

elektronszórás rendszámfüggésének x kitevője függ a gyorsítófeszültségtől.

Röviden és szemléletesen úgy összegezhethetjük a fenti magyarázatot, hogy egyre növekvő gyorsítófeszültségnél egyre kevésbé árnyékolják le az atommagokat saját elektronjaik.

A tömegvastagság ismeretének hasznosítása az elektronsugaras röntgen mikroanalízisben

A vékonyrétegek elektronsugaras röntgen mikroanalízisben nagy jelentősége van a tömegvastagság ismeretének, ugyanis a vékony mintákban elektronbesugárással kiváltott röntgensugárzás intenzitása ($I_{\text{rfg},i}$) lineárisan függ a minta tömegvastagságától. Egy n -komponensű mintára:

$$I_{\text{rfg},i} = k_i c_i \rho D f_i, \quad i = 1, \dots, n,$$

ahol k_i arányossági tényező, amely ismert vastagságú, egykomponensű rétegek segítségével meghatározható, c_i az i -edik elem koncentrációja, ρ a minta sűrűsége, D a minta lineáris vastagsága, ρD a minta tömegvastagsága, f_i korrekciós tényező, amely a röntgensugárzás mintában való abszorpcióját és fluoreszcenciáját veszi figyelembe, értéke vékony rétegekre 1.

Egy n -komponensű mintánkra n darab egyenlünk van, de az ismeretlenek száma $n+1$ (a minta tömegvastagsága ρt az $(n+1)$ -edik ismeretlen). Ha nem ismerjük a tömegvastagságot, akkor a koncentrációk 100%-ra való normálására kényszerülünk, ami sok pontatlanságot okozhat kis koncentrációjú komponenseknél a nem mért vagy pontatlanul mérhető könnyű elemek miatt. Végző soron az együttes röntgenmérés és elektronintenzitás-mérés azt eredményezi, hogy az ismeretlenek és a rendelkezésre álló

egyenletek száma megegyezik. A koncentrációk összegének 100%-tól való eltérése jól használható a mérések pontosságának jellemzésére, továbbá felhívhatja a figyelmet a vékonyréteg kritériumtól való eltérésre ($f_i \neq 1$) és szükség esetén a röntgensugárzás mintában történt abszorpciójának a korrekciójára.

Összefoglalás

Összefoglalva elmondhatjuk, hogy 200 kV-on vagy ennél nagyobb gyorsítófeszültségeken az elektronok szórására teljesül a Rutherford-közelítés, azaz a Z^2 -es rendszámfüggés. Ezt a tényt jól lehet hasznosítani a transzmissziós elektronmikroszkópban végrehajtott tömegvastagság-mérésben és kvantitatív elektronsugaras mikroanalízisben.

Irodalom:

1. Pozsgai I.: Szupravezető röntgendetektorok. *Fizikai Szemle* 56/4 (2006) 109.
2. I. Pozsgai, Á. Barna: Wavelength-dispersive microanalysis in the transmission electron microscope. *Scanning Electron Microscopy 2* (1983) 585–601, SEM Inc. AMF O'Hare (Chicago) IL 60666, USA
3. I. Pozsgai: Thickness determination by measuring electron transmission in the TEM at 200 kV. *Ultramicroscopy* 68 (1997) 69–75.
4. I. Pozsgai: Mass thickness determination and microanalysis of thin films in the TEM – revisited. *Ultramicroscopy* 107 (2007) 191–195.
5. L. Reimer: Zur Elektronenabsorption dünner Metallaufdampfschichten im Elektronenmikroskop. *Zeitschrift für Angewandte Physik* (1957) 34–38.
6. F. Lenz: Zur Steuerung mittelschneller Elektronen in kleinste Winkel. *Zeitschrift für Naturforschung* (1954) A9, 185.
7. G. Molière: Theorie der Steuerung schneller geladener Teilchen. *Zeitschrift für Naturforschung* (1949) A2, 133.
8. E. Ruska, *Zeitschrift für Naturforschung* (1938) 402.
9. R. F. Egerton: *Electron Energy-Loss Spectroscopy in the Electron Microscope*. Plenum Press, New York and London, 1986. p. 291
10. L. Reimer: *Transmission Electron Microscopy*. Springer Series in Optical Sciences, Springer-Verlag, Berlin, 1984. p. 146

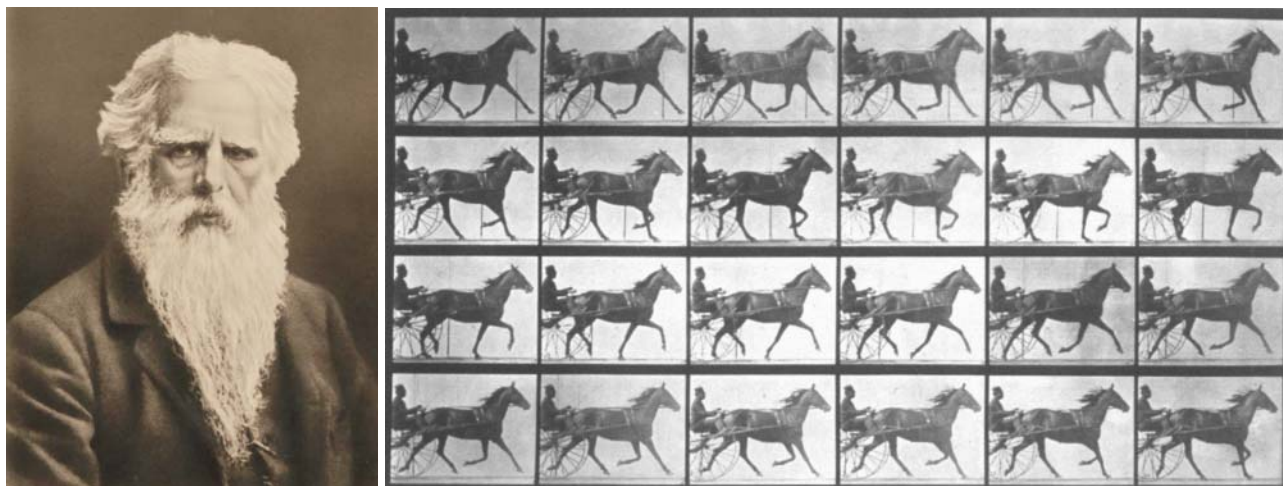
AZ ŐSEMBER HELYESEBBEN ÁBRÁZOLTA A NÉGYLÁBÚAK JÁRÁSÁT, MINT A MODERN MŰVÉSZ

Hibás művészeti járásábrázolások az őskortól napjainkig

Farkas Etelka, Horváth Gábor, ELTE, Fizikai Intézet, Biológiai Fizika Tanszék, Budapest
Boncz Ildikó, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Fizika Tanszék, Szombathely
Kriska György, ELTE, Biológiai Intézet, Biológiai Szakmódszertani Csoport, Budapest

Az állati mozgásnak egy több százmillió éves evolúción alapuló, tudományos úton vizsgálható biomechanikai szabályrendszere van, amit először Eadweard Muybridge (1830–1904) skót származású amerikai fényképész dokumentált. Az 1887-ben publikált *Animal Locomotion* című könyvsorozat megjelenésével bárki utánanézhethet annak, hogy a négy lábú állatok miként járnak. Azt gondolhatnánk, hogy az

azóta eltelt több mint 120 év elegendő volt ahhoz, hogy Muybridge úttörő munkássága kibathasson a négy lábúak képzőművészeti járásábrázolásának helyességére. Azonban azt tapasztaltuk, hogy a Muybridge műveinek megjelenése után készült festmények, domborművek, grafikák és lovasszobrok számtalán hibásan jelenítik meg a négy lábúak járását. Célunk annak kiderítése volt,



1. ábra. Eadweard Muybridge (1830–1904) fényképportréja és egy részlet az *Animal Locomotion* című könyvéből.

bogy az 1887 után készült képzőművészeti négylábú járásábrázolásoknál javult-e a helyes ábrázolások aránya az 1887 előttiékhöz képest. Muybridge munkásságának a képzőművészetekre kifejtett hatását ezer darab, 1887 előtt és után készített, négylábú állatok lassú járását ábrázoló festmény, grafika, dombormű és lovasszobor fényképének biomechanikai elemzésével és ezek összehasonlításával vizsgáltuk. Arra az eredményre jutottunk, hogy a Muybridge (1887) előtt készített négylábú járásábrázolások hibaráta 83,5% volt, míg a Muybridge (1887) után készítetté 57,9%. E 25,6%-os javulásból arra lehet következtetni, hogy a művészek egy hányada ismerhette Muybridge munkásságát és figyelembe vette Muybridge idevonatkozó eredményeit a négylábúak járásának képzőművészeti ábrázolásakor. Ezen kívül érdekes eredményre vezetett az őskori járásábrázolások vizsgálata, amennyiben kiderült, hogy ezek hibaráta csak 46,2% volt, ami jóval kisebb, mint az őskor utáni járásábrázolásoké. Ezek szerint az ősemberek jobban megfigyelték és így pontosabban ábrázolták sziklafestményeiken és -véseteiken a négylábú zsákmányállataik járását.

A lehető legnagyobb állásszilárdságot biztosító lépéssorrend minden négylábú állat járására azonos. Ennek képlete –BH–BE–JH–JE–, ahol BH a bal hátsó lábat, BE a bal első lábat, JH a jobb hátsó lábat, JE pedig a jobb első lábat jelenti [1–6]. Ezt először a skót származású amerikai fényképész, Eadweard Muybridge (1830–1904) (1. ábra) fedezte föl, amikor számos négylábú állat mozgásáról készített fényképfelvétel-sorozatokat. Az eredményeit összefoglaló főműve 1887-ben jelent meg *Animal Locomotion* [7] címmel.

Ily módon tehát 1881–1899 óta tudhatjuk, hogyan járnak a négylábú állatok. Azt gondolhatnánk, hogy az azóta eltelt idő elegendő volt ahhoz, hogy a lovakat és más négylábú állatokat ábrázoló képzőművészek megtanulhatták helyesen ábrázolni ezen állatok járását. A tapasztalat viszont nem ezt mutatja. Még manapság is rengeteg helytelen művészeti járásábrázolásra bukkanhat a témában járatos megfigyelő [8–10]. Ilyen hibák

tömkelege fordul elő például tudományos és művészeti állatanatómiai tankönyvekben [11].

Az ember történelme során a négylábú állatok közül a ló játszotta a legnagyobb szerepet. Az őskori barlangrajzokon is jóval az emberábrázolás előtt jelent meg a ló ábrázolása, és a képzőművészeti ágak további fejlődése folyamán is a ló szerepelt legtöbbször az állatokat, mint fő- vagy melléktémát ábrázoló műalkotások között. Mivel a ló lassú járásának egyes mozzanatai is már csak nagy nehézségek árán figyelhetők meg, ezért nem csodálkozhatunk azon, hogy a képzőművészek nem mindig ábrázolják helyesen a négylábúak járását. Csak a fényképezés, majd később a mozgófilm technológiájának föltalálása után vált lehetővé a járás részleteinek megfigyelése és tudományos értékű dokumentálása. Ennek ellenére Muybridge munkásságának 1904-es befejeződése után is számtalan járásábrázolási hiba fordul elő a legújabb műalkotásokban is [8].

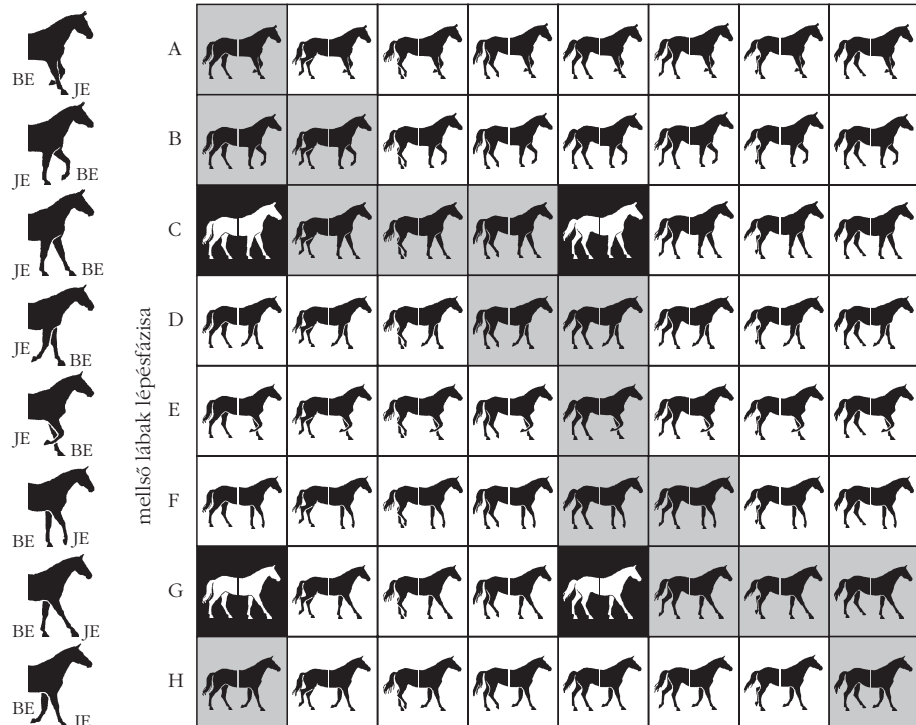
Kutatásunk célja annak vizsgálata volt, hogy Muybridge munkássága mennyire volt befolyással a lójárási képzőművészeti ábrázolásaira. Ehhez négylábú állatok 1000 művészeti járásábrázolását gyűjtöttük össze különféle forrásokból. E műalkotásokat a következő három csoportra osztottuk: (i) őskori járásábrázolások, (ii) az *Animal Locomotion* 1887-es megjelenése előtti járásábrázolások, (iii) az *Animal Locomotion* 1887-es megjelenése utáni járásábrázolások. Ezek helyességét elemeztük biomechanikailag egy jól bevált módszerrel [6, 9, 10].

Az állatok ábrázolása egészen az őskorig nyúlik vissza, amikor az ősemberek barlangrajzokkal és -vésetekkel örökítették meg a különböző zsákmányállataikat. Mivel az állatok megfigyelése számukra nemcsak szórakozást jelentett, hanem a túlélésüket is segítette, ezért föltételezhetjük, hogy a természethez nem olyan szorosan kötődő, attól kevésbé függő leszármazottaikhoz képest a sziklarajzokat és -véseteket készítő ősemberek jobban megfigyelték, és ezáltal talán élethűbben ábrázolták az állatok járását is. Érdekes kérdés, hogy vajon ez tényleg így volt-e. Ezért gyűjtöttünk és elemeztünk számos őskori járásábrázolást is.



jukra merőlegesen kettévágtuk e lovakat. Így 8 darab mellső és 8 darab hátsó, egyenként különböző lábpármozdulathoz jutottunk a 2. ábrán látható módon, amelyek közül a mellsőket A, B, C, D, E, F, G, H betűkkel jelöltük, míg a hátsókat a, b, c, d, e, f, g, h betűkkel. Ezen mellső és hátsó lábpármozdulatokat minden lehetséges módon párba állítottuk, miáltal a 2. ábra szerinti 8×8-as táblázatot kaptuk, amit *járásmátrix*nak hívunk. A járásmátrix elemeinek (celláinak) jelölésénél az első, nagybetűs karakter a mellső, a második, kisbetűs karakter pedig a hátsó lábpárra utal.

A járásmátrixban a helyes lépésfázisú elemek feketék, ha a talajon van mind a négy láb, és szürkék, ha egy vagy két láb van a levegőben, míg a helytelen lépésfázisú elemek fehérek. A helyes lépésfázisokat úgy kaptuk, hogy az összes négylábú lassú és gyorsított járására jellemző –BH–BE–JH–JE– lépéssorrendnek megfelelően végigkövettük a talajon és levegőben



2. ábra. Balról jobbra haladó lovak mellső és hátsó lábai lépésfázisainak 8×8-as járásmátrixa, amelyben a sorok a mellső lábpár, az oszlopok pedig a hátsó lábpár 8-8 eltérő helyzetét tartalmazzák. Egy adott cellában a cella sorához tartozó mellső lábpár áll párban a cella oszlopának megfelelő hátsó láppárral. A négylábú járásábrázolás valóságú, helyes fázisainak a fekete és szürke cellák felelnek meg, míg a fehér cellák nem valóságú, helytelen fázisok.

Vizsgálati módszer

Négylábú járásábrázolások gyűjtése

Elemzéseink alapjául képzőművészeti alkotások, festmények, domborművek és szobrok fényképei szolgáltak. E képek különböző nyomtatott és elektronikus médiából származtak (például [11]). Csak négylábúak olyan járását ábrázoló művekkel foglalkoztunk, amelyekben az állat egyértelműen jár: egy vagy két lába a levegőben van, vagy éppen talajt fog, azaz két- vagy háromláb-alátámasztásról van szó. Munkánk legidőigényesebb része maga a járásábrázolások összegyűjtése volt, amiben az Internet sokat segített, de még ott sem könnyű a statisztikai elemzéshez elegendő számú járásábrázolást összegyűjteni.

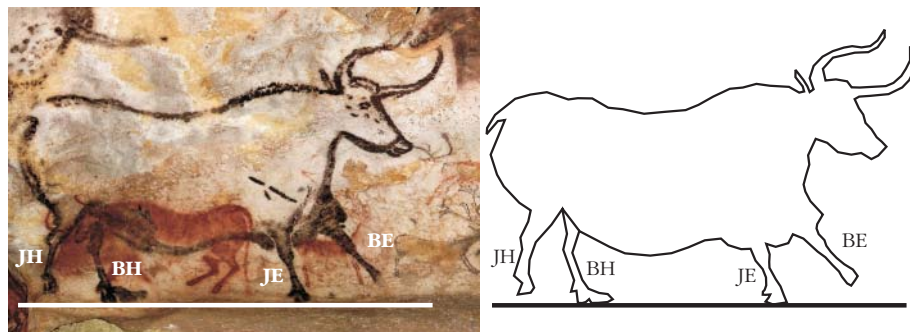
Állatábrázolások elemzése

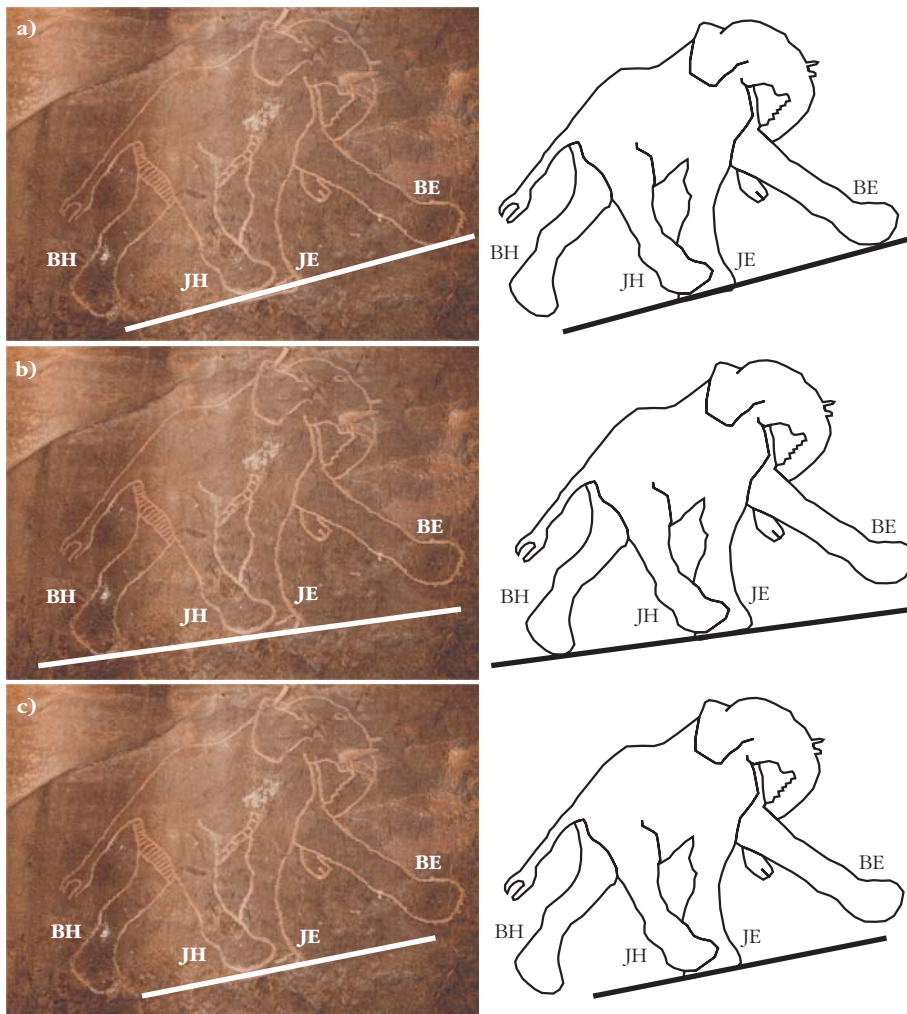
Vettük a négylábú állatok járásciklusa 8 fő mozzanatának oldalról történő ábrázolását (8 lépő fekete lókontúrt). A függőleges hosszanti felező sík-

lévő lábak egymáshoz képesti helyzeteinek sorozatát, és megkerestük a járásmátrix ezeknek megfelelő celláit.

Mivel a járásmátrix négyláb-alátámasztásos elemei (ahol mind a négy láb a talajon van) mindig helyes, valóságú járásábrázolást jelentenek, ezért az ilyen ábrázolásokat kirekesztettük a vizsgálataink köréből. Négyláb-alátámasztáskor két általános eset létezik: az egyiknél a talajon nyugvó lábak végei egy trapéz (járásmátrix *Ce* és *Ga* cellái), a másiknál pedig megközelítőleg egy paralelogrammát (járásmátrix *Ca* és *Ge* cellái) alkotnak. A kétláb-alátámasztásos járásábrázolásoknál körültekintő elemzésre volt szükség, mivel itt

3. ábra. Szarvasmarha ábrázolása a francia Lascaux barlangból (<http://www.donsmaps.com>).





4. ábra. Elefánt ábrázolása a líbiai Tadrart Acacus mellett (<http://www.galuzzi.it>).

c) csak a JH és JE lábak érik a talajt, a BH láb fölemelési, a BE láb pedig letevési fázisban van. E három esetben a járásábrázolás járásmátrixbeli cellája rendre a *Be*, *Cf* és *Bf*, amelyek mind helytelenek.

Összesen 39 hasonló őskori járásábrázolást elemeztünk, amiből $J = 21$ volt jó és $H = 18$ volt hibás. Ez $r = H/(J+H) = 18/39 = 46,2\%$ hibaráttát jelent. Az őskori járásábrázolások járásmátrixbeli eloszlását az 1. táblázat mutatja.

Őskor utáni járásábrázolások

Az 5. ábrán Benozzo Gozzoli *Magnus Balthazar körmenete* című, Muybridge előtti festményén helyes a lójárás, mivel a járásábrázolás a járásmátrix *Ba* cellájába esik. A 6. ábrán Győrfi Lajos III. Jan Sobieski lengyel királyt ábrázoló, Muybridge utáni lovaszobra esetén szintén helyes a lójárás, mert a járásábrázolás a járásmátrix *Ee* cellájába tartozik.

A 7. ábra Leonardo da Vinci egyik lórajzát mutatja. E Muybridge előtti járásábrázolás helytelen, mert a járásmátrix *Eb* cellájába esik. A 7.c ábrán egy lehetséges javítási mód látható, amikor a hátsó lábakat megtartottuk és a mellső lábak tartását úgy javítottuk, hogy az így

pontosan föl kellett térképezni a lábak fázisát, a nyak, farok, sörény, fej és törzs tartását is.

Az őskori képek elemzésénél gyakran gondot jelentett, hogy az állatok alá nem rajzoltak talajt, ami miatt nem mindig egyértelmű a lábak helyzete a talajhoz képest. E bizonytalanság miatt az őskori rajzokon és véseteken feltüntettük a talaj általunk föltételezett logikus irányját. A talaj egyenesét mindig úgy rajzoltuk be, hogy legalább egy hátsó és egy mellső láb legyen a talajon.

Eredmények

Őskori járásábrázolások

Példaként csak két őskori járásábrázolást hozunk föl, egy barlangfestményt és egy sziklavésetet. A 3. ábrán látható szarvasmarha BH és JE lábai a talajon vannak, a JH lábát éppen emeli, a BE lábát pedig a földre teszi. E helyes járásábrázolás a járásmátrix *Bb* cellájába tartozik.

A 4. ábra elefántjánál három eset lehetséges: a) a JH, JE és BE lábak a talajon helyezkednek el, a BH láb pedig a levegőben van; b) az elefánt a BE lábát éppen fölemeli, a JH, JE és BH lábai pedig a talajon vannak;

rix *Eb* cellájába esik. A 7.c ábrán egy lehetséges javítási mód látható, amikor a hátsó lábakat megtartottuk és a mellső lábak tartását úgy javítottuk, hogy az így

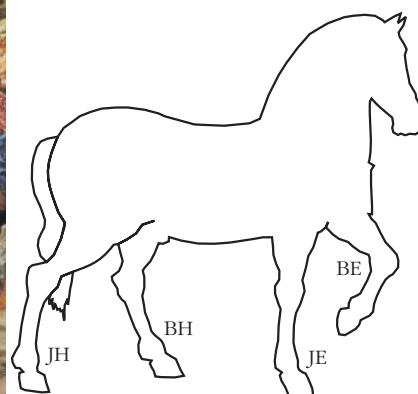
1. táblázat

A járásmátrix celláiban elhelyezkedő helyes (szürke) és helytelen (fehér) őskori járásábrázolások száma

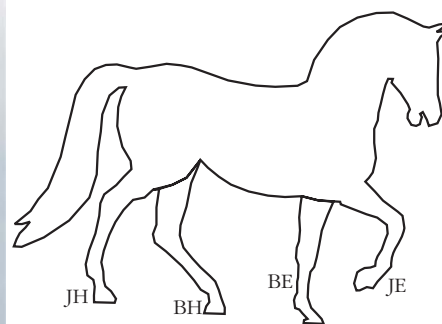
	a	b	c	d	e	f	g	h
A								
B	3	6			3	4		
C		3				1		
D	1					1		1
E								
F		3			3	1		1
G				1		1		
H		1				1		4

adódó helyes járásábrázolás a járásmátrix *Gb* cellájába essen. A 7.d ábrán a mellső lábakat tartottuk meg és a hátsó lábak tartását úgy módosítottuk, hogy az eredményül kapott helyes járásábrázolás a járásmátrix *Ee* cellájába essen. A 8. ábra Anna Hyatt Huntington *Monumento el Cid* című lovasszobrát mutatja. E Muybridge utáni lójáras-ábrázolás is helytelen, mert a járásmátrix *Bd* cellájába esik. A 8.c ábrán a hátsó lábak megtartásával úgy javítottuk a mellső lábak tartását, hogy az így adódó helyes járásábrázolás a járásmátrix *Cd* cellájába essen. A 8.d ábrán pedig a mellső lábakat tartottuk meg és a hátsó lábak tartását azonképpen javítottuk, hogy az így kapott helyes járásábrázolás a járásmátrix *Bb* cellájába essen.

Az őskoriak kivételével összesen 961 járásábrázolást gyűjtöttünk és elemeztünk. Ebből $J = 334$ volt jó, és $H = 627$ volt hibás, ami $r = 627/961 = 65,2\%$ hibaráta-t jelent. Összesen 1000 (őskori és őskor utáni) járásábrázolást vizsgáltunk, melyekből $J = 355$ volt jó, és $H = 645$ volt hibás, ami $r = 645/1000 = 64,5\%$ hibaráta-nak felel meg. Mivel az is ér-



5. ábra. Benozzo Gozzoli *Magnus Balibazar körmenete* (<http://www.abcgallery.com>) című, Muybridge előtti festményén a lójáras ábrázolása helyes, mert a járásmátrix *Ba* cellájába esik.



6. ábra. Győrfi Lajos III. Jan Sobieski lengyel királyt ábrázoló (Párkány), Muybridge utáni lovasszobrán (Horváth Gábor fényképe) a lójáras ábrázolása helyes, mert a járásmátrix *Ee* cellájába esik.

2. táblázat

A járásmátrix celláiban elhelyezkedő helyes (szürke) és helytelen (fehér) járásábrázolások száma a Muybridge előtti művek esetén az őskoriak kivételével

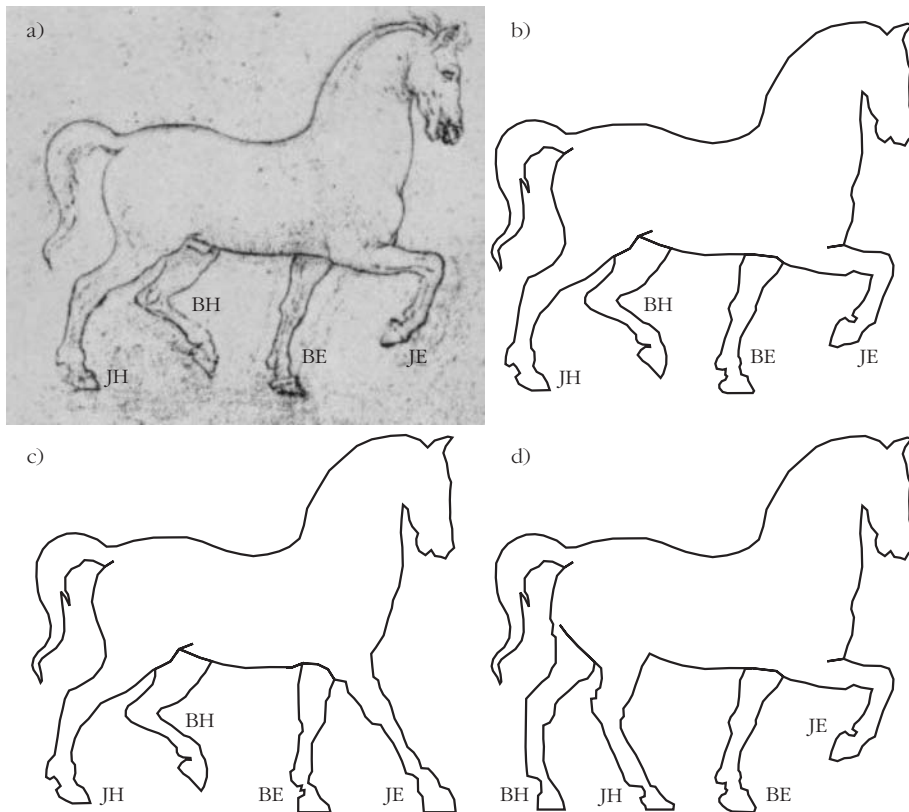
	a	b	c	d	e	f	g	h
A	1		2	4				
B	17	9	7	35	5	3	5	17
C			1	1			1	1
D					4		1	3
E	6		5	5	6	1	21	53
F	4				2		9	33
G		1	1	1				3
H				1	1		1	1

3. táblázat

A járásmátrix celláiban elhelyezkedő helyes (szürke) és helytelen (fehér) járásábrázolások száma a Muybridge utáni művek esetén

	a	b	c	d	e	f	g	h
A	23	9	9	11	1			1
B	52	24	29	73	30	3	6	7
C		10	10	11		2	3	2
D	5		1	12	26	9	5	3
E	7	2	1	6	25	13	31	37
F	22	4		2	21	22	13	36
G		4	1			9	15	15
H	12	1		1	1	2	4	2

dekltek bennünket, hogy változott-e a hibaráta Muybridge munkássága következtében, ezért külön vettük az 1887 előtt és után készített járásábrázolásokat az őskoriak kivételével. A Muybridge előtről származó képzőművészeti járásábrázolások járásmátrixát a 2. táblázat mutatja. A 272 elemezhető eset közül a jó járásábrázolások száma $J = 45$ volt, a hibásoké pedig $H = 227$, így a hibaráta $r = 227/272 = 83,5\%$. A Muybridge utáni művek járásmátrixát a 3. táblázat szemlélteti.



7. ábra. Leonardo da Vinci (http://www.davincisketches.com), Muybridge előtti rajzán (a) és annak vázlatán (b) a lójárás ábrázolása helytelen, mert a járásmátrix *Eb* cellájába esik. (c) A hátsó lábak megtartásával így lehetne javítani a mellső lábak tartását, amikor a helyes járásábrázolás a járásmátrix *Gb* cellájába esik. (d) A mellső lábak megtartásával így lehetne javítani a hátsó lábak tartását, amikor a helyes járásábrázolás a járásmátrix *Ee* cellájába esik.

A 686 Muybridge utáni járásábrázolás közül $J = 289$ volt jó és $H = 397$ volt hibás, ami $r = 397/686 = 57,9\%$ -os hibarátának felel meg.

Külön elemeztük a lovasszobrokat, valamint a festményeket, grafikákat és domborműveket. A 359 lovasszoborból a jó járásábrázolásúak száma $J = 124$ volt, míg a hibásoké $H = 235$, ami $r = 235/359 = 65,5\%$ -os hibarátát jelent. Az elemzett festmények, rajzok és domborművek száma 602 volt. Ebből $J = 210$ volt jó, és $H = 392$ bizonyult hibásnak, ami $r = 392/602 = 65,1\%$ -os hibarátára vezetett. A 829 lóábrázolás (őskori és őskor utáni festmény, rajz, dombormű, lovasszobor) közül $J = 244$ volt jó, és $H = 585$ volt hibás. Ez $r = 585/829 = 70,6\%$ -os hibarátát jelent.

Elemzés

Egy korábbi hasonló vizsgálatban [6, 9, 10] 307 darab két- és háromláb-alátámasztásos négylábú járásábrázolás hibarátáit határoztuk meg:

- A budapesti, bécsi, oslói, oului, firenzei és a Világhálón talált *természettudományi múzeumok*beli kitömött emlősök járásábrázolásainak 41,1%-a volt rossz.

- A Van Dyke, McKenzie és Jonas *múzeumi termékkatalógusok*beli járásábrázolások 43,1%-a bizonyult helytelennek.

- Az *állatanatómiai tankönyvek*ben található emlősök (főleg lovak) járásának 63,6%-a volt hibás.

- A Világhálón és egyéb forrásból gyűjtött *négylábú játékok állatfigurák* (zömében lovak) járásábrázolásainak 50%-a volt rossz.

- Az összes (307) vizsgált járásábrázolás közül a rossz ábrázolások aránya 46,6%-nak adódott.

- A négylábú járásábrázolások közül a *lovak* esetében 50,4%-os volt a hibaráta.

- A *lókalkatúak* (szamarak, őzek, szarvasok, zebrák, antilopok, impalák, gazellák, kuduk, okapik, dikdikiek, bongók, nyalák, oribik) járásábrázolásainak 43,4%-os volt a hibaránya.

- A *lovak és lókalkatúak* együttes járásábrázolásait tekintve, 48,2%-os hibarátát találtunk.

A 4. táblázat azon járásmátrixot mutatja, amelynek minden cellájában 1-es érték helyezkedik el annak érdekében, hogy szemléltessük a vakszerencséhez, a tökéletes véletlenszerűséghez tartozó valószínűség számítását: Ekkor a jó (J) és hibás (H) járásábrázolások száma $J = 16$ és $H = 44$,

4. táblázat

**Azon járásmátrix, amelynek minden cellájában 1 helyezkedik el.
Ekkor a jó (szürke, J) és hibás (fehér, H) járásábrázolások száma $J = 16$ és $H = 44$.
Ez $r = H/(H+J) = 44/60 = 73,3\%$ hibarátát jelent, ami a vakszerencsének, a teljes véletlenszerűségnek felel meg**

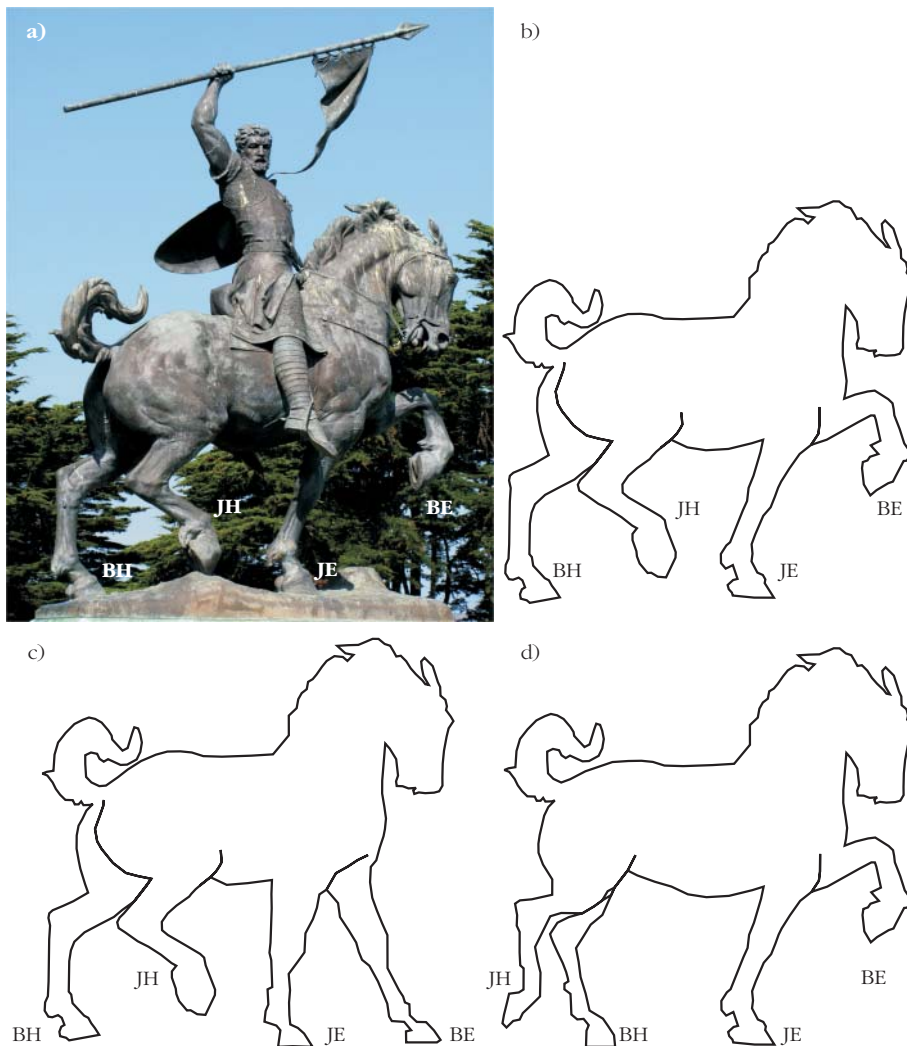
	a	b	c	d	e	f	g	h
A	1	1	1	1	1	1	1	1
B	1	1	1	1	1	1	1	1
C		1	1	1		1	1	1
D	1	1	1	1	1	1	1	1
E	1	1	1	1	1	1	1	1
F	1	1	1	1	1	1	1	1
G		1	1	1		1	1	1
H	1	1	1	1	1	1	1	1

ami $r = H/(H+J) = 44/60 = 73,3\%$ hibarátát jelent. Ha tehát egy művész teljesen véletlenül választaná meg az általa ábrázolandó négy lábú állat lábainak tartását, vagyis a vak-szerencsére bízna a járásmátrixból való választást, akkor 73,3% valószínűséggel követne el hibát.

Összefoglalva eredményeinket; a művészeti négy lábú járásábrázolások különböző kategóriák szerinti r hibarátái a következőképpen alakultak:

- Az *őskori járásábrázolások* (1. táblázat) hibaránya: $r = 46,2\%$.
- Az *őskor utáni járásábrázolások* hibaránya: $r = 65,2\%$.
- Az 1000 (*őskori és őskor utáni*) járásábrázolás hibaránya: $r = 64,5\%$.
- A *Muybridge előtti járásábrázolások* (2. táblázat) hibaránya: $r = 83,5\%$.
- A *Muybridge utáni járásábrázolások* (3. táblázat) hibaránya: $r = 57,9\%$.
- A *lovasszobrok* hibaránya: $r = 65,5\%$.
- A *festmények, rajzok és domborművek* együttes hibaránya: $r = 65,1\%$.
- A *lójárásképek* hibaránya: $r = 70,6\%$.

Az általunk vizsgált négy lábú járásábrázolások közül a legkisebb hibaránya, 46,2% az őskori járásábrázolásoknál fordult elő (1. táblázat), ami igen közel esik a korábban vizsgált [6, 9, 10] természettudományi múzeumi, anatómia-tankönyvi és játék állatfigurás járásábrázolások 46,6%-os hibarányához. Ez az 50%-hoz közeli hibavalószínűség azonban nem azt jelenti, hogy véletlenszerűen ábrázolták a négy lábúak járását. Ugyanis, ha megnézzük, hogy az összes lehetséges két-, illetve háromláb-alátámasztásos járásábrázolásból hány százalék a helytelen, akkor a 4. táblázat alapján azt találjuk, hogy ez 73,3%. Ehhez képest a 46,2%-os őskori hibaránya egészen alacsonynak tekinthető, ami azt mutatja, hogy az ősemberek 53,8%-ban tudatosan, helyesen ábrázolhatták zsákmányállataik járását, és igen jó megfigyelők voltak. Ez érthető is, hiszen vadászó életük erősen függött az állatoktól, főleg a négy lábú zsákmánytól, aminek viselkedését a könnyebb elejthetőség érdekében jól megfigyelték. Gyakran hosszan üldözték ezen állatokat, miközben alaposan megfigyelhették a járásukat, mozgásukat is. Mikor a zsákmányállatokat a sziklára rajzolták, fes-



8. ábra. Anna Hyatt Huntington *Monumento el Cid* (<http://www.flickr.com>) című, Muybridge utáni lovasszobrán (a) és annak vázlatán (b) a lójárásképek helytelen, mert a járásmátrix Bd cellájába esik. (c) A hátsó lábak megtartásával így lehetne javítani a mellső lábak tartását, amikor a helyes járásábrázolás a járásmátrix Cd cellájába esik. (d) A mellső lábak megtartásával így lehetne javítani a hátsó lábak tartását, amikor a helyes járásábrázolás a járásmátrix Bb cellájába esik.

tették vagy vésték, tették ezt sokszor azzal a szándékkal, hogy isteneiket, szellemeiket a vadászataik sikerére kérjék. Ehhez valószínűleg fontosnak tartották az elejtendő állatok minél pontosabb, élethűbb ábrázolását is, aminek része a lábak mozgás közbeni tartásának helyes megjelenítése. Talán részben ezzel magyarázható az őskori járásábrázolások 50%-nál is kisebb hibaránya. De könnyen lehet, hogy e barlangrajzok során egyszerűen csak azt festették, rajzolták, vésték a sziklába, amit a saját szemükkel láttak vadászat közben, s így váltak meglehetősen valószínűvé az őskori járásábrázolások.

Az őskori állatábrázolások viszonylag sematikusak és néha torznak tűnnek (3. ábra). Ennek vélhetőleg nem az volt az oka, hogy még kezdetleges volt az ősember ábrázolóképesége. Egyik magyarázat lehet e rajzok célja, azaz az elejtendő vad húsának birtoklása. Az őskori termékenységszobrokhoz hasonlóan a hangsúly itt is a fontos testrészek, jelen esetben a húsos régiókon van. Másrészt a korántsem ideális körülményekkel, a sziklafelület egyenetlenségével és

a rajzfelületnek a festéshez, rajzoláshoz, véséshez kényelmetlen, kifejezetten rossz elhelyezkedésével, irányulásával is magyarázható. Gondoljuk csak meg, mennyivel kényelmetlenebb lehet egy sziklabarang mennyezetére fáklyafényben bármit is rajzolni, mint egy világos műterem festővászna előtt ülve vagy állva festegetni.

Ha jobban belegondolunk, az őskori járásábrázolások 46,2%-os hibaráta teljesen meglepően kicsinek tűnik, főleg a későbbi képzőművészeti járásábrázolások sokkal magasabb hibarátaához (57,9%-65,2%-83,5%) képest. A 46,2%-os őskori hibaráta csak 4,45%-kal több, mint a Muybridge előtti 83,5%-os hibaráta fele. Azt is várhattuk volna, hogy a fejletlenebb kultúrával és ábrázolási technikával rendelkező ősemberek sokkal nagyobb hibaarányal dolgozhattak, mint az őskor utáni, de még Muybridge előtti korok képzőművészei. Mégis, éppen az ellenkezője derült ki, vagyis az ősember ábrázolta majdnem fele akkora hibaráttal a négylábúak járását. Ennek lehetséges okait fent említettük. Az őskori járásábrázolások 46,2%-os hibaráta felülről közelíti a korábban vizsgált [6, 9, 10] természettudományi múzeumi járásábrázolások 41,1–43,1%-os hibarátaát. Arra jutottunk tehát, hogy az ősember közel olyan pontossággal ábrázolta zsákmányállatai járását, mint a természettudományi múzeumok állatpreparátorai.

Az őskor utáni összes vizsgált művészeti járásábrázolás 65,2%-os hibaráta csak 8,1%-kal kevesebb a véletlenszerű járásábrázolás 73,3%-ánál (4. táblázat). Ezért azt mondhatjuk, hogy az őskor utáni képzőművészek majdnem a vakvéletlennek engedelmességgel ábrázolták a négylábúak járását, ellentétben az ősemberekkel, akik törekedtek az élethűbb járásábrázolásra, s így csak 46,2%-os hibaráttal dolgoztak.

Muybridge munkássága előtt az őskor utáni járásábrázolások hibaráta 83,5% (2. táblázat) volt, amely érték 57,9%-ra csökkent Muybridge után (3. táblázat). E 25,6%-nyi csökkenés logikus módon föltételezhetően Muybridge munkásságának a képzőművészekre kifejtett pozitív hatásaként magyarázható. A Muybridge után készített festményeknél, rajzoknál, domborműveknél és szobroknál a fényképezési technika rohamos és egyre széleskörűbb elterjedése is befolyással lehetett a művészeti járásábrázolások hibaarányának jelentős csökkenésére. A Muybridge utáni képzőművészek már nemcsak a csupasz szemükre hagyatkozva megfigyelt négylábúakat ábrázolhattak, hanem mozgó (járó) négylábúakról készített fényképek felhasználásával is dolgozhattak, ami a hibázási lehetőséget csökkenti, vagy akár ki is kűszöböli. A Muybridge utáni művészeti járásábrázolások 57,9%-os hibaráta közel esik a korábban vizsgált [6, 9, 10] állatanatómiai tankönyvek járásábrázolásainak 63,6%-os hibarátaához, mert ezen állatanatómiai tankönyvek is Muybridge munkássága után születtek.

A Muybridge munkássága és a fényképezés elterjedése előtti 83,5%-os hibaarány a véletlenszerű 73,3%-nál jelentősen, 10,2%-kal nagyobb. Ez arra utalhat, hogy a művészek nem véletlenszerűen megválasztva

ábrázolhatták a négylábúak járását, hanem a járó állatábrázolások gyakran másolással keletkeztek: egy művész a művében ábrázolt járó négylábú lábtartását módosítás nélkül vehette át egy korábbi képzőművészeti alkotásból. A képzőművészeti műhelyekben, iskolákban a fiatal, tanuló művészek a mester helyes vagy helytelen járású állatábrázolásait másolhatták le, illetve különböző iskolák, műhelyek művészei egymástól leshették el a négylábú állatok járásának különféle módozatait. Ily módon a nem valóság-hű járásábrázolások kulturálisan öröklődhetnek művészgenerációkról művészgenerációkra, ami megnehezíti, ha nem teljesen ellehetetleníti e hibák csökkenését vagy eltűnését.

A lovasszobrok járásábrázolásának 65,5%-os hibaaránya csak 0,4%-kal haladja meg a festmények, grafikák és domborművek járásábrázolásainak 65,1%-os hibarátaát. Tehát e képzőművészeti ágak a hibaráttalban lényegében nem különböznek egymástól. Amiben eltérnek egymástól, az a leggyakoribb hibafajta: a lovasszobroknál leggyakrabban a járásmátrix *Bd* hibás járásábrázolása fordul elő, míg a festményeknél, rajzoknál és domborműveknél a leggyakoribb hiba a járásmátrix *Eb* cellájába esik. E különbségek talán azzal magyarázhatók, hogy míg a festményeken, grafikákon és domborműveken hibás járással ábrázolt négylábúak nem dőlhetnek föl, addig a háromdimenziós lovasszobroknál bizony egy hibás járásábrázolás jelentősen csökkentheti a szobor állásszilárdságát, ami a szobor mechanikai bizonytalanságával, instabilitásával jár. Ezt a szobrászok tapasztalataikból is tudhatják, és igyekeznek elkerülni. Ezáltal bizonyos járásábrázolási hibák eleve kiszelektálódnak a lovasszobrok esetében.

Az őskor utáni, de még Muybridge előtti járásábrázolások leggyakoribb hibája az *Eb* volt (2. táblázat), míg a Muybridge utáni járásábrázolásoknál leggyakrabban a *Bd* hiba fordult elő (3. táblázat). E különbség okára nem sikerült rájöttünk.

A művészeti lójárási ábrázolásoknál a hibaráta 70,6%, ami csupán 2,7%-kal kevesebb, mint a véletlenszerű eset 73,3%-os hibaaránya (1. táblázat), és csak 5,4%-kal több, mint az összes vizsgált őskor utáni járásábrázolás 65,2%-os hibaráta. Ugyanakkor a művészeti lójárási ábrázolások 70,6%-os hibaráta 20,2%-kal, azaz jelentősen nagyobb, mint a korábban vizsgált [6, 9, 10], természettudományi múzeumokban, állatanatómiai tankönyvekben és játék állatfiguráknál talált lójárási ábrázolások 50,4%-os hibaráta. Ezek szerint tehát a művészek jóval gyakrabban hibáznak a lójárási ábrázolásokor, mint a múzeumi állatpreparátorok, állatanatómiai tankönyvek szerzői és a játék állatfigurák tervezői.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük *Wehner Tibornak*, hogy a rendelkezésünkre bocsátotta a magyarországi lovasszobrokat összefoglaló jegyzékét. Hálásak vagyunk *Farkas Alexandrának* a szakirodalom felkutatásában nyújtott segítségével.

Irodalom

1. Gambaryan, P. P.: *How Mammals Run: Anatomical Adaptations*. John Wiley and Sons, New York, 1974.
2. Greguss Ferenc: *Eleven találmányok – Bevezetés a bionikába*. Móra Ferenc Könyvkiadó, Budapest, 1976.
3. Horváth Gábor: Négy lába van a lónak... A járás statikai és dinamikai elemzése. *Természet Világa* 117(1986) 547–552.
4. Hildebrand, M.: The quadrupedal gaits of vertebrates. *Bioscience* 39(1989) 766–775.
5. Alexander, R. McN.: *Dynamics of Dinosaurs and other Extinct Giants*. Columbia University Press, 1989.
6. Horváth Gábor: *Biomechanika: A mechanika biológiai alkalmazásai*. Egyetemi tankönyv, 3. átdolgozott, bővített kiadás, 368 o., ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2009.
7. Muybridge, E.: *Animal Locomotion*. Pennsylvania University Press, Philadelphia, 1887.
8. Zimmermann Ágoston: A lovaszobrok lovai anatómiai és hipológiai nézőpontból. *Természettudományi Közlöny* 51 (1919) 305–317.
9. Horváth Gábor, Csapó Adelinda, Nyeste Annamária, Gerics Balázs, Csorba Gábor, Kriska György: Járásábrázolások – hibákkal. *Természet Világa* 140(2009) 302–305.
10. Horváth, G.; Csapó, A.; Nyeste, A.; Gerics, B.; Csorba, G.; Kriska, G.: Erroneous quadruped walking depictions in natural history museums. *Current Biology* 19 (2009) R61–R62 + online supplement.
11. Szunyoghy András: *Művészeti állatanatómia – A ló*. Corvina Kiadó, Budapest, 1991.

MIT MOND A KVANTUMELMÉLET AZ ALAGÚTEFFEKTUS IDŐTARTAMÁRÓL?

Hraskó Péter

Pécsi Tudományegyetem Elméleti Fizika Tanszék

Az alagúteffektus valószínűségének a kiszámítása standard feladat a kvantummechanikában, az effektus időtartamának a meghatározása azonban problémát jelent. Az alagutazási idő fogalmát egy egyszerű gondolatkísérlettel lehet megvilágítani, amelyet egy reális kísérletből kiindulva ismertetek.

Pályakezdőként a KFKI-ban kísérleti magfizikával foglalkoztam. Neutronok rugalmatlan szóródását tanulmányoztuk különféle magokon. A neutronokat a $H^2 + H^3 \rightarrow \alpha + n$ reakcióban állítottuk elő. Ebben a reakcióban határozott v_0 sebességű (14 MeV energiájú) neutronok keletkeznek, de miután rugalmatlanul szóródtak, a sebességük valamilyen kisebb v -re csökken. Ezt a v -t a neutronok repülési ideje alapján határoztuk meg (1. ábra). Azt használtuk ki, hogy a neutronokkal egyidejűleg egy alfa-részecske is keletkezik. Ezt az α -t a keletkezési hely közvetlen szomszédságában elhelyezett detektorral regisztráltuk és a detektor jelét használtuk fel egy órákét működő késleltetett koincidencia-kör megindítására. Az „órát” a neutrondetektor jele állította le. A rugalmatlanul szórt neutronokat több méteres úton repültettük mielőtt a detektorig eljutottak, ezért sebességüket a repülési idejük alapján a szükséges pontossággal meg lehetett mérni. A repülési idő eloszlásából lehetett megállapítani, milyen valószínűséggel gerjed fel különböző energiákra a neutront szóró atommag.

Ha a neutronok útjába nem teszünk be semmiféle céltárgyat, akkor ezzel a módszerrel a $H^2 + H^3 \rightarrow \alpha + n$ reakcióban keletkező neutronok repülési idejét mér-

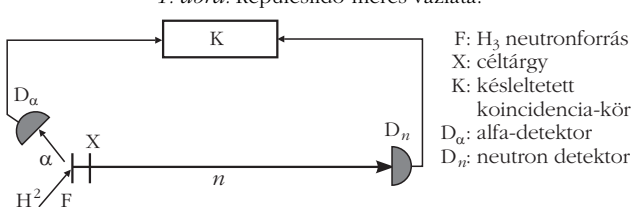
hetjük meg. Tudjuk, hogy energiájuk 14 MeV, amelyből könnyen kiszámíthatjuk, hogy sebességük a fénysebesség körülbelül 17 százaléka: $v_0 = 0,17 c$. Néhány méteres repülési távolság mellett ez nagyságrendileg $t_0 \approx 10^{-7}$ s repülési időnek felel meg. Semmi meglepetést sem okozott, hogy a kísérlet valóban a sebesség alapján várt repülési időt adta eredményül. Eszünkbe se jutott csodálkozni azon, hogy a repülési idő kiszámításához nem volt szükség kvantumelméletre.

Eddig tartott a reális kísérlet ismertetése. Képzeljünk el most, hogy a neutronok útjába makroszkopikus méretű barrieret helyezünk el, amely magasabb, mint 14 MeV. Az alagúteffektusnak köszönhetően néhány neutron még így is eljut a neutrondetektorba, de vajon mennyi idő alatt?

A kérdés megválaszolásához a klasszikus kinematika már nem elég, mert a repülési út barrierre eső tartományában a sebesség képzetes. A barrier előtt és után a sebesség továbbra is v_0 , de ha a barrier kellően széles – mondjuk a teljes repülési távolság fele –, akkor legfeljebb csak azt várhatjuk (de még ebben sem lehetünk egészen biztosak), hogy a repülési idő $t_0/2$ -nél nem lesz kisebb. De hogy mennyivel lesz nagyobb, arról fogalmunk sincs. Ez az ismeretlen időtartam az alagutazási idő.

Az évtizedek során több javaslat is született az alagutazási idő kiszámítására. 1955-ben Wigner levezetett egy képletet a rugalmas szóródás időtartamára, vagyis arra az időkésésre, amelyet egy E energiájú részecske szenved el, amikor valamilyen céltárgyon (atommagon) rugalmasan szóródik. A

1. ábra. Repülésiidő-mérés vázlata.



$$\Delta\tau_w = \hbar \frac{d\delta(E)}{dE}$$

képletet kapta, amelyben $\delta(E)$ a rugalmas szórás fázistolása. Azt várjuk, hogy amikor E a céltárgy valamilyen gerjesztett állapotjának energiájával egyenlő, $\Delta\tau_w$ egyezzen meg a \hbar/Γ élettartamával és ez való-