

## FILMANIMÁCIÓK

# A néglábú járás biomechanikai elemzése

Cikkünkben Eadweard Muybridge (1830–1904) amerikai fotográfus munkásságának a filmes animációra gyakorolt hatását vizsgáljuk. Látványtechnikai szempontból híres filmekben és magyar rajzfilmekben biomechanikailag elemeztük a néglábú állatokat utánozó, kézzel vagy számítógéppel rajzolt néglábú animációk lépéssorrendjét. Kiderült, hogy a filmek grafikai fejlődésével együtt jelent meg az igény arra, hogy a néglábú mozgásokat minél életszerűbben, így minél helyesebben ábrázolják. A régebbi filmekben, amikor még makettek és képkockánkénti felvételt használtak, gyakrabban fordultak elő nem valóságos lépéssorrendek, mint a számítógéppel készült későbbi filmjelenetekben. Érdekes módon, egy magyar rajzfilmben a számítógépes animációk elterjedése előtt helyesen ábrázolták a néglábúak járását, majd a számítógéppel készített folytatásban már fordult elő hibás járásábrázolás.

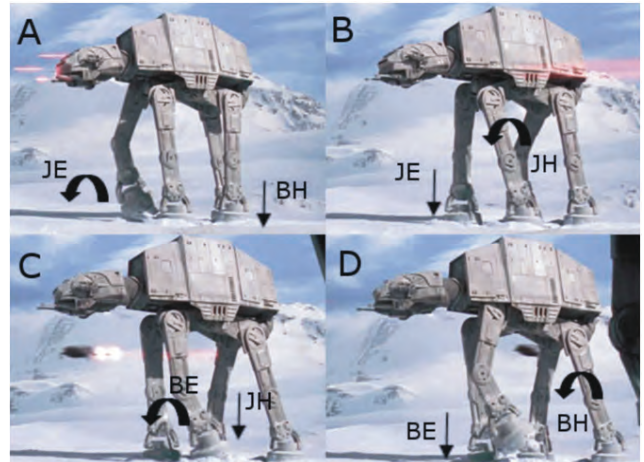
Számos természettudományos végzettségű szakembert (például orvost, kémikust, biológust, csillagászt, fizikust, geológust, meteorológust, mérnököt, matematikust) a munkássága részeként az is érdekli, hogy a képző- és filmművészetekben vagy a bölcsészeti alkotásokban (regényekben, versekben) mennyire helyesen vagy helytelenül jelennek meg a természettudományos ismeretek. Itt csak néhány példát említünk:

- Herman Ottó (1835–1914) polihisztor természetkutató tanulmányt írt arról, hogy Arany János, Tompa Mihály és Petőfi Sándor verseiben a különböző madárfajok énekét helyesen vagy helytelenül írják-e le [1].
- Krauss elméleti fizikus a *The Physics of Star Trek* című monográfiájában a *Star Trek* tudományos fantasztikus filmsorozat fizikai és csillagászati vonatkozását elemezte és kritizálta, hogy jelen tudásunk szerint mi igaz és mi lehetetlen a filmsorozatban szereplő fizikai, csillagászati jelenségek közül [2].
- Matematikusok gyakran írnak arról, hogy a hétköznapi életben mennyi matematikai tévhit, félreértés fordul elő, ami a józan paraszti ész és az egzakt matematikai ismeretek között feszülő paradoxonokra vezet [3].
- Lee és Fraser amerikai légekoptikusok a szívárvány optikájáról szóló könyvükben egy egész fejezetet szenteltek a festészetben és grafikában

előforduló hibás szivárvány-ábrázolásoknak [4].

- Kakalios a *The Physics of Superheroes* című könyvében jó néhány hollywoodi fantasztikus film szuperhősei fizikai képességeinek lehetőségét vagy lehetetlenségét vette górcső alá [5].
- Merriam és kollégái az észak-amerikai Kansas tájegységről készült tájképfestményeket elemezték földrajzi-geológiai szemszögből [6].
- Zerefos és kollégái kimutatták, hogy a festményeken ábrázolt lemenő/fölkelő Nap vörös színárnyalata nagy vulkánkitörések után tendenciózan mélyült, és számítógépes modellezéssel, valamint meteorológiai-optikai mérési adatok felhasználásával azt kapták, hogy a lemenő Nap vörös árnyalata a vulkánkitörések utáni légköri aeroszol-koncentráció növekedésével egyre mélyül [7, 8].
- A 2017. évi egyik fizikai Nobel-díjas, Kip Thorne a *The Science of Interstellar* című könyvében a csillagászat és a relativitáselmélet szemszögből vizsgálta az *Interstellar* című tudományos fantasztikus filmbeli jelenségeket [9].
- Orvosok tanulmányokat írtak arról, hogy a festetben és szépirodalomban a különféle betegségeket miként írják le, illetve azok külső testi megnyilvánulásait hogyan ábrázolják, s azok helyesek-e [10].
- Fikke és kollégái légköroptikai ismeretek alapján kimutatták, hogy Edward Munch *Sikoly* című festményének hátterében nem vulkáni naplemente van – mint korábban gondolták –, hanem poláris sztratoszférikus felhők [11].
- Kémikusok részletesen elemezték Vincent Willem van Gogh (1853–1890) festményei festékeinek összetételét, és kiderítették a levegővel való érintkezéskor lezajló lassú kémiai reakciókat, melyek felelősek több festék szemmel is jól látható színváltozásaiért [12].
- Trigonometriai számításokkal kimutatták, hogy a Homérosz *Iliász* című eposzában szereplő azon állítás, miszerint Poszeidón tengeristen Számosz hegyéről nézte végig a távoli Trója város görögök általi ostromát hibás, mivel ez lehetetlen a Föld felszínének görbülete miatt [13].

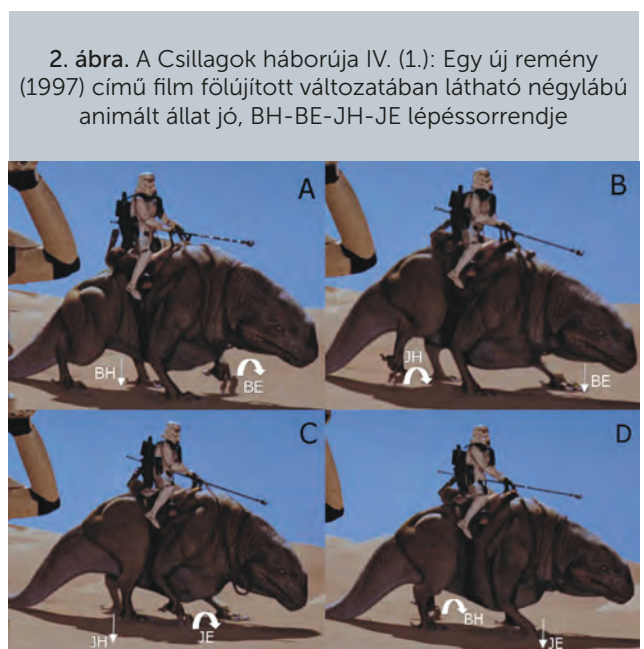
Azzal, hogy természettudósok rámutatnak a bölcsészek, film- és képzőművészek alkotásaiban előforduló olyan hibákra, amelyek ellentétben állnak a természettudományos ismeretekkel, fontos szerepet töltenek be, mert ezáltal is tisztul a kultúra. A tudósok felelősége és feladata az élet bármely területén felbukkanó



1. ábra. A Csillagok háborúja V. (2.): A Birodalom visszavág (1980) című filmbeli AT-AT birodalmi lépegető nevű négy lábú szerkezetek BH-JE-JH-BE rossz lépéssorrendje

tévedésekre felhívni a figyelmet és azokat lehetőség szerint kijavítani. Ily módon például a kutatók szerepköre az áltudományos téveszmék elleni harc is. Az utóbbiak persze sokkal nagyobb kárt okoznak a társadalomnak, mint például a film- és képzőművészeti alkotásokban elkövetett hibák, de mindkettő ellen érdemes és kell is harcolni.

Írásunkban arra vállalkozunk, hogy a látványtechnikai szempontból jelentős híres filmekben és magyar rajzfilmekben biomechanikai szemszögből elemezzük a négy lábú állatok utánozó robotok, kézzel rajzolt és számítógéppel animált négy lábúak lépéssorrendjét [14]. Vizsgálataink előzményeként biofizikusok ezernél is több képen (festményen, grafikán,



2. ábra. A Csillagok háborúja IV. (1.): Egy új remény (1997) című film fölújított változatában látható négy lábú animált állat jó, BH-BE-JH-JE lépéssorrendje



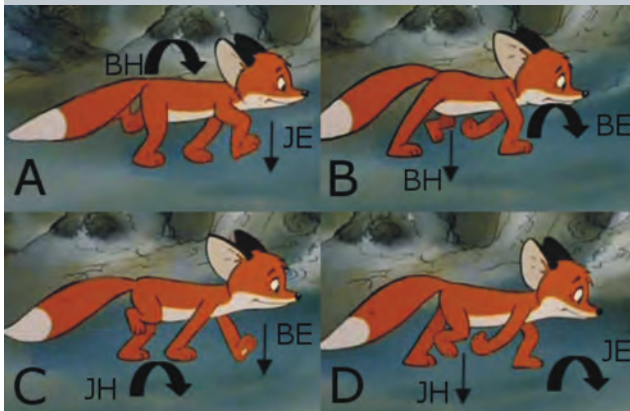
3. ábra. A *Jurassic park III.* (2001) című filmben látható Diplodocus BH-BE-JH-JE jó lépéssorrendje

szobron, bélyegen, domborművön, őskori barlangfestményeken) vizsgálták, hogy a négylábú állatok, főleg lovak járáskori lábtartásait a művészeti alkotásokban, állatanatómiai tankönyvekben és természettudományi múzeumokban mennyire valóságosan ábrázolják [15, 16, 17, 18]. Igen nagy hibarátát találtak, ami az idővel csökkent, de még manapság is nagyobb, mint az őskori barlangi ábrázolások (rajzok, festmények, vésetek) hibarátája, azaz meglepő módon az ősember sokkal valóságosabban ábrázolta a négylábúak járását, mint a modernkori művészek zöme.

### Filmekbeli négylábú animációk

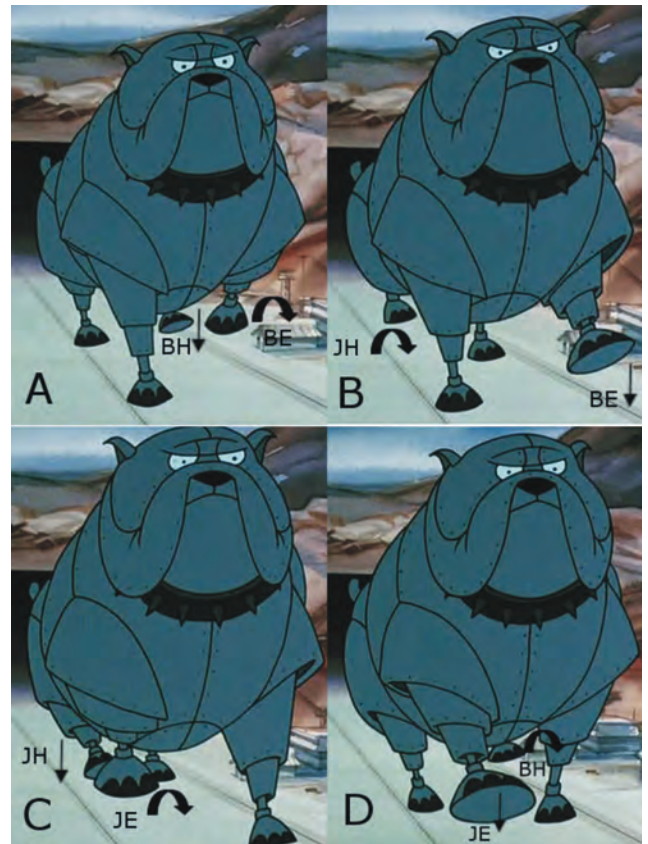
*Eadweard James Muybridge* (1830–1904) angol/amerikai fotográfus úttörő munkássága óta tudható, hogy a négylábú állatok lassú és gyors járásának lépéssorrendje mindig a bal hátsó (BH) – bal első (BE) – jobb hátsó (JH) – jobb első (JE) mintát követi fajtól/fajtától függetlenül. E lépéssorrend biztosítja ugyanis a

4. ábra. A *Vuk* (1981) rajzfilmbeli Kag öreg róka helyes BH-BE-JH-JE lépéssorrendje



legnagyobb állásszilárdságot járás közben. Az **1. táblázatban** foglaltuk össze azon filmeket, amelyek négylábú animációinak járását elemeztük annak kiderítése érdekében, hogy a valódi négylábúak BH-BE-JH-JE lépéssorrendjét követik-e vagy nem.

Az **1. ábra** képei a *Csillagok háborúja V. (2.): A birodalom visszavág* (1980) című filmből származnak. A *Csillagok háborúja* sorozat korai, Steven Spielberg 1993-ban forgatott *Jurassic park I.* című filmje előtti alkotásaiban még nem volt szempont, hogy a négylábú járás animációjakor a valódi négylábú állatok lépéssorrendjét kövessék. Az erre való igény csak azután jelentkezett, mikor Spielberg szakértőként kérte föl Jack Horner paleontológust. Az AT-AT birodalmi lépegetők lépéssorrendje (**1. ábra**) helytelen, hiszen a helyes BH-BE-JH-JE helyett a BH-JE-JH-BE sorrendet használják.

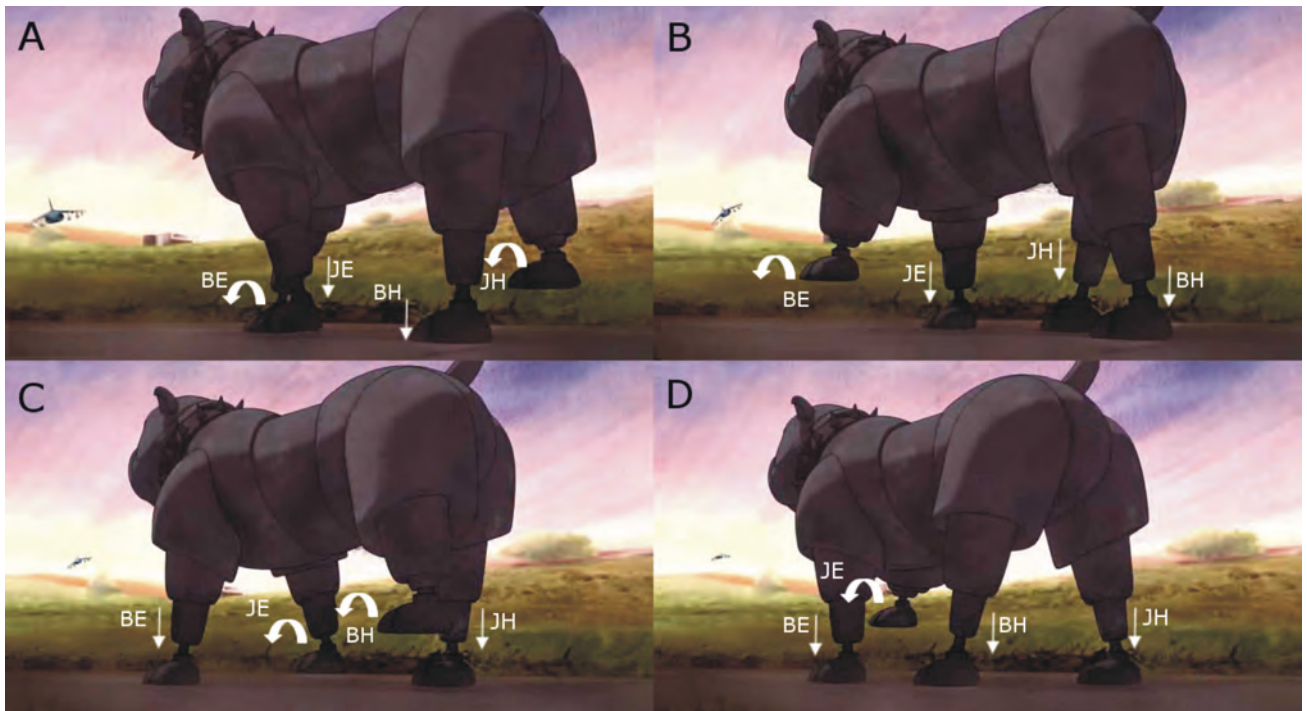


5. ábra. A *Macskafogó I.* (1986) rajzfilmbeli mechanikus kutya BH-BE-JH-JE jó lépéssorrendje

A *Csillagok háborúja IV. (1.): Egy új remény* (1997) című film fölújított változatában a **2. ábrán** látható négylábú állat lépéssorrendje a helyes BH-BE-JH-JE. A *Jurassic park III.* (2001) című filmben a négylábú dinoszauruszok jól járnak. Például a **3. ábrán** látható *Diplodocus* dinoszaurusz lépéssorrendje a helyes BH-BE-JH-JE.

A film címe	Év	Rendező	Négylábú animáció	Lépéssorrend
Csillagok háborúja I. (4.): Baljós árnyak	1999	George Lucas	lépegető térkivetítő	jó (ügetés)
Csillagok háborúja II. (5.): A klónok támadása	2002	George Lucas	négylábú harci gépezet	jó
Csillagok háborúja III. (6.): A Sith-ek bosszúja	2005	George Lucas	gyík	jó (ügetés)
Csillagok háborúja IV. (1.): Egy új remény	1977, 1997 (felújított)	George Lucas	négylábú állat	jó
Csillagok háborúja V. (2.): A birodalom visszavág	1980	Irvin Kershner	AT-AT birodalmi lépegető	rossz
Csillagok háborúja VII: Az ébredő Erő	2015	Jeffrey Jacob Abrams	nagytestű, lassú állat	járásnak rossz, (ügetésnek jó)
Jurassic park I.	1993	Steven Spielberg	Brontosaurus	jó
Jurassic park II.: Az elveszett világ	1997	Steven Spielberg	Stegosaurus	jó
Jurassic park III.	2001	Joe Johnston	Diplodocus	jó
Jurassic World	2015	Colin Trevorrow	Ankylosaurus	jó
A gyűrűk ura II.: A két torony	2002	Peter Jackson	harci elefánt	jó (tevejárás)
A gyűrűk ura III.: A király visszatér	2003	Peter Jackson	harci elefánt	jó (tevejárás)
Vuk	1981	Dargay Attila	Kag és Vuk	jó
Kis Vuk	2008	Gát György	Kis Vuk	jó
Macskafogó I.	1986	Ternovszky Béla	mechanikus kutya	jó
Macskafogó II.: A sátán macskája	2007	Ternovszky Béla	mechanikus kutya	rossz

**1. táblázat.** Filmek, melyek négylábú állatainak és/vagy gépezeteinek animált járását elemeztük. Filmsorozatok esetén római szám mutatja a sorszámot, míg a zárójelbeli arab szám a gyártási sorrendet jelöli, ha az eltér a sorszámától. A Csillagok háborúja VI. (3.): A jedi visszatér (1983, rendező: Richard Marquand) és A gyűrűk ura I.: A gyűrű szövetsége (2001, rendező: Peter Jackson) című filmekben nincsen négylábú animáció, ezért nem szerepelnek itt



6. ábra. A Macskafogó II.: A sátán macskája (2007) rajzfilmbeli mechanikus kutya rossz BH-JE-JH-BE lépéssorrendje

Mi a helyzet a magyar rajzfilmekkel? A *Vuk* (1981) című rajzfilm Fekete István azonos című regénye alapján készült a Pannónia Filmstúdióban Dargay Attila rendezésében. A 4. ábrán látható Kag öreg róka lépéssorrendje helyesen követi a BH-BE-JH-JE lépéssorrendet, mögötte pedig a *Vuk* kis róka szintén jó jármóddal üget. A *Macskafogó I.* (1986) című magyar-német-kanadai rajzfilmet Ternovszky Béla rendezte. A film végén látható mechanikus kutya 5. ábra szerinti lépéssorrendje helyes (BH-BE-JH-JE). A *Macskafogó II.: A sátán macskája* (2007) magyar rajzfilmbeli, 6. ábrán látható mechanikus kutya is csak a film végén jelenik meg, de BH-JE-JH-BE rossz lépéssorrenddel.

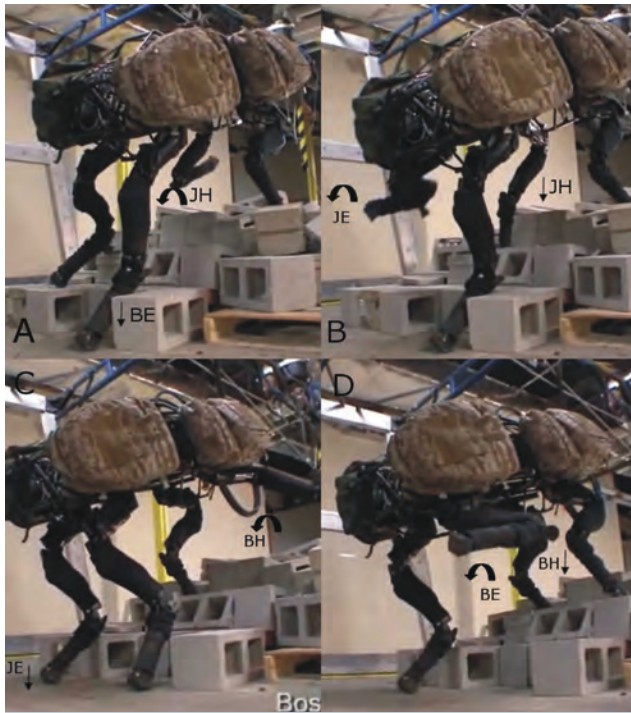
Az általunk elemzett legkorábbi animáció a *Csillagok háborúja V. (2.): A birodalom visszavág* című filmben megjelenő négy lábú birodalmi lépegető. E jelenetnél mozgatható maketteket használtak rossz lépéssorrenddel. Ekkor még nem tartották fontosnak a helyes járásábrázolást, hiszen az ilyen módszerrel készült jelenetekben a mozgás egyébként is darabos, kevésbé életszerű volt. Az első hollywoodi film, amelynél már figyeltek a helyes lépéssorrendre, Steven Spielberg *Jurassic parkja* (1993) volt. Spielberg Jack Horner paleontológus szakértői véleményét is figyelembe vette, aki föltehetően jól

ismerte Muybridge eredményeit. Az animációkért felelős cég az *Industrial Light and Magic* volt, amit George Lucas alapított a *Csillagok háborúja* filmsorozathoz.

Az 1. táblázatban feltüntetett többi négy lábú animáció lépéssorrendje helyes. Ezek az animációk a *Jurassic park* megjelenése után készültek. A *Csillagok háborúja IV. (1.): Egy új remény* (1977) című filmben megjelenő négy lábú állat lépéssorrendje helyes, de e jelenet csak az 1997-es fölújított és újra kiadott változatban jelent meg, tehát a *Jurassic park* után. Steven Spielberg filmjeiben a szakértő által felügyelt animációk meghozták az igényt a négy lábúak járásának filmkbeli helyes bemutatására.

2. táblázat. A Boston Dynamics négy lábú robotjai ([http://www.bostondynamics.com/robot\\_bigdog.html](http://www.bostondynamics.com/robot_bigdog.html)), amelyek mozgását elemeztük

robot neve	gyártás éve	jármód
Big Dog	2008	lassú járás, ügetés
Little Dog	2009	
LS3	2012	lassú járás, ügetés
Spot	2015	
Cheetah	2013	gepárdszerű vágta
Wild Cat	2013	



7. ábra. A Big Dog lassú járásban, BH-BE-JH-JE lépéssorrenddel megy át a téglákból épített akadályon

Figyelemre méltó módon a jóval a Jurassic park előtt készült Vuk (1981) és Macskafogó I. (1986) magyar rajzfilmekben a kézzel rajzolt animációk lépéssorrendje helyes, valamint a 2008-as *Kis Vuk* című számítógépes rajzfilmben is, azonban a Macskafogó II: A sátán macskája (2007) rajzfilmben rossz. Ennek az lehet az oka,

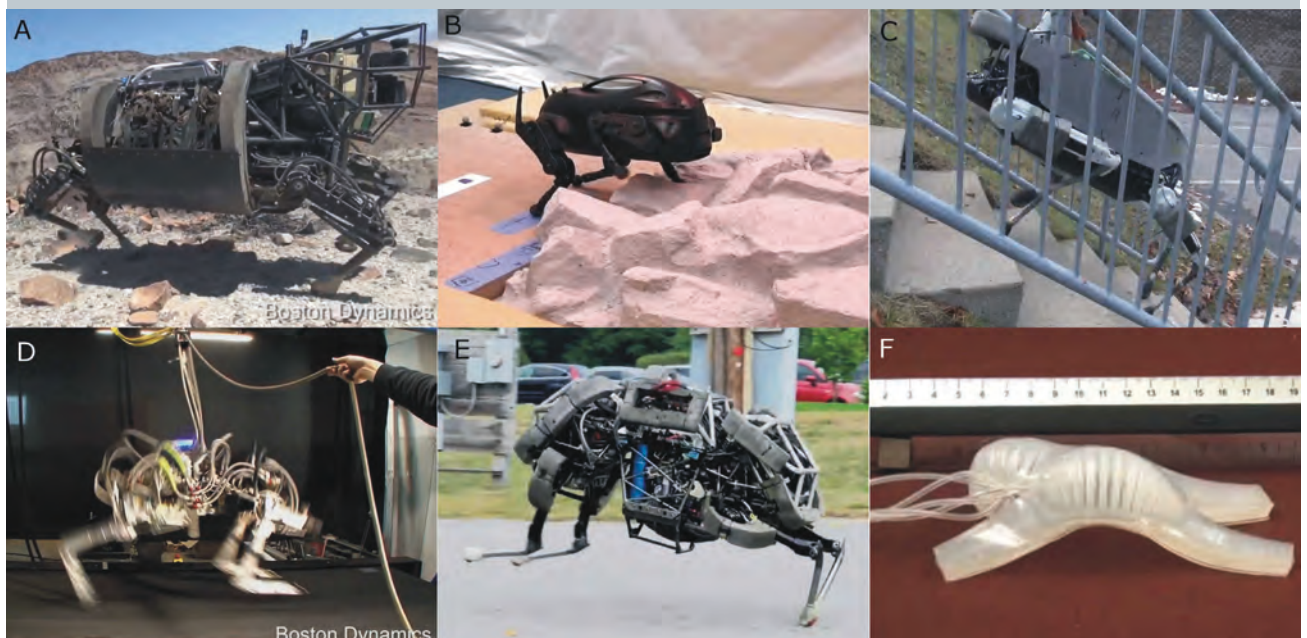
hogy Magyarországon nincsenek olyan animációkkal foglalkozó cégek, mint az *Industrial Light and Magic* Hollywoodban, ahol több filmhez is ugyanaz a csapat készíti az effektusokat, illetve már kialakult egy elfogadott számítógépes módszer az állati mozgások élethű illusztrációjára. Ternovszky Bélától tudjuk, hogy a Macskafogó I-ben az animátor az évtizedes tapasztalatai szerint kézzel rajzolva animált Muybridge eredményeinek ismeretében és a természet törvényei szerint.

A Macskafogó II-ben a számítógépes animátor egy olyan program szerint mozgatta a kutya lábait, amibe nem volt beépítve a néglábúak helyes lépéssorrendje, amit senki sem ellenőrzött.

### Néglábú robotok

Az elmúlt évtizedben a *Boston Dynamics* (Boston, USA) számos néglábú robotot fejlesztett ki, amelyek közül itt csak hetet mutatunk be a 7–8. ábrán, valamint a 2. táblázatban. A 7. ábra a *Big Dog* nevű robotot mutatja lassú járásban, mikor BH-BE-JH-JE lépéssorrenddel megy át egy téglákból épített akadályon. A mechanika törvényei állatokra és robotokra egyaránt érvényesek. A stabilitás a néglábú robotok esetén is nagyon fontos szempont, ezért a lehető legnagyobb állásbiztonságra törekednek a tervezőik. Nem véletlen, hogy a vizsgált robotok mindegyike lassú járáskor követi a néglábú állatok járására jellemző BH-BE-JH-JE legnagyobb állászilárdságot biztosító lépéssorrendet. Így képesek sokkal nehezebb terepen

8. ábra. A Boston Dynamics néglábú robotjai. (A) Az LS3 robot ügetése. (B) A Little Dog lassú járásban, BH-BE-JH-JE lépéssorrenddel megy át egy akadályon. (C) A Spot lassú járásban BH-BE-JH-JE lépéssorrenddel megy föl egy lépcsőn. (D) A Cheetah 46,7 km/h sebességű vágója. (E) A vágótázó Wild Cat. (F) A lassan mászó Soft robot



is gondtalanul járni és komoly terheket cipelni. Gyorsabb mozgáskor tudnak ügetni is, vagy akár gepárd módjára futni, vágtazni. Több robotot úgy terveztek, hogy mozgása utánozza valamelyik négylábú állatét. A 2013-ban megalkotott *Chettah* nevű robot (8D ábra) például a gepárd vágóját utánozva állított be sebességrekordot.

### Következtetések

A híres filmekbeli négylábú animációk elemzéséből kiderült, hogy grafikai fejlődésükkel együtt jelent meg az igény arra, hogy a négylábú mozgásokat minél létezőszerűbben, így minél helyesebben ábrázolják. A régebbi filmekben, amikor még makettek és képkockánkénti felvételt (*stop motion*) használtak, gyakrabban fordultak elő helytelen, nem valóságghú lépéssorrendek, mint a számítógéppel generált látványhatásokkal teli későbbi filmekben. Némely magyar rajzfilmben, örömteli módon, még a számítógépes animációk elterjedt használata előtt is helyesen ábrázolták a négylábú járást, majd furcsa módon éppen a számítógépes animációval készített folytatásban fordult elő hibás járásábrázolás.

GELLAI BENCE – HORVÁTH GÁBOR

### IRODALOM

[1] Schelken P. (1983) *Herman Ottó: Arany, Tompa, Petőfi és a népköltés mádvilága*. Szépirodalmi Könyvkiadó, Budapest [2] Krauss L. M. (1995) *The Physics of Star Trek*. Harper Perennial, New York [3] Gardner M. (1999) *Aha! Gotcha – Paradoxes to Puzzle and Delight*. W. H. Freeman and Company, New York [4] Lee R. L., Fraser A. B. (2001) *The Rainbow Bridge: Rainbows in Art, Myth, and Science*. Penn State University Press, Washington, USA [5] Kakalios J. (2005) *The Physics of Superheroes*. Gotham Books, New York [6] Merriam D. F., Charlton J. R., Hambleton W. W. (2006) *Kansas geology as landscape art: interpretation of geology from artistic works*. Kansas Geological Survey, Open-File Report 2006-11, 19 p. [7] Zerefos C. S., Gerogiannis V. T., Balis D., Zerefos S. C., Kazantzidis A. (2007) Atmospheric effects of volcanic eruptions as seen by famous artists and depicted in their paintings. *Atmospheric Chemistry and Physics* 7: 4027-4042 [8] Zerefos C. S., Tetsis P., Kazantzidis A., Amiridis V., Zeregos S. C., Luterbacher J., Eleftheratos K., Gerasopoulos E., Kazadzis S., Papayannis A. (2014) Further evidence of important environmental information content in red-to-green ratios as depicted in paintings by great masters. *Atmospheric Chemistry and Physics* 14: 2987-3015 [9] Thorne K. (2014) *The Science of Interstellar*. W. W. Norton & Company, New York [10] Szalainé Tóth T. (2015) Fertőző betegségek művészi felfogásban. *Élet és Tudomány* 70: 686-687 [11] Fikke S., Kristjánsson J. E., Nordli O. (2017) Screaming clouds. *Geophysical Research Abstracts* 19. EGU2017-16489 [12] Lente G. (2017) Van Gogh hervadó festményei. *Természet Világa* 148: 342-345 [13] Herczeg J. (2017) Honnan nézte Poszeidón Trója ostromát? *Természet Világa* 148: 359-361 [14] Gellai B.

(2018) *Négylábú gépezetek és animációk járásának biomechanikai elemzése: Rygg mechanikus lovától a Wild Cat robotig*. B.Sc. Diplomamunka, ELTE Biológiai Fizika Tanszék, Budapest, 65 o. (témavezető: Horváth Gábor) [15] Horváth G., Csapó A., Nyeste A., Gerics B., Csorba G., Kriska G. (2009) Erroneous quadruped walking depictions in natural history museums. *Current Biology* 19 (2): R61-R62 [16] Horváth G., Csapó A., Nyeste A., Gerics B., Csorba G., Kriska Gy. (2009) Járásábrázolások - hibákkal. *Természet Világa* 140: 302-305 [17] Horváth G., Farkas E., Boncz I., Blahó M., Kriska G. (2012) Cavemen were better at depicting quadruped walking than modern artists: Erroneous walking illustrations in the fine arts from prehistory to today. *PLoS ONE* 7 (12): e49786 [18] Farkas E., Horváth G., Boncz I., Kriska Gy. (2012) Az ősember helyesebben ábrázolta a négylábúak járását, mint a modern művész: Hibás művészeti járásábrázolások az őskortól napjainkig. *Fizikai Szemle* 62: 12-20

### E SZÁMUNK SZERZŐI

BABINSZKI EDIT, PhD, geológus, Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest; BAGDY GYÖRGY, gyógyszerész, az MTA doktora, egyetemi tanár, Semmelweis Egyetem Gyógyszerhatástani Intézet, NAP-2-SE Új Antidepresszív Gyógyszercélpont Kutatócsoport, Budapest; FIÁTH RICHÁRD, tudományos munkatárs, MTA Természettudományi Kutatóintézet, Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet, Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Információs Technológiai és Bionikai Kar, Budapest; GÁSPÁR ANITA, informatikus könyvtáros, Magyar földtani és Geofizikai Intézet, Budapest; GELLAI BENCE, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Biológiai Fizika Tanszék, Budapest; HORVÁTH GÁBOR, egyetemi docens, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Biológiai Fizika Tanszék, Budapest; LADÁNYI LÁSZLÓ, geográfus, Budapest; MÁRTON GERGELY, PhD, tudományos munkatárs, MTA Természettudományi Kutatóintézet, Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet, Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Információs Technológiai és Bionikai Kar, Budapest; NÁNÁSI TIBOR, MTA Természettudományi Kutatóintézet, Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet, Budapest; SOMOGYI BOGLÁRKA, PhD, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet, Tihany; PAPP PÉTER, geológus, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest; PETSCHNER ANNA, tudományos segédmunkatárs, Semmelweis Egyetem Gyógyszerhatástani Intézet, Budapest; PETSCHNER PÉTER, gyógyszerész, PhD, MTA-SE Neuropszichofarmakológiai- és Neurokémiai Kutatócsoport, Semmelweis Egyetem, Gyógyszerhatástani Intézet, Budapest; TÓTH MÓNIKA, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet, Tihany; ULBERT ISTVÁN, PhD, DSc, tudományos tanácsadó, MTA Természettudományi Kutatóintézet, Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet, Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Információs Technológiai és Bionikai Kar, Budapest; VENETIANER PÁI, akadémikus, MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont, Biokémiai Intézet, Szeged; VÖRÖS ATTILA, geológus, MTM Őslénytani és Földtani Tár, Budapest; VÖRÖS LAJOS, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet, Tihany.