

Biomechanika kicsit más szemmel

Történeti áttekintés

A musculoskeletalis rendszer működésével kapcsolatos nézeteink Vesaliustól, az 1500-as években élt anatómustól származnak, aki az izmokat szikével kipreparálható, különálló működési egységekként ábrázolta. Mai napig az izmok működése során az eredés és tapadás egymáshoz való mozgását vesszük alapul, az in vivo körülményeket azonban nehéz modellezni, sokszor különbözhetnek a hagyományos funkcionális anatómiai leírásoktól, hiszen az izom és a vázrendszer többi eleme rendszert, egységet képez, és egymást befolyásolva „együtt mozog”.

A Leonardo da Vinci-féle reneszánsz kori nézet (az izmok egységben való ábrázolása) a 20. században kezdett újra tért hódítani. Valószínűleg ebben a tudomány egyéb területein kialakult nézőpontváltás is közrejátszott: a newtoni fizikát felcserélte a rendszerelvű einsteini fizika. Az 1930-as évektől történtek próbálkozások a vázizmok rendszerben való működésének megértésére (Hoepke és Tittel német anatómusok, Andry Vleeming és Diane Lee).

Tenzegritás (tensegrity)

A vázizomrendszer in vivo működésének megértését az építészetből átvett tenzegritás fogalma segítheti. A tenzegritás szó Richard Buckminster Fullertől ered (a fullerének őrzik nevét) –, amelyet a tenzió (tension) és integritás (integrity) szavak összeolvasztásával alkotott meg. A „tenzegritási” modellekre (tensegrity model) jellemző, hogy rugalmas (pl. gumikötél) és rugalmatlan (pl. fémrúd) elemekből épülnek fel, és a létrejött szerkezet igen nagy stabilitást (kompresszió) és mobilitást (tenzió) biztosít széles adaptációs spektrum mellett. Ha külső erő éri az ilyen szerkezeteket, az erő nem egy pontban összpontosul, hanem egyenletesen oszlik el az egész rendszeren (az erő deformálja), megakadályozva a károsodását, túl nagy erő viszont a szerkezet töréséhez vezet, de

nem feltétlenül az erő hatáspontjában, hanem sokszor távol tőle.

Az emberi szervezetre is jellemző a tenzegritás: leegyszerűsítve a rugalmatlan (kompressziós) elemeket képviselik a csontok, a rugalmasakat (tenziós) az izmok, kötőszöveti elemek (fasciák, myofasciák, inak, ligamentumok stb.).



1. ábra. Vesalius anatómiai rajza

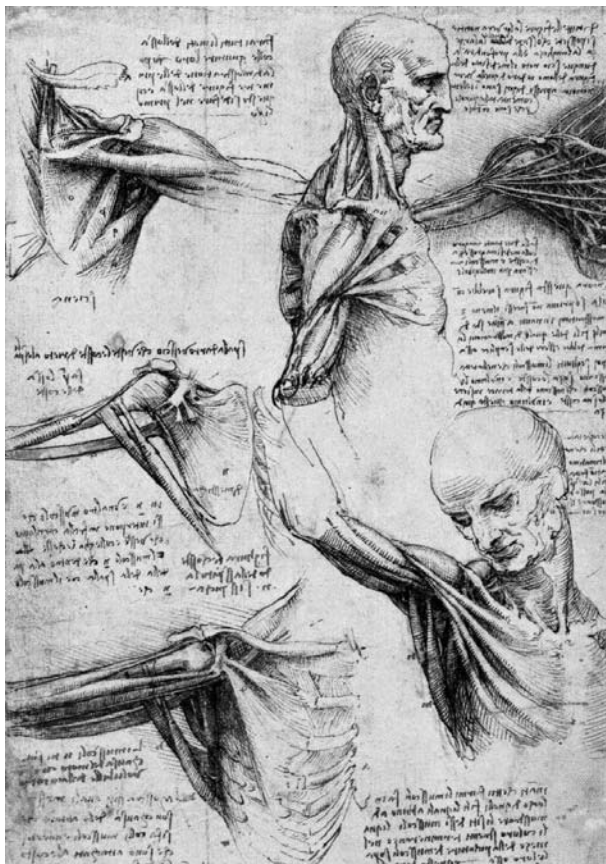
Myofibroblastok

A következő kérdés, hogyan képes a tenzegritást mutató emberi szervezet rugalmas, tenziós rendszere alkalmazkodni a különböző erőhatásokhoz nagy adaptációs képességgel. Ebben játszanak szerepet a myofibroblastok (1), melyek a fibroblastok és simaizomsejtek között helyezkednek el félúton, és nagy mennyiségű kontraktilis elemet (aktin) és az extracelluláris

mátrix felé számos kapcsolódási pontot tartalmaznak. Megtalálhatók a fasciákban (fascia lata, plantaris fascia stb.), a ligamentumokban, az inakban. Sűrűségük a fizikai aktivitás szerint változik. Összehúzódásuk nem hagyományos neuronális kapcsolaton keresztül valósul meg, hanem mechanikai feszülés, citokinek, hisztamin, nitrogén-monoxid, alacsony pH váltja ki. Az acetyl-kolin, noradrenalin nem befolyásolja kontrakciós képességüket. A myofibroblastok lassan húzódnak össze (20–30 perc), magukkal vonva az extracelluláris mátrixot (kollagén) – fiziológiásan órák múlva oldódik ez az állapot. Differenciálódásukban a hosszú távú mechanikai stressznek van jelentősége. Szerepük feltételezett a krónikus kontrakcióval társuló reumatológiai kórképekben, mint a Dupuytren-contractura, adhaesiv capsulitis.

A myofibroblastok és az extracelluláris mátrix egyéb elemei által meghatározott rendszer lehetővé teszi, hogy a szervezet hosszú távon felkészülhessen a nagyobb terhelésre, továbbá azt, hogy a terhelés egyik kötőszöveti elemről (fasciáról fasciára, ligamentumról izomra) átterjedhessen a szervezet más, távolabbi pontjára

2. ábra. Leonardo da Vinci anatómiai rajza



anélkül, hogy adott pontban fokozott erő érvényesülne. Patológias körülmények között e rendszer működése károsodik, a kötőszöveti elemek fokozott feszülése fájdalmat, mozgáskorlátozottságot okoz.

Microvacuolaris elmélet

Az anatómiai cadaverpreparátumok alapján a bőr, a kötőszöveti képletek és az izmok külön mozognak, minden elem jól körülhatárolható; az inak pl. az ínhüvelyben csúsznak, időnként egy-egy bursa könnyíti a mozgást. Az in vivo kép azonban mást mutat. A kézsebész Guimberteau speciális kamerával figyelte meg a carpalis alagutat mikrosebészeti műtét közben. Feltételezése szerint a musculoskeletalis rendszer kontinuumot képez a speciális microvacuolaris rendszer révén (2): a poligon alakú microvacuolumok hárttyás falát kollagén alkotja, benne proteoglikánok találhatóak, és az inak, izmok, csontok közti virtuális teret töltik ki, hálózják be – valójában a mozgás a microvacuolumok egymáson való elcsúszása révén jöhet létre. A microvacuolaris rendszer képezheti a mikroanatómiai alapját annak, hogy a musculoskeletalis rendszer egységet alkosson, és a tenzegritás tulajdonságait mutassa (a külső erők elosztása az egész rendszeren, hisz a microvacuolaris rendszer összekapcsolja a vázizomrendszert).

Anatómiai csatlakozások (anatomy trains)

Thomas W. Myers és munkatársai klinikai tapasztalatai és anatómiai boncolásai vezettek az „anatómiai csatlakozások” kidolgozásához (3). Elmélete szerint az izmok és kötőszöveti elemek meghatározott szabályok szerint egységes rendszerbe kapcsolódnak a szervezetben, melyek finom odafigyeléssel egységben kipreparálhatók cadaveren. Myers 12 főbb anatómiai csatlakozást különít el (superficialis elülső és hátulsó anatómiai csatlakozás, spirál anatómiai csatlakozás stb.). Például a spirál anatómiai csatlakozás részei: processus mastoideus, atlas massa lateralis / axis harántnyúlványa → m. splenius capitis et cervicis → alsó nyaki és felső háti processus spinosus → m. rhomboideus major et minor → scapula medialis széle → m. serratus anterior → bordák lateralis része → m. obliquus externus abdominis → abdominalis apo-



3. ábra. Richard Buckminster Fuller

neurosis, linea alba → m. obliquus internus abdominis → crista iliaca (spina iliaca anterior superior) → tensor fasciae latae, tractus iliotalibialis → condylus lateralis tibiae → m. tibialis anterior → 1. metatarsus basalis → m. peroneus longus → fibula fejecs → m. biceps femoris → tuber ischiadicum → ligamentum sacrotuberale → sacrum → sacrolumbalis fascia, m. erector spinae → occiput.

Az anatómiai csatlakozások több anatómiai képletben átívelő „expressz” (Thomas W. Myers definíciója) izmokból (pl. tensor fasciae latae, biceps femoris hosszú feje) és egy ízületet átfogó lokális izmokból (pl. biceps femoris rövid feje, adductor magnus izom), továbbá szalagokból (pl. ligamentum sacrotuberale) és fasciákból (pl. tensor fasciae latae) állnak. Számos mozgásszervi kórképben (krónikus terhelés által kiváltott, illetve rossz mozdulat, trauma által okozott) az anatómiai csatlakozások bizonyos izmai, szalagjai túlnyújtott állapotban, míg mások megrövidült helyzetben rögzülnek, és ezáltal nem képesek megfelelően ellátni funkciójukat, továbbá fájdalomhoz vezetnek. Gyakran a krónikus problémát nem az expressz, hanem a lokális izmok makacs spazmusa tartja fenn.

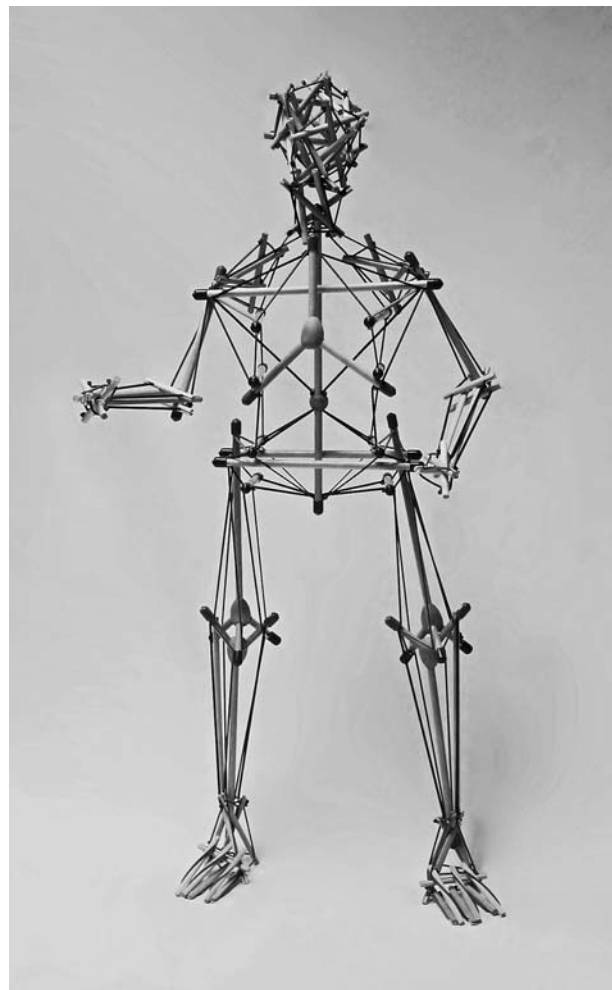
Klinikai vonatkozások

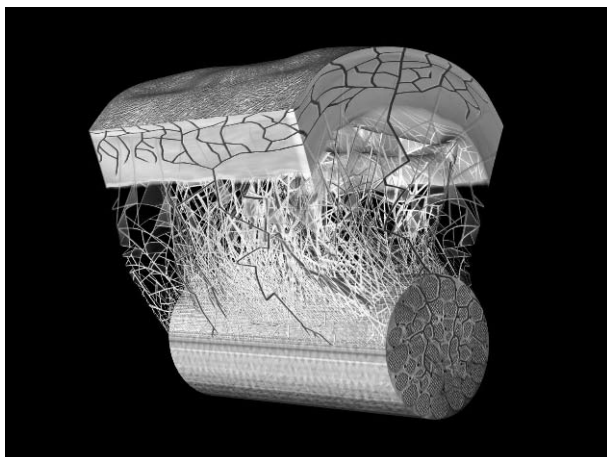
Funkcionálisan supinált vagy pronált láb esetén például a spirál anatómiai csatlakozás két tagja (m. peroneus longus és m. tibialis anterior) ál-

tal képzett kengyel szára egyik oldalon feszes, másikon gyenge lehet; ilyenkor az izomspazmus oldása, illetve a gyengült izom erősítése javíthat a problémán. Másrészt az ilyen funkcionális lábdeformitás megbonthatja akár a medence-gerinc statikáját (a tenzegritás elve alapján), és vice versa, tehát a probléma oldása egyéb eltérést is javíthat. Az anatómiai csatlakozások egymás közti diszbalansa számos reverzibilis reumatológiai eltérést magyaráz a hosszanti és haránt bokasüllyedéstől a lateralizált patellán keresztül a rotatoroköpeny-szindrómáig.

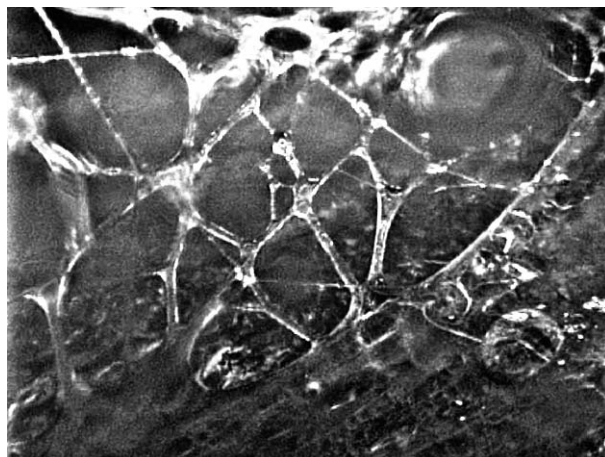
A medence spina iliaca anterior superioron számos izom tapad (számos irányba mutató vektorral az izmok húzási irányának megfelelően), amelyek más és más anatómiai csatlakozás részei. Ezen anatómiai csatlakozások patológiás állapota a medence különböző helyzetét (előrecsavart, felfele helyezett stb.) eredmé-

4. ábra. Az emberi test leegyszerűsített tenzegritási modellje. (A kép Tom Flemons tulajdona [2005], Intension Designs Ltd., www.intensiondesigns.com)





5. ábra. A microvacuolaris rendszer sémás rajza mozgás közben (A kép Guimberteau J. C. tulajdona)



6. ábra. Microvacuolumok *in vivo* (A kép Guimberteau J. C. tulajdona)

nyezheti, ami következményesen pl. a lumbalis gerinc fokozott vagy csökkent lordosisát vonhatja maga után. A lumbalis gerinc görbületének fiziológiástól való eltérése nagyobb nyíróerőket jelent a gerinc kisízületeire, ami hosszú távon számos egyéb tényező mellett alapja lehet a spondylarthrosinak.

Szintén a biomechanikával magyarázható, hogy az ízületeket érintő valódi és funkcionális tengelydeformitások miért járnak kifejezett arthrosishajlammal. Ilyen esetben fokozott erő érvényesül kis felületen (a deformitásból eredően az ízületet érő erő és erőkar, illetve a felület nagysága, alakja megváltozik), ami az ottani képletek jelentős igénybevételét jelenti még normál terhelés mellett is. A tengelydeformitásból (genu varum et valgum) adódó problémák különösen az alsó végtagon jelentkeznek, hiszen a test terhét nagyobb részt a térd és a csípő viseli. Ilyen esetben is hasznos az izmok és egységes működésük ismerete, mert gyakran nemcsak maga a kopás, hanem például egy feszes izom is fenntarthatja a fájdalmat. Másrészt különösen fiatalabb korban, amikor a csontremodelling még kifejezett, az izmok célzott lazítása / erősítése javíthat a tengelydeformitáson, különösen, ha az nem valódi, hanem funkcionális.

Miért fontos a biomechanika ismerete a reumatológus számára?

A tenzegritás alapján látható, hogy a szervezetre ért krónikus mechanikus stressz nem feltétlenül az erőhatás pontjában okoz károsodást, hanem sokszor tőle távolabb. A musculoskeletalis rendszer egységet képez: mikroszkópos szinten a microvacuolumok révén, makroszkópos szinten az anatómiai csatlakozások útján. Fontos ezek ismerete, hiszen nem mindegy, hogy hol avatkozunk be a szervezetbe farmakológiai, fizioterápiás, illetve manuális módszerekkel; elképzelhető, hogy egy befagyott váll, rotatorköpeny-szindróma esetében nem a vállban kell keresnünk a kiváltó okot, hanem valahol máshol. A tüneti terápia mellett fontos tehát az ok felderítése, hiszen hosszú távon a beteget így tudjuk hatékonyan kezelni visszaesés nélkül.

DR. BAKA ZSUZSANNA, DR. NAGY GYÖRGY

Hivatkozások

1. Tomasek J., Gabbiani G., Hinz B. et al.: Myofibroblasts and mechanoregulation of connective tissue modeling. *Nature Reviews Molecular Cell Biology* 2002, 3: 349–363.
2. Guimberteau J. C.: *Strolling under the skin*. Elsevier 2004.
3. Myers T. W.: *Anatomy Trains*. Elsevier 2009.

Az embereket nem is a hatalom érdekli... Ami elbűvöli őket, az nem a valóságos hatalom, hanem az önkény illúziója. Hogy több legyen, mint egy ember a többi ember világában.

(André Malraux: *Az ember sorsa*)