

GERINCDEFORMITÁS ÉS BIOMECHANIKA – TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS LEONARDÓTÓL A „DA VINCI SZOFTVERIG”

Molnár Szabolcs Lajos¹, Szabó Ferenc János², Skapinyecz János³,
Skapinyecz Róbert⁴

¹Hospital Ernest Lluch, Calatayud, Aragon, Spanyolország

²Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Tanszék

³Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Kórház és Egyetemi Oktató Kórház, Idegsebészeti Osztály

⁴Miskolci Egyetem

szabolcsmolnadr@gmail.com

A gerincdeformitás kezelése Nicolas Andry óta tartozik az ortopédia keretei közé, amelynek az azt megelőző történetéről egy korábbi közleményünkben értekeztünk¹. Jelen munkánk célja a gerincdeformitás és biomechanika közös fejlődésének áttekintése Leonardo da Vincitől napjainkig.

A reneszánsz korában a tudományok új lendületet kaptak. Felfedezték az ókori görög és latin tudományos alkotásokat – amelyeket az arab könyvtárak őriztek – és külön oktatási és tudományos disciplinává vált az anatómia². Ekkor alakult ki a biomechanika, amelyben az anatómiát, matematikát és mechanikát kapcsolták össze. Ezen új tudományág evolúcióját a későbbiekben segítette az a tény, hogy egyre nagyobb figyelmet fordítottak a járás és az izmok működésének elemzésére³.

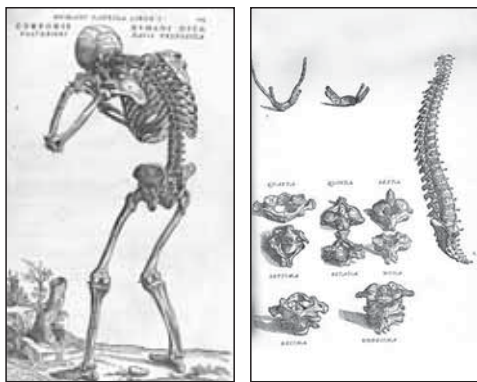
Ennek a kornak a felülmúlhatatlan zsenije Leonardo da Vinci (1452–1519), polihisztor, aki évszázadokkal előre mutató gondolatokat fogalmazott meg; úttörő kutatásokat és tanulmányokat végzett. Da Vinci művészként lett világhírű, de elsősorban mérnökként dolgozott és mérnöki munkáiból élt. A mechanika fejlődéséhez nagyban hozzájárult számos mérnöki munkájával, felfedezésével. Értette és használta az erővektor fogalmát, a súrlódási együtthatót és a szabadesést. Meg akarta érteni az izmok működését – több mint 750 rajzot készített 10 cadaver anató-

miai boncolása során. Ezeket a részletes rajzokon ábrázolta az ízületek, izmok, csontok, szalagok, inak és a porc dinamikus működését⁴.

Szemléletét jellemzi „*De Figura Humana*” című könyve, amelyben mechanisztikus irányból közelítette meg az emberi testet^{2,5}. Elemmezte az emberi test gerinc által létrehozott stabilitását; az emelőkarok szerepét a mozgásban, valamint a járást (1. ábra).



1. ábra. Leonardo da Vinci „*De Figura Humana*” könyvéből a gerinc ábrázolása



2. ábra. Vesalius De Humani Corporis Fabrica

Andreas Vesalius (1514–1564), a belga anatómus, 1543-ban jelentette meg „*De Humani Corporis Fabrica*” című részletes anatómiai könyvét⁶, ami az általuk addig ismert anatómiai leírások legintegráltabb és legpontosabb összefoglalása (2. ábra). A gerincet aprólékos részletességgel írja le, új ismereteket rendelve a discus intervertebralisokhoz³.

A reneszánsz korban élő **Ambroise Paré** (1510–1590) volt az első, aki fűzőkezelést végzett. Az általa kiadott 17. könyv tartalmazza a scoliosisról való értekezését⁷. A felnőtt betegeknek Hippokratész módszerét ajánlotta – húzás közben spinalis manipuláció –, de gyerekeknek ő javasolt először fűzőkezelést¹.

Galileo Galilei (1564–1642) a medicina elsajátítása után lett fizikus, és alapvetően befolyásolta kora biomechanikájának fejlődését. A Pádai Egyetem oktatójaként a természet törvényeinek megértéséhez a matematikát nélkülözhetetlennek tartotta. A csontok mechanikai tulajdonságait vizsgálva hozta létre a kinéziológia alapjait⁸.

René Descartes (1596–1650) francia filozófus, elsősorban a fájdalom élettanával foglalkozott, Galilei tanait követte, és az emberi szervezet működését tisztán mechanikusan szemlélte. *L’Homme* című munkáját 1633-ban fejezte

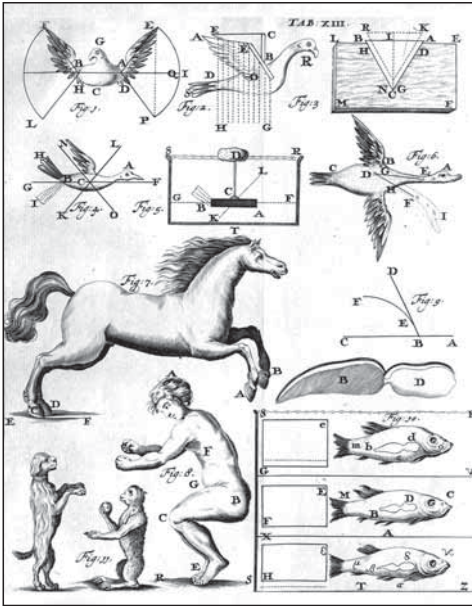
be, de amikor hírt kapott az általa nagyon tisztelt Galilei inkvizíciójáról, elégette azt. Latin nyelvű kiadása 1662-ben jelent meg. Tanulmányai indirekt módon járultak hozzá a biomechanika fejlődéséhez⁹.

Francis Glisson (1597–1677), Londonban a „*Királyi Társaság*” tagjaként heti rendszerességgel tartott kollégáival megbeszéléseket. Hét társával együtt 1650-ben adta ki „*De Rachitide*” címmel értekezését, amelyben elemzi a betegségben létrejött gerincdeformitást¹⁰.

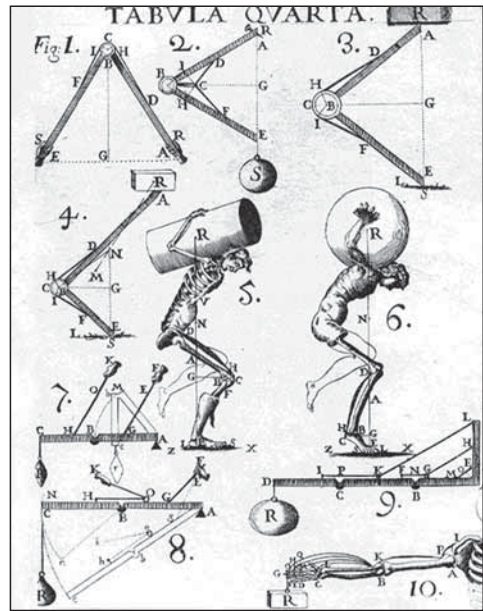
Giovanni Alfonso Borelli (1608–1679) matematikus, fizikus volt az első, aki a mechanika törvényeit medicinális keretek közé foglalva megalkotta a „*iatromecanica*” fogalmát, amely az orvostudományban alkalmazott mechanikai sajátosságokat foglalta össze. Galilei tanait sajátította el Galilei egyik tanítványától (Castellitól). A Pisai Egyetemen, mint professzor találkozott Malpighivel, akivel rendkívüli módon inspirálták egymást határterületük fejlődésében. A gerinccel kapcsolatban felállította a „*rotációs és translációs egyensúly*” téziseit³. Krisztina svéd királynő által posthumus kiadott „*De Motu Animalium*” című könyve számít az első biomechanikai könyvnek². A 3. ábrán is látható a gerinccel kapcsolatos mechanikai modellezése.

Borelli pontos számításokat végzett a spinalis izmokkal és intervertebralis discusokkal kapcsolatban is. Vizsgálta a stabilitást, az eredő erőket, és ő volt az első, aki kísérletesen meghatározta a súlypontot (4. ábra), valamint 200 évre elég lendületet adott a biomechanikának.

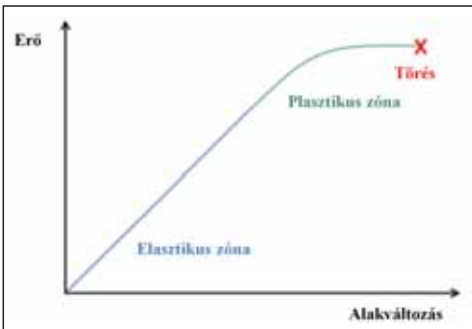
Robert Hooke (1635–1703) írta le az elasztikus és plasztikus deformáció, valamint a szakítópont (ultimate failure) törvényét³, amelyet a mindennapi ortopéd sebészi gyakorlatban leggyakrabban az ín-izom és szalagszakadásoknál, valamint a műtéti implantátumrendszerek és csont közötti kölcsönös deformálódásnál



3. ábra. Vázlatok Borelli „De Motu Animalium” című posthumus kiadott könyvéből



4. ábra. Biomechanikai számítások a különböző helyzetekben



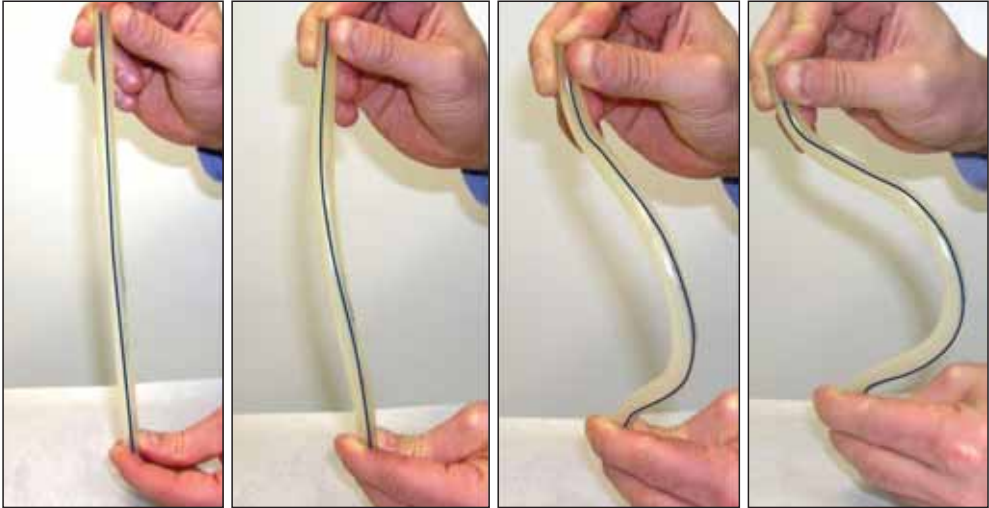
5. ábra. Alakváltozás (deformálódás) az erő függvényében

láthatunk, tapasztalhatunk¹¹. A biológiai szövet alakváltozását leíró jól ismert grafikon az 5. ábrán: alakváltozás (deformálódás) az alkalmazott erő függvényében¹².

Isaac Newton (1642–1727) kiemelkedő fizikus volt, a biomechanika fejlődéséhez indirekt módon járult hozzá: a fizikai törvények leírásához használt matematikai szemlélettel (integrálás, deriválás) forradalmi újításokat veze-

tett be. Az általa definiált kinetikai és dinamikai tételek (I., II., III. tétel) szolgáltak alapul a későbbiekben a biomechanikai mozgások, kölcsönhatások leírásához¹³.

Leonhard Euler (1707–1783) rendkívül termékeny és sokoldalú tudós, akinek nevével középiskolás matematika tanulmányaink során találkozhattunk először (számelmélet, analitikus geometria, trigonometria)¹⁴. Példaértékű azon szintetizálási képessége, amellyel a svájci, orosz, majd porosz szemléletet elsajátította, és gyakorlati problémákra kereste az elméleti választ (pl. a köningsbergi hidak ihlette gráfelmélet és Euler-tétel kidolgozása). 1736-ban publikálta a „*Mechanica Sive Motus Scientia Analytice Exposita*”-t, amelyben analitikus megközelítéssel vizsgálta a mechanikát és a mozgást. Leírta a csigolyákra ható kompressziós erő fogalmát, amely bizonyos körülmények között instabilitáshoz vagy mechanikai elégtelenséghez vezethet¹⁵. 1757-ben határozta meg a rugalmas kihajlás differenciálegyen-



6. ábra. Euler–Tetmajer-féle kihajlás. Fokozatos nyomóerőt létrehozva először „sagittalis görbület”, majd „axiális rotáció” jön létre. Az elvi „dorsalis rész” görbül és csavarodik jobbra. Kék vonallal ábrázoltuk a gumicsövön a processus spinosusok elméleti helyzetét

letét. A kihajlás az a mechanikai jelenség, amely keresztmetszetéhez képest hosszú egyenes rúd (jelen esetben gerinc) tengelyébe eső, megfelelően nagy nyomóerő hatására bekövetkezik. A nyomóerő növelésével egy bizonyos kritikus értéknél a rúd elgörbül, kihajlik, majd eltörik. A rúdra merőleges kis nyomóerő esetén a nyomott rúd meggörbül, ugyanakkor stabil egyensúlyi helyzetben van¹⁶. A törvényt a magyar származású Tetmajer Lajos egészítette ki a plasztikus kihajlás meghatározásával, ami már alkalmas a gerincdeformitások rugalmassági modelljeinek kalkulálásához¹⁷. Gyakorlati jelentőségét a 6. ábrán szemléltetjük.

A fenti elvek mellett tisztázták a különböző típusú kihajlásokat. Ez számunkra azért fontos, mert ezáltal alkalmas a *flexiós-torziós*, valamint a *lateral-torziós* kihajlás modellezésére is.

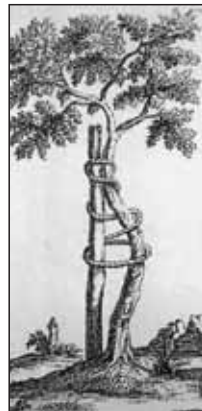
A *flexiós-torziós* kihajlás kompressziós hatás mellett jön létre hajlás és csavarodás eredményeként, például láncban álló elemek, valamint kettős görbületek esetén.

A *lateral-torziós* elhajlás akkor jön létre, amikor egy szimpla rudat flexióban terhelünk úgy, hogy a tetején nyomást, az alsó részén pedig tenziós feszültséget hozunk létre (vagyis megtartjuk fix pontként).

Ezen törvények alkalmasak a rotációval kísért görbületek kialakulásának leírására.

Nicolas Andry (1658–1742) francia gyermekgyógyász, 1741-ben adta ki könyvét az „*Orthopaedia*”-ról (7. ábra),

amely alapként szolgált a későbbi nemzedékek ortopédiai tanulmányainak és tankönyveinek¹⁸. Ő aszimmetrikus izom feszülést feltételezett a scoliosis hátterében és pihentetéssel, fel-



7. ábra. Az ortopédiai tankönyvekből 1741 óta kihagyhatatlan szimbólum

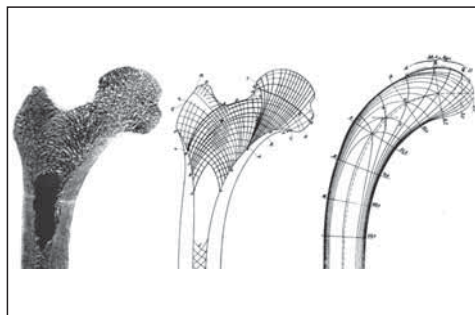
függesztéssel, posturalis gyakorlatokkal és párnázott korzettel végezte a scoliosis kezelését¹⁹.

Andry feltételezése a XX. század második felében nyert bizonyítást. Az „idiopathiás” scoliosisek egy részében valóban az aszimmetrikus izomfeszülés játszik döntő szerepet. A gerinc két oldalán eltérő az izmok rostösszetétele, s amelyik oldalon többségben vannak az I. típusú rostok, arra húzzák el a gerincet²⁰. A paravertebralis muscularis izomegyensúly felborulása egy olyan patológiai helyzetet eredményezhet, amely a posturalis reflexekkel és a testtömeg által okozott vertikális terheléssel együtt scolioticus görbületet hozhat létre²¹.

A XIX. század elején születtek Lipcsében a **Weber testvérek** (Ernst Henrik, Wilhelm Eduard és Eduard Friedrich Wilhelm), akik az izomműködés biomechanikájával foglalkoztak. Leírták a csontok erőkar szerepét. Meghatározták a gravitációs középpont (súlypont) mozgását. 1827-ben Ernst publikálta az emberi gerinc mozgásával kapcsolatos biomechanikai megfigyeléseiket²². Szintén németül jelentették meg 1836-ban az emberi járásról szóló monográfiájukat²³. Munkásságuk lényege az izomműködés mechanikájának tudományos alapokon történő leírása.

Christian Wilhelm Braune (1795–1878) és tanítványa, **Otto Fischer** (1861–1917) is elsősorban a járás analízisével foglalkozott²⁴, ami miatt mégis itt említjük őket, az a súlypont mozgás közben való viselkedésével kapcsolatos tanulmányaik. Kísérleteik során külső koordináta-rendszerhez viszonyították a vizsgált test viselkedését, valamint a mozgást 4 kamerás rendszerrel rögzítették és a fotókat analizálták⁸. Ezzel az egyszerű kivitelezéssel és pontos analízissal példát mutattak arra, hogy egyszerű felszereltséggel, de megfelelően előkészített vizsgálatokkal és pontos analízissel is számottevő eredményeket lehet elérni.

Julius Wolff (1836–1902) berlini ortopéd sebész, aki doktori tézisé Langenbecknél írta a csontképződésről. 1890-ben nevezték ki a Berlini Egyetemen az ortopéd tanszék professzorának. 1892-ben publikálta könyvét a csontremodellációról, amelynek máig is használt legfőbb megállapításai a következők voltak: „minden a csont alakjában és/vagy funkciójában bekövetkezett változás meghatározott, a matematika törvényeinek megfelelő, mikro- majd secunder módon makrostrukturális elváltozásokat hoz létre. A struktúra a funkció fizikai megjelenése. Patológiai körülmények között a struktúra és a forma változik a megváltozott behatásoknak megfelelően” (8. ábra)²⁵.



8. ábra. Wolff trajektoriális elmélete – talán a leggyakrabban ábrázolt helyen – a femur proximális részén

A XX. század elején a tudományok egyre szélesebb és integráltabb alapokat kaptak, képzésük és művelésük is kezdett különválni (egyre kevesebb polihisztorral találkozhatunk), ugyanakkor különállóan lendületes fejlődésnek indultak. Az olyan területek, mint a biomechanika, az orvosok és mérnökök kollaborációján múlott és jelenleg is azon múlik. A publikáció általános elterjedésével a tudás univerzálisan elérhetővé vált, amely az ismeretek exponenciális terjedéséhez és fejlődéséhez vezetett. A pozitív ösztönzők mellett azonban sajnálatos módon több negatív ok is vezetett a gerinc biomechanikai vizsgálataihoz és az arról szerzett tudás gyarapodásához.

Wood-Jones 1913-ban közölt vizsgálatokat az akasztásos halállal kapcsolatban, mégpedig arra az eredményre jutva, hogy a submentalis elhelyezett csomó hozza létre az ún. „Hangman’s törés”-t, míg az oldalt (subauricularis) elhelyezett csomó koponyaalapi töréssel okoz halált – ez kegyeleti okokból volt fontos a haláltusa rövidítése miatt²⁶.

Sajnálatosan áldozatait a két világháború és a motorizáció is szedte. A maradandó sérülést szenvedett túlélők többletigényei szintén lendítettek a biomechanika előrehaladásán.

Jules Amar (1879–1935) biomechanikai vizsgálatokat végzett mozgássérült francia háborús veteránok járás és célzott feladat végrehajtása közben. 1914-ben publikálta franciául, majd 1920-ban angolul eredményeit²⁷.

A II. világháború német bombázóinak kaptululése alkalmatlannak bizonyult arra, hogy menekülés és mentés során megfelelő védelemmel lássa el a pilóták törzsét (thoracolumbalis gerincsérülés veszélyét okozva), így az e témát tanulmányozó Siegfried Ruff vizsgálatai hozzájárultak a gerinc biomechanikájának az előrehaladásához²⁸. A szövetségeseket is nagyban érintette ez a kérdés: Európában **Olof Perey** svéd és **Martin-Baker** angol szerzők, az USA-ban pedig a légierő szakemberei végeztek kísérleteket a gerinc „ellenálló képességének” mérésére. A detroiti Wayne State Universityn **Lissner HR** (1908–1965) mérnök és **Gurdjian ES** (1900–1985) idegsebész kooperációjából számos, a gerinc biomechanikájával foglalkozó tanulmány született³.

Friedrich Pauwels (1885–1980) nevével elsősorban a csípő biomemechanikája kapcsán találkozhatunk, ugyanakkor az általa szisztematikusan kidolgozott musculosceletalis mechanika elvei máshol is megállják a helyüket. A csont és izmok közötti interakciókat tanulmányozva írta le a spongiosa nagyobb alkal-

mazkodóképességét, amely lehetővé teszi a csigolyáknak a flexióhoz és rotációhoz való jobb alkalmazkodást²⁹.

Nikolai Aleksandrovich Bernstein (1896–1966) orosz tudós, aki a központi idegrendszer mozgást szabályozó működését tanulmányozta, hangsúlyt fektetve a biomechanikai igények támasztotta exogén faktorokhoz való alkalmazkodás szükségességére. Pavlovval ellentétes nézetei miatt támadták, kísérletei abbahagyására kényszerült³⁰. Modellezései során bebizonyította, hogy az élő test súlypontja megközelítőleg a térfogati középpontjában van³¹. Kutatásai egyik érdekes vetülete a futók súlypontjának vizsgálata, amelyből levont következtetéseit a gyakorlati edzésmódszerekben is alkalmazták.

Sir Frank Wild Holdsworth (1904–1969) vezette be 1962-ben az ún. „két-oszlop” gerinc modellt. Munkahelyén sok gerincsérülés fordult elő, és több mint 1000 neurológiai szövődémmel kapcsolt gerinctörés elemzése alapján differenciálta az elülső (ligamentum longitudinale anterius, csigolyatest és ligamentum longitudinale posterius) és a hátsó oszlopot (pediculusok, lamina, processus spinosus, kizűlétek és a környezet szalagok), amelyek közül utóbbi integritásának sérülését instabilitással párosította³².

Francis Denis több mint 412 gerinctörés röntgenjének átnézése után felismerte, hogy az ún. „burst” törés instabil, és Holdsworth klasszifikációját kiegészítette a középső oszloppal is: a csigolyatest, valamint az anulus fibrosus hátsó része, illetve a ligamentum longitudinale posterius. A három oszlopból kettő sérülése instabilitást jelent³³.

A XX. század közepére tehető egy új korszak megjelenése: biomechanikai laboratóriumok alapítása, amelyekben szervezett keretek között folyik ezen integrált szakterület tudomá-

nyos kutatása. Ezekben az újonnan alapított laboratóriumokban már megfelelő az „utánpótlásképzés” is, és ennek köszönhető, hogy a század 50-es, 60-as éveiben mind mennyiségileg, mind minőségileg javul a tudományos publikálás.

Russell Plato Schwartz (1894–1965) a Rochesteri Egyetemen 1926-ban rendezte be „*Myodynamikai*” vagy mai szóhasználattal élve járáslaboratóriumát, amely az első jegyzett, a mozgást vizuális rögzítéssel elemző laboratórium volt. Profilja természetesen a járás volt, de az 1940–50-es évek USA-beli igényeihez alkalmazkodva poliomyelitis és ICP-s gyermekek mozgáselemzésével és kezelésével is foglalkozott³⁴.

Carl Hirsch (1913–1973) svéd ortopéd sebész, aki manuális, illetve intézetvezetői tevékenysége mellett több mint 20 évig irányította biomechanikai laboratóriumát, ahol a kor vezető ortopéd sebészei és mérnökei is megfordultak. Rendkívül termékeny szakirodalmi publikációs aktivitásában kiemelt szerep jutott a gerincnek³⁵, őt tekintjük a tudományosan megalapozott spinalis biomechanika megteremtőjének.

Lysell volt az első, aki in vitro (ex vivo) stereoradiographiával vizsgálta a csigolyák egymáshoz való háromdimenziós elmozdulását³⁶.

A progresszíven gyarapodó tudásanyag egyre újabb vívmányait élvezhetjük és alkalmazhatjuk. Ilyen például a sem a graduális, sem a posztgraduális orvosi/szakorvosi képzésben nem szereplő, de a biomechanika vívmányait alkalmazó műhelyek munkájában nélkülözhetetlen ún. végeelem-módszer (finite element method = FEM). A FEM használata előtt a mérnöki gyakorlatban a rugalmas anyagból készült, különböző környezetben „működő” és anyagi összetételű testek viselkedésének leírásához a newtoni kinematika-dinamika már nem volt elegendő. Szükség volt a

különböző anyagszerkezeteket, a kialakuló alakváltozást, elmozdulást, a geometriai alakot, a kölcsönhatást és a környezeti hatást szintetizáló modellek bevezetésére³⁷. A XX. század elején kidolgozott ún. „variációs elvek” ezt a célt szolgálták, és ezek alkalmazását is forradalmasította a számítógépek megjelenése³⁸.

Courant volt az első 1943-ban, aki a numerikus analízis és a minimalizáció módszerét használta a variációs eltérő megközelítésre³⁹. 1956-ban **Turner** és munkatársai sík rugalmasságtani feladat megoldása során altartományokra osztotta fel az „elmozdulás mezt”⁴⁰. 1958-ban készült el az első modell a gerincről, a már korábban is említett katapultülések okozta thoracolumbalis gerincsérülések vizsgálatának modellezése során⁴¹. A végeelem-módszer elnevezést Turner munkatársa, **Clough** alkotta 1960-ban³⁷. A számítástechnikai háttér igénye miatt az 1970-es években a módszert a légielő és a hadiipar használta elsősorban. Ugyanakkor a számítógépek és programjaik elterjedésével az orvosi biomechanika számára is elérhetővé, mindennapi alkalmazási területté vált⁴².

Ezzel párhuzamosan fejlődni kezdenek az optimumkereső algoritmusok: egyszerűbb nemlineáris, többváltozós és multidiszciplináris optimalizálási feladatok megoldására.

Az említett két módszer (véges elem és multidiszciplináris optimalizálás) egyre nagyobb, bonyolultabb feladatokra való alkalmazása és egyre szélesebb körben való elterjedése figyelhető meg, majd a számítástechnika megfelelő szintjén elindul ezek összekapcsolódása, olyan optimumkeresési feladatok megoldásával, melyekben a feltételek vagy a célfüggvény kiértékelése végeelem-analízis útján történik. Erre az első példák az 1990-es évek elején találhatók. Az ezt követő években ez a módszer is elterjed olyannyira, hogy az évtized közepén

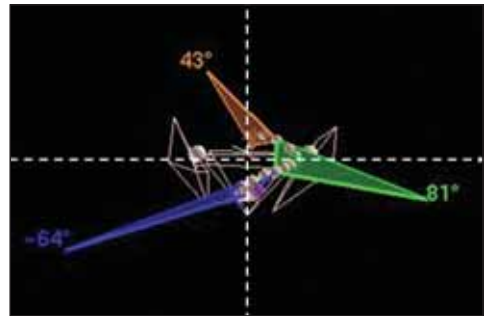
már olyan problémákat oldanak így meg, melyeknél többféle végeelem-számítás szükséges az optimalizálás során. Így jön létre a multidiszciplináris optimalizálás tudománya, 1994-ben pedig megalakul az ISSMO: International Society of Structural and Multidisciplinary Optimization (Szerkezeti és Multidiszciplináris Optimalizálás Nemzetközi Szervezete).

A multidiszciplináris optimalizálás módszere napjainkban is egyre szélesebb körben terjed, és a mérnöki gyakorlat egyre több területén lehetséges az alkalmazása. Ilyen lehetséges alkalmazási terület a biomechanika: anatómia – a csontok, ízületek kialakításának, terhelésének és viselkedésének figyelembevétele, virtuális műtétek, protézisek, orvosi műszerek tervezéséhez.

A scoliosis leírásában, osztályozásában és a műtéti tervezésben⁴³ a fenti vívmányoknak egyre nagyobb szerep jut. Egy példán keresztül szeretnénk szemléltetni a számítástechnikai lehetőségek alkalmazását a mindennapi ortopéd sebészi gyakorlatban:

A scoliosis deformitásának komponensei a hagyományos (sagittális, coronalis és axiális) koordináta-rendszerekben ugyan leírhatóak, de egyik síkban sem jelenik meg „tisztán” 2 dimenziós projekció, ugyanis a deformitás síkjai

ezeztől eltérnek és ezek gerincszakaszonként változnak⁴⁴. A téma jelentősége miatt a Scoliosis Research Society (SRS) által létrehozott munkacsoport 3 dimenziós rekonstrukciós algoritmussal egy „egyszerűsített” 3D-klasszifikációt vezetett be⁴⁵. Az eredmények szintézisére és szimplifikálására létrehoztak egy szoftvert (amely Leonardo da Vinciről kapta a nevét): egy 2 dimenziós koordináta-rendszerben a görbületek apicalis csigolyáit úgy ábrázolják, hogy a zéró ponttól mért horizontális (x tengely) távolsága korrelál a görbület coronális, a vertikális távolsága (y tengely) pedig a sagittális eltéréssel (9. ábra). Ábrázolják továbbá az apicalis csigolyák transversalis rotációját is⁴⁶.



9. ábra. Szemléltető ábra a da Vinci szoftver által készített rekonstrukcióra (Scoliosis Research Society 3D Scoliosis bizottságának reprodukciója)

IRODALOM

1. Molnár S, Skapinyecz J, Csernátony Z. A gerincdeformitás kezelése Nicolas Andry előtt. *Biomech Hung* 2011;4(1):61–6.
2. Sanan A, Rengachary S. The history of spinal biomechanics. *Neurosurg* 1996 Oct;39(4):657–68.
3. Naderi S, Andalkar N, Benzel EC. History of spine biomechanics: part II from the Renaissance to the 20th century. *Neurosurgery* 2007 Feb;60(2):392–403; discussion -4.
4. Józsa L. Leonardo da Vinci mozgás- és járásvizsgálatai. *Biomech Hung* 2009;2(2):49–52.
5. Jose A. Anatomy and Leonardo da Vinci. *Yale J Biol Med* 2001 May-Jun;74(3):185–95.
6. Benini A, Bonar SK. Andreas Vesalius 1514–1564. *Spine (Phila Pa 1976)* 1996 Jun 1;21(11):1388–93.
7. Williams AN, Williams J. 'Proper to the duty of a chirurgion': Ambroise Pare and sixteenth century

- paediatric surgery. *J R Soc Med* 2004 Sep; 97(9):446–9.
8. *Csernátóy Z.* Az orvosi biomechanika története. *Biomechanica Hungarica* 2008;I(1):63–75.
 9. *Benini A, DeLeo JA.* Rene Descartes' physiology of pain. *Spine (Phila Pa 1976)* 1999 Oct 15; 24(20):2115–9.
 10. *Dunn PM.* Francis Glisson (1597–1677) and the 'discovery' of rickets. *Arch Dis Child* 1998 Mar;78(2):F154–F5.
 11. *Woo SL.* Contribution of biomechanics to clinical practice in orthopaedics. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2004;7:5455.
 12. *Kowalski RJ, Ferrara LA, Benzel EC.* Biomechanics of the spine. *Neurosurg Quart* 2005 Mar;15(1):42–59.
 13. *Newton I.* *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica.* Project Gutenberg 2009. Available from: <http://www.gutenberg.org/ebooks/28233>.
 14. *Pach J.* A megtestesült analízis – Leonhard Euler. *Ponticulus Hungaricus* [serial on the Internet]. 2004; 8(6): Available from: <http://members.iif.hu/visontay/ponticulus/rovatok/limes/euler.html>
 15. *Kyle RF.* Biomechanics of Intramedullary Fracture Fixation. *Orthopedics* 1985;8(11):1356–9.
 16. Kihajlás. Available from: <http://hu.wikipedia.org/wiki/Kihajl%C3%A1s>
 17. *Tetmajer L.* Méthodes d'essais et résultats de recherches. Sur les propriétés de résistance du fer et autres métaux. Zürich, Suisse: Communications de l'École Polytechnique Fédérale; 1904.
 18. *Kirkup JR.* Andry, Nicolas and 250 Years of Orthopaedy. *Journal of Bone and Joint Surgery-British Volume* 1991 May;73(3):361–2.
 19. *Ponseti I.* History of Orthopaedic Surgery. *Iowa Orthop J* 1991;11(59–64).
 20. *Kouwenhoven JWM, Castelein RM.* The pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis review of the literature. *Spine* 2008 Dec 15;33(26):2898–908.
 21. *Csernátóy Z, Szepesi K, Gáspár L, Dezső Z, Jónás Z.* 'The Rotational Preconstraint'. A kinetic model of a possible new mechanism in the ethiopathogenesis of scoliosis. *Medical Hypotheses* 2000;54(2):203–6.
 22. *Weber E.* Anatomisch-physiologische Untersuchung über einige Einrichtungen in Mechanismus der menschlichen Wirbelsäule. *Arch Anat Physiol* 1827;1(240–271).
 23. *Weber WE, Weber E.* Mechanics of the human walking apparatus. Berlin; New York: Springer-Verlag; 1991.
 24. *Braune W, Fischer O.* Human gait: Trial on loaded and unloaded humans 1895;21:153–322.
 25. *Wolff J.* The law of bone remodelling. *Das Gesetz der Transformation der Knochen.* Berlin: Springer; 1989.
 26. *Rayes M, Mittal M, Rengachary S, Mittal S.* Hangman's fracture: a historical and biomechanical perspective. *J Neurosurg Spine* 2011 Feb;14(2):198–208.
 27. *Amar J, Butterworth EP, Wright GE.* The human motor; or, The scientific foundations of labour and industry. London, New York; Routledge; Dutton; 1920.
 28. *Ruff S.* Brief acceleration: less than one second, in german aviation medicine. 1950:584–97.
 29. *Khurana J.* Bone Pathology. Second ed. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Humana Press; 2009.
 30. *Meijer OG, Bruijn SM.* The loyal dissident: N.A. Bernstein and the double-edged sword of Stalinism. *J Hist Neurosci* 2007 Jan–Jun;16(1–2):206–24.
 31. Whiting HTA, Bernshte in NA. Human motor actions: Bernstein reassessed. Amsterdam New

- York: North-Holland: Sole distributors for the U.S.A. and Canada, Elsevier Science Pub. Co.; 1984.
32. *Sir Frank Wild Holdsworth* 1904–1969. J Bone Joint Surg Br 1970 Feb;52(1):168–70.
33. *Denis F.* Spinal Instability as Defined by the 3-Column Spine Concept in Acute Spinal Trauma. Clin Orthop Relat R 1984;(189):65–76.
34. Papers of R. Plato Schwartz. Available from: http://www.urmc.rochester.edu/hslt/miner/historical_services/archives/Faculty/schwartz.cfm
35. *Hirsch C.* The classic. Exposure of ruptured lumbar discs: a technical discussion. Clin Orthop Relat Res 1981 Jan–Feb;(154):5–8.
36. *Lysell E.* Motion in the cervical spine. An experimental study on autopsy specimens. Acta Orthop Scand 1969;Suppl 123:1.
37. *Páczelt I, Szabó T, Baksa A.* A végeelem-módszer alapjai. Értékünk az Ember, Humán-erőforrás-fejlesztés operatív program: Miskolci Egyetem; 2007. Available from: <http://www.mech.uni-miskolc.hu/~paczelt/notes/VEM-ME-jegyzet.pdf>.
38. *Widas P.* Introduction to finite element analysis. 1997; Available from: http://www.sv.vt.edu/classes/MSE2094_NoteBook/97ClassProj/num/widas/history.html
39. *Courant R.* Variational methods for the solution of problem of equilibrium and vibrations. Bull Am Math Soc 1943;49:1–23.
40. *Turner M, Clough R, Martin H, Topp L.* Stiffness and deflection analysis of complex structures. J Aeronaut Sci 1956;23(9):805–23.
41. *Hess JL, Lombard CF.* Theoretical investigations of dynamic response of man to high vertical accelerations. J Aviat Med 1958 Jan;29(1):66–75.
42. *Goel VK, Gilbertson LG.* Applications of the Finite-Element Method to Thoracolumbar Spinal Research – Past, Present, and Future. Spine 1995 Aug 1;20(15):1719–27.
43. *Csernátóy Z.* A hátsó feltárásból végzett scoliosisműtétek a kezdetektől napjainkig. Biomech Hung 2009;2(1):59–80.
44. *Perdriolle R, Le Borgne P, Dansereau J, de Guise J, Labelle H.* Idiopathic scoliosis in three dimensions: a succession of two-dimensional deformities? Spine (Phila Pa 1976) 2001 Dec 15;26(24):2719–26.
45. *Labelle H, Aubin CE, Jackson R, Lenke L, Newton P, Parent S.* Seeing the Spine in 3D: How Will It Change What We Do? J Pediatr Orthoped 2011 Jan–Feb;31:S37–S45.
46. *Sangole A, Aubin C, Labelle H, Stokes I, Lenke L, Jackson R et al.* Three-dimensional classification of thoracic scoliotic curves. Spine 2009 Jan;34(1):91–9.

Dr. Molnár Szabolcs Lajos

Hospital Ernest Lluch, Calatayud, Aragon, Spanyolország
E–50300 Calatayud, Ctra Sagunto Burgos km. 254, Aragon, Spanyolország
Tel.: (+34) 976 880 964