A VTI két fő részből áll, egy hüvelyi szondából és egy számítógépből, amely az adatokat gyűjti és feldolgozza. A hüvelyi szonda 96 nyomásérzékelővel rendelkezik, ezen kívül pozícióérzékelőt, hőmérsékletérzékelőt, mikrofűtő-elemeket és 3D gyorsulásmérőt tartalmaz (2. ábra). A nyomásérzékelők a vizsgálat során az adatokat



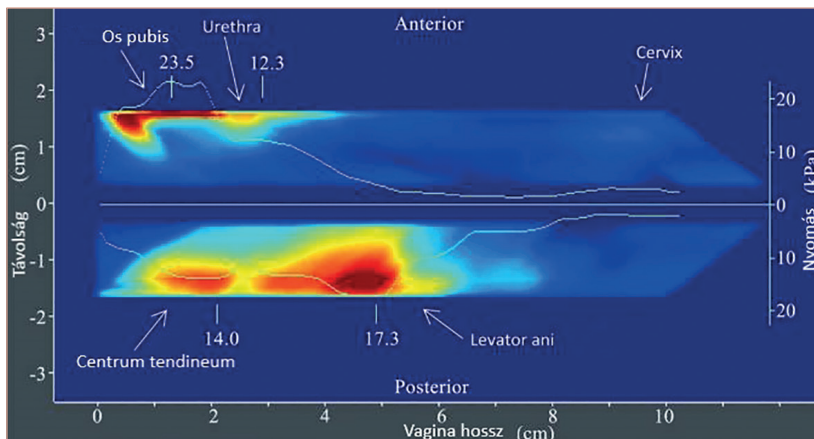
1. ábra: Hüvelyi taktilis képalkotó eszköz. Részei: vizsgálófej, számítógép, monitor

Forrás: <https://www.tactile-imaging.com/product>



2. ábra: Hüvelyi vizsgálófej, az ábra jelölt részén helyezkednek el a nyomás-érzékelő szenzorok

Forrás: Egorov V, Shobeiri SA, Takacs P, Hoyte L, Lucente V, Raalte Hv. Biomechanical Mapping of the Female Pelvic Floor: Prolapse versus Normal Conditions. Open Journal of Obstetrics and Gynecology 2018 August 22; 8(10): 900–24.



3. ábra: VTI-vizsgálat során kapott kép a vizsgálófej behelyezésekor (1. próba). Nyilak a különböző anatómiai tájékozási pontokat mutatják. A grafikon zölddel a maximális nyomást mutatja (kPa)

Forrás: Egorov V, Shobeiri SA, Takacs P, Hoyte L, Lucente V, Raalte Hv. Biomechanical Mapping of the Female Pelvic Floor: Prolapse versus Normal Conditions. Open Journal of Obstetrics and Gynecology 2018 August 22; 8(10): 900–24.

25 képkocka/másodperc sebességgel szolgáltatják. A 3D gyorsulásmérő a szonda forgási és emelkedési szögének mérésére szolgál, így a szonda elhelyezkedése nyomon követhető a hüvelyen belül. A hőmérsékletszabályozórendszer a vizsgálat megkezdése előtt 36 °C-ra előmelegíti a szonda testét, amely egyrészt növeli a tapintásérzékelők pontosságát, másrészt a beteg számára komfortosabb érzetet biztosít. A mintavételezés során a számítógép által feldolgozott adatok valós időben jelennek meg a monitoron [16].

A VTI vizsgálati protokoll nyolc lépésből áll:

1. szonda behelyezése,
2. a szonda emelése,
3. a szonda forgatása,
4. Valsalva-manőver,
5. akaratlagos izomösszehúzóds vizsgálata,
6. akaratlagos izomösszehúzóds vizsgálata függőleges és vízszintes szonda pozícióval,
7. akaratlan relaxáció és
8. reflexes izomösszehúzóds vizsgálata (köhögés) (3. ábra).

Az 1. és 3. vizsgálat adatokat szolgáltat a hüvelyszövet rugalmasságának értékeléséhez, a 2. vizsgálat paramétereit szolgáltat a kismedencei alátámasztás szilárdságának jellemzésére. A 4–8. vizsgálat a dinamikus nyomásmintákat biztosítja a funkcionális jellemzéshez. Az összes vizsgálat elvégzése 3-5 percet vesz igénybe [17].

A VTI-vizsgálat során 52 különböző paraméter keletkezik, amelyet a rutin klinikai gyakorlat során nehéz értelmezni, így szükségessé vált a vizsgálat adatait egyetlen egy paraméterben kifejezni. Az előzőekben említett ok miatt vezették be a biomechanikai integritási pontszámot (BI-biomechanical integrity score), amely kifejezi az egyén egészséges populáció átlagától való eltérését a páciens életkorához viszonyítva, hasonlóan a csontdenzitometriában használt T-pontszámhoz [18]. A VTI-vizsgálat során keletkezett adatok 5 különböző csoportba sorolhatók:

1. szöveti rugalmasság,
2. medencefenék alátámasztó funkciója,
3. kismedencei izmok kontrakciója,
4. izomrelaxáció és
5. kismedencei izmok mobilitása, amelyet végső soron a BI-pontszám egy értékben fejez ki (4–5. ábra).

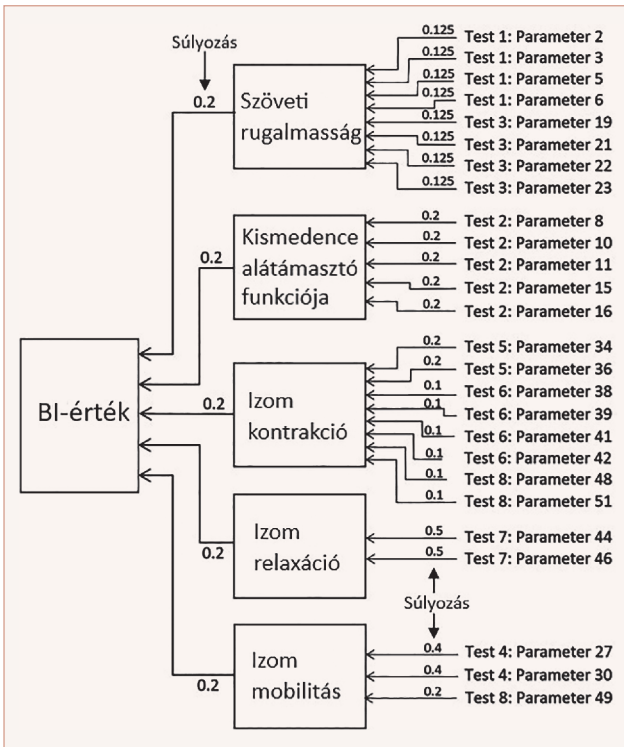
A BI-pontszám jelenleg a sülyedéss kismedencei kórképek jellemzésére használható a leginkább.

Ezzel kapcsolatban jövőbeli vizsgálatok tárgyat képezheti: BI-pontszám, mint a kórállapotok létrejöttének és lefolyásának, illetve a kezelések eredményességének prediktora. Ezentúl a BI-pontszám alapján specifikus kezelési javaslatok és a legeredményesebb terápia kiválasztása [17].

A hüvelyi taktilis képkalkotás klinikai felhasználása

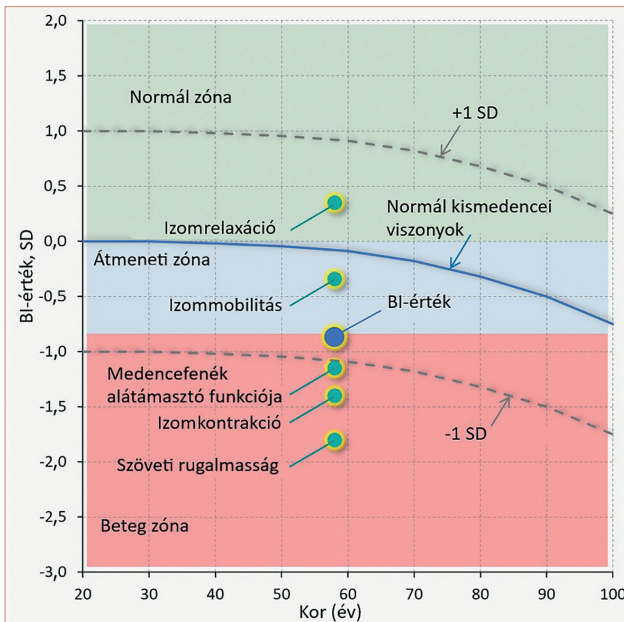
A VTI egyedülálló módon képes a női kismedencei izomműködés, a támasztóerő és a szöveti rugalmasság számszerűsítésére. Meghatározhatóvá teszi a medencefenéki kórállapotok kiváltó tényezőit. Tanulmányok kimutatták, hogy a VTI segítséget jelenthet a kismedencei sülyedéss kórképek diagnosztizálásában, illetve a kórképek kockázati tényezőjének becslésében [19]. A kismedence biomechanikai tulajdonságait érintő kórképek különböző tünetek képében jelenhetnek meg, mint például: diszkomfort és nyomásérzet a hüvelyben, deréktáji fájdalom, kismedencei szervek prolapsusa, amely erő kifejtésre súlyosbodhat. Az előbb említett panaszok vagy azokhoz hasonló tünetek esetén a klinikus által végzett hüvelyi biomechanikai térképezés segíthet a kismedencei defektusok pontos meghatározásában, illetve ezen információk birtokában az optimális kezelési mód kiválasztásában. A kismedencei sülyedéss kórképek mellett a stressz-inkontinencia, szöveti atrófia és más a kismedencei izmok, szövetek rendellenességével társuló kórképek monitorozásában nagy segítséget jelenthet a VTI használata [17].

Egorov és munkatársai által végzett tanulmányban a női kismedence biomechanikai tulajdonságait hasonlították össze



4. ábra: A VTI-vizsgálat során keletkezett adatok 5 különböző csoportba sorolhatók, amelyek a BI-pontszám meghatározásában vesznek részt: 1. szöveti rugalmasság, 2. medencefenék alátámasztó funkciója, 3. kismedencei izom kontrakciója, 4. izomrelaxáció és 5. kismedencei izmok mobilitása

Forrás: Egorov V, van Raalte H, Takacs P, Shobeiri SA, Lucente V, Hoyte L. Biomechanical integrity score of the female pelvic floor. Int Urogynecol J 2022 06; 33(6): 1617–3.



5. ábra: Egy 58 éves 2. stádiumú mellső fal prolapsusban szenvedő nőbeteg vizsgálati eredménye BI-pontszámmal és az azt alkotó 5 komponens feltüntetésével

Forrás: Egorov V, van Raalte H, Takacs P, Shobeiri SA, Lucente V, Hoyte L. Biomechanical integrity score of the female pelvic floor. Int Urogynecol J 2022 06; 33(6): 1617–31.

sze a kismedencei süllyedéses kórképeket kezelendő sebészeti beavatkozás előtt és után. A vizsgálat eredményei azt mutatták, hogy a sebészeti beavatkozást megelőzően, akiknél kifejezetten gyenge izomerőt és medencefenéki alátámasztó funkciót, illetve csökkent elaszticitást mértek szignifikánsan jobb biomechanikai tulajdonsággal rendelkeztek műtétet követően, mint azok, akiknél nem volt jelen a kifejezett izomgyengeség, csökkent elaszticitás és tartófunkció, mégis süllyedéses panaszai miatt sebészeti beavatkozásra estek át. Tehát a sebészeti beavatkozás előtt elvégzett VTI-vizsgálattal meg tudjuk jósolni, hogy milyen pozitív biomechanikai változások következnek be a műtétet követően. Ezentúl meghatározhatóvá teszi azon páciensek körét, akiknél kifejezett javulást érhetünk el a sebészeti beavatkozással, illetve azon páciensek csoportját, akiknek a sebészeti beavatkozás helyett más terápiás eljárást kell választanunk [20].

Egy másik tanulmány a kismedencei süllyedéses kórképek kezeléseként végzett méheltávolításon átesett betegekre összpontosított. A vizsgálatban résztvevők VTI-vizsgálaton estek át a műtétet megelőzően majd a műtétet követően hat hónappal. A sebészeti beavatkozást követően szignifikánsan javultak a páciensek kismedencei biomechanikai értékei. A javulás hátterében a méheltávolítást követő anatómiai változások miatt bekövetkező átlagos szöveti rugalmasság növekedése állt [21].

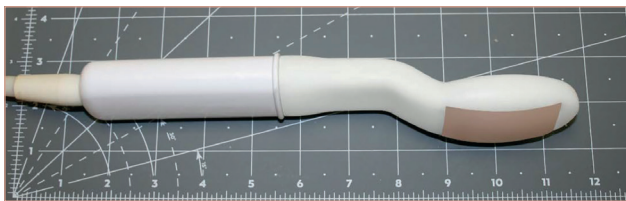
Vizsgálatok tárgyát képezte az előrehaladott méhnyakrákban szenvedő nők kismedencei biomechanikai tulajdonságaiban, anatómiájában és funkciójában bekövetkező változások elemzése sugárterápiát követően. VTI segítségével objektíven vizsgálták a hüvely rugalmasságát, mobilitását, izmok erejét, illetve a sugárkezelést követő változások és a szexuális funkció összefüggéseit. A sugárterápiát követően szignifikánsan csökkent a hüvelyfal rugalmassága és a kismedencei izmok mobilitása, összehúzódási ereje. A lokálisan előrehaladott méhnyakrákban szenvedő, sugárterápiával kezelt nők a kismedence biomechanikai tulajdonságait tekintve tartós negatív irányú változásokon esnek át. Ennek következményeként csökken a szexuális aktivitás és funkció, amely az alapbetegségen felül jelentős mértékű distressz okoz a betegeknek [22].

Egy közelmúltban megjelent hazai vizsgálat során a terheléses inkontinenciában szenvedő nők körében használták eredményesen a VTI-módszert [23].

Hüvelyi taktilis képalkotás lehetőségei a szülészet-nőgyógyászatban

A hüvelyi taktilis képalkotás új dimenziókat nyithat a szülészeti és a nőgyógyászati kórképek patogenezisének megértésében, mindemellett a klinikai gyakorlatban pedig nagy segítséget jelenthet a diagnózis felállításában, a beavatkozások várható kimenetelének előrejelzésében, az optimális kezelés kiválasztásában.

Az előzőekben a VTI kapcsán főleg a nőgyógyászati kórképre fókuszáltunk, ugyanakkora szülészeti ellátásban is szerepet játszhat a hüvelyi taktilis képalkotás. A szülészeti kórképek közül az újszülöttek tekintetében az egyik legnagyobb morbiditással és mortalitással járó állapot a koraszülés.



6. ábra: Szülési sérülések előrejelzésére használható vizsgálófej, felületén 128 nyomásérzékeny szenzorral

Forrás: Brandt JS, Rosen T, Van Raalte H, Kurtenos V, Egorov V. Characterization of Perineum Elasticity and Pubic Bone-Perineal Critical Distance with a Novel Tactile Probe: Results of an Intraobserver Reproducibility Study. *Open J Obstet Gynecol* 2020 Apr; 10(4): 493–503.

Irodalmi adatok alapján, a világon évente mintegy 15 millió újszülött jön a világra a 37. gesztációs hét előtt [24]. A koraszülés egyik rizikótenyezője a méhnyak felpuhulása és rövidülése, amely mögött álló mechanizmus még napjainkban sem teljesen tisztázott. A koraszülés rizikójának felmérését hüvelyi ultrahangvizsgálat során végzett méhnyakhosszvizsgálattal végezzük [25]. Egorov és munkatársai a taktilis képpalkotás és ultrahang kombinálásával új megközelítésbe helyezték a méhnyak-vizsgálat és így a spontán koraszülés rizikójának a felmérését. A készülék a méhnyak hosszának mérésén túl a méhnyak elaszticitásáról is információt nyújt, amely egyértelműen hozzájárul a spontán koraszülés rizikójának megállapításához [26].

Egy másik tanulmányban a taktilis képpalkotás és a szülési sérülések előre jelezhetőségének kapcsolatát vizsgálták. Erre a feladatra egy különleges vizsgálófejet hoztak létre, amely 128 nyomásérzékkelővel rendelkezik és a magzati fej alakjához hasonlít (6. ábra). Habár a szerzők arra a következtetésre jutottak, hogy a vizsgálat során kapott tapintásos képpalkotó adatok reprodukálhatóan jellemezték a gát rugalmasságát és a szeméremcsont-gát kritikus távolságát, még további klinikai vizsgálatok szükségesek, hogy a mindennapi klinikai ellátásban és döntéshozatalban új lehetőséget adjon a vizsgáló orvos kezébe [27].

A taktilis és ultrahangos technikák egy szondában történő egyesítése alapvető jelentőséggel bírhat, mivel ezek a technológiák kiegészítik egymást. Ugyanarról a szövegről anatómiai adatokat és biomechanikai jellemzést is kaphatunk. A jövőben ez a módszer segítséget jelenthet az endometriózis, az adenomiózis, a méh miómás elváltozása és a petefészekrák, valamint az emlőrák kimutatására és jellemzésére [28].

Következtetések

Összességében elmondható, hogy a hüvelyi taktilis képpalkotás igen széles spektrumon nyithat új lehetőségeket a klinikai ellátás szempontjából. A női medencefenék biomechanikai vizsgálata és a kapott eredmények jobb megértése paradigmaváltást okozhat mind a szülészeti és a nőgyógyászati ellátás több területén is.

A szerzőknek nincsenek érdekeltségeik

IRODALOM

- Ophir J, Céspedes I, Ponnekanti H, Yazdi Y, Li X. Elastography: a quantitative method for imaging the elasticity of biological tissues. *Ultrason Imaging* 1991; 04; 13(2): 111–34.
- Kozma B, Larson K, Scott L, Cunningham TD, Abuhamad A, Poka R, et al. Association between pelvic organ prolapse types and levator-urethra gap as measured by 3D transperineal ultrasound. *J Ultrasound Med* 2018;12; 37(12): 2849–54.
- MaBlo K, Möllers M, de Murcia KO, Klockenbusch W, Schmitz R. New Method for Assessment of Levator Avulsion Injury: A Comparative Elastography Study. *J Ultrasound Med* 2019; 38(5): 1301–7.
- Xie M, Zhang X, Liu J, Ding J, Ren Y, Hua K. Evaluation of levator ani with no defect on elastography in women with POP. *Int J Clin Exp Med* 2015 June 15; 8(6): 10204–12.
- Pákozdy K, Sipos AG, Bombicz M, Lampé R, Póka R, Takacs P, Kozma B. Vaginal elasticity is significantly decreased in vaginal atrophy: a strain elastography study. *Menopause* 2020 Dec; 27(12): 1420–1424.
- Nakai A, Togashi K, Yamaoka T, Fujiwara T, Ueda H, Koyama T, et al. Uterine peristalsis shown on cine MR imaging using ultrafast sequence. *J Magn Reson Imaging* 2003;12; 18(6): 726–33.
- Fujiwara T, Togashi K, Yamaoka T, Nakai A, Kido A, Nishio S, et al. Kinematics of the uterus: cine mode MR imaging. *Radiographics* 2004; 24(1): e19.
- Koyama T, Togashi K. Functional MR imaging of the female pelvis. *J Magn Reson Imaging* 2007;06; 25(6): 1101–12.
- Egorov V, van Raalte H, Lucente V, Sarvazyan A. Chapter Sixteen – Biomechanical Characterization of the Pelvic Floor Using Tactile Imaging. In: Hoyte L, Damaser M, editors. *Biomechanics of the Female Pelvic Floor*. Academic Press; 2016. p. 317–48.
- Gallusera F, Cina A, Panico M, Albano D, Messina C. Image-based biomechanical models of the musculoskeletal system. *Eur Radiol Exp* 2020;08.13; 4(1): 49.
- Pflieger I, Stolberg-Stolberg J, Foehr P, Kuntz L, Tübel J, Grosse CU, et al. Full biomechanical mapping of the ovine knee joint to determine creep-recovery, stiffness and thickness variation. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2019;07; 67:1–7.
- Sarvazyan A. Mechanical imaging: a new technology for medical diagnostics. *Int J Med Inform* 1998;04; 49(2): 195–216.
- van Raalte H, Egorov V. Tactile Imaging Markers to Characterize Female Pelvic Floor Conditions. *Open J Obstet Gynecol* 2015 August 1; 5(9): 505–15.
- Egorov V, Shobeiri SA, Takacs P, Hoyte L, Lucente V, Raalte H. Biomechanical Mapping of the Female Pelvic Floor: Prolapse versus Normal Conditions. *Open Journal of Obstetrics and Gynecology* 2018 August 22; 8(10): 900–24.
- FDA Approval K142355, 2015. 05. 28., Vaginal Tactile Imager https://www.accessdata.fda.gov/cdrh_docs/pdf14/K142355.pdf Letöltve: 2023. július 03.
- Egorov V, Lucente V, Shobeiri SA, Takacs P, Hoyte L, van Raalte H. Biomechanical Mapping of the Female Pelvic Floor: Uterine Prolapse Versus Normal Conditions. *EC Gynaecol* 2018 November 1; 7(11): 431–46.
- Sarvazyan N, Francy B, Egorov V. Vaginal tactile imaging: A review. *Pelvipiperineology A Multidisciplinary Pelvic Floor Journal* 2023; 42(1): 28–42.
- Egorov V, van Raalte H, Takacs P, Shobeiri SA, Lucente V, Hoyte L. Biomechanical integrity score of the female pelvic floor. *Int Urogynecol J* 2022 06; 33(6): 1617–31.
- Vincent Lucente, Heather van Raalte, Miles Murphy, Vladimir Egorov. Biomechanical paradigm and interpretation of female pelvic floor conditions before a treatment. *Int J Womens Health* 2017 Aug 3; 5:21–50.
- Egorov V, et al. Predictive Value of Biomechanical Mapping for Pelvic Organ Prolapse Surgery *Urogynecology* 2021; 27(1).
- Lauterbach R, Gruenwald I, Matanes E, Matar K, Weiner Z, Lowenstein L. The impact of vaginal hysterectomy and uterosacral ligament suspension on vaginal elasticity and sexual function. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 2021; 258: 29–32.
- Matanes E, Linder R, Lauterbach R, Mick I, Matanis J, Abdah-Bortnyak R, et al. The impact of radiation therapy on vaginal biomechanical properties. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 2021 Sep; 264: 36–40.
- Takacs P, Pákozdy K, Koroknai E, Erdődi B, Krasznai Z, Kozma B. A randomized controlled pilot trial to assess the effectiveness of a specially formulated food supplement and pelvic floor muscle training in women with stress-predominant urinary incontinence. *BMC Womens Health* 2023 Jun 20; 23(1): 321.
- Chang HH, Larson J, Blencowe H, Spong CY, Howson CP, Cairns-Smith S, et al. Preventing preterm births: analysis of trends and potential reductions with interventions in 39 countries with very high human development index. *Lancet* 2013 Jan 19; 381(9862): 223–34.
- Myers KM, Feltovich H, Mazza E, Vink J, Bajka M, Wapner RJ, et al. The mechanical role of the cervix in pregnancy. *J Biomech* 2015 Jun 25; 48(9): 1511–23.
- Egorov V, Rosen T, van Raalte H, Kurtenos V. Cervical Characterization with Tactile-Ultrasound Probe. *Open J Obstet Gynecol* 2020 Jan; 10(1): 85–99.
- Brandt JS, Rosen T, Van Raalte H, Kurtenos V, Egorov V. Characterization of Perineum Elasticity and Pubic Bone-Perineal Critical Distance with a Novel Tactile Probe: Results of an Intraobserver Reproducibility Study. *Open J Obstet Gynecol* 2020 Apr; 10(4): 493–503.
- Egorov V, van Raalte H, Shobeiri SA. Tactile and Ultrasound Image Fusion for Functional Assessment of the Female Pelvic Floor. *Open J Obstet Gynecol* 2021 Jun; 11(6): 674–88.