Magyar Tudomány 187/10 (2026), 1446–1451
DOI: 10.1556/2065.187.2026.10.8

Tudományos etűdök az elektromos rollerek használatáról 2.
A 12 éves korosztály közúti integrációjának kockázatai

Scientific Études on Electric Scooter Use 2.
Risks of Integrating 12-Year-Olds into Road Traffic

Härtlein Károly
mesteroktató, a Demonstrációs Laboratórium vezetője,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Természettudományi Kar Fizikai Intézet, Budapest
hartlein@eik.bme.hu

Absztrakt

A tanulmány az elektromos mikromobilitási eszközök, különösen az e-rollerek használatának mechanikai, biomechanikai és fejlődésbiológiai kockázatait vizsgálja a 12 éves korosztály közúti közlekedésbe való integrációjának tükrében. A fizikai törvényszerűségek és kísérleti demonstrációk alapján elemzi a kis kerékátmérő, a magas súlypont és a dinamikus instabilitás hatásait a tompa hasi és végtagi traumák kialakulásában. Az eredmények rávilágítanak arra, hogy a prepubertás kori reflexidő és vázizomzat még nem alkalmas a hirtelen fellépő mechanikai erők kompenzálására, ami sürgős szabályozási és oktatási reformokat tesz szükségessé.

Abstract

The study examines the mechanical, biomechanical, and developmental risks associated with the use of electric micromobility devices, particularly e-scooters, in the context of integrating 12-year-olds into road traffic. Drawing on physical principles and experimental demonstrations, it analyses the effects of small wheel diameters, a high center of mass, and dynamic instability on the occurrence of blunt abdominal and limb trauma. The findings highlight that prepubescent reaction times and musculoskeletal development are not yet adequate to compensate for sudden mechanical forces, underscoring the need for urgent regulatory and educational reforms.

Kulcsszavak: mikromobilitás, elektromos roller, biomechanika, közlekedésbiztonság, sérülésmechanizmus

Keywords: micromobility, e-scooter, biomechanics, road safety, injury mechanism

A közúti forgalom dinamikai és jogi feltételrendszere

A modern közúti közlekedés rendszerszintű működése a résztvevők homogenitásának és kiszámíthatóságának elvén nyugszik. A jogalkotó a motorizált járművek vezetését hagyományosan többlépcsős, objektív kritériumrendszerhez köti, amely három fő pillérre tagozódik: az egészségügyi-fizikai alkalmasságra, a verifikált elméleti szabályismeretre és az igazolt gyakorlati jártasságra (Czövek–Mészáros 2023).

A közúti forgalom – fizikai értelemben – nagy tömegű és nagy sebességű testek kontrollált interakciója, ahol a biztonság záloga a defenzív reakcióképesség és a

© 2026 Akadémiai Kiadó

Unauthenticated | Downloaded 11/20/26 10:46 AM UTC

kockázatértékelési kompetencia. A közlekedés többi résztvevője a bizalmi elv alapján joggal feltételezi, hogy az úttesten megjelenő bármely járművezető rendelkezik az alábbi kognitív és szenzomotoros képességekkel:

- *Prediktív helyzetértékelés:* a környezeti ingerek (sebességvektorok, útviszonyok, egyéb közlekedők szándékai) folyamatos monitorozása és a potenciális veszélyhelyzetek előrelátása.
- *Standardizált reakcióidő:* vészhelyzet esetén a reflexidő és a végrehajtó mechanizmusok minimális késleltetése, amely elengedhetetlen a féktávolság és az ütközési energia minimalizálásához.
- *Felelősségtudat és szabálykövetés:* a hatályos KRESZ-szabályok absztrakt rendszerének ismerete és stresszhelyzetben való, mérlegelés nélküli, rutinszerű alkalmazása.

A mechanikai veszély üzemének számító közúti környezetbe való belépés tehát egy olyan neurofiziológiai és pszichés érettségi szintet követel meg, amely biztosítja, hogy az egyén ne váljon a rendszer instabilitási faktorává.

Az elektromos mikromobilitási eszközök biomechanikai és stabilitási sajátosságai

A kétkerekű járművek menetstabilitásának fizikai alapjait a kerékpár és a segédmotoros kerékpár esetében a zárt kinetikus lánc, az alacsony tömegközéppont, valamint a kerekek mérete és a futómű geometriájából adódó utánfutás határozza meg. Ezzel szemben a könnyű *elektromos roller* (a továbbiakban: roller) mechanikai rendszere radikálisan eltérő biofizikai feltételeket teremt, amelyek a járművezető oldaláról lényegesen magasabb szintű neuromuszkuláris kontrollt igényelnek.

Az alátámasztási felület és a tömegközéppont relációja

A kerékpáron a vezető testtömege három ponton (nyereg, pedálok, kormány) oszlik el, stabil, zárt geometriai formát alkotva. A medence rögzítése a nyergen minimalizálja a törzs oldalirányú kitérését, a testsúly jelentős része pedig a jármű szerkezeti tömegközéppontja közelében helyezkedik el.

A rolleren ezzel szemben nyitott kinetikus lánc valósul meg. Az alátámasztási felület egy keskeny, úttest- vagy járdaközeli platformra korlátozódik, amelyen a vezető álló testhelyzetet vesz fel. Ez a konfiguráció a teljes rendszer (jármű + ember) eredő tömegközéppontját kritikusan magasra emeli. A fizika törvényei szerint a magasan elhelyezkedő tömegközéppont és a minimális alátámasztási bázis együttesen egy eleve instabil, felborulásra hajlamos rendszert eredményez, amelynek egyensúlyban tartása folyamatos korrekciós munkát igényel.

Unauthenticated | Downloaded 11/20/26 10:46 AM UTC

A csuklópontok biofizikai láncolata és a kormányszitálás jelensége

A rolleren haladó emberi test szegmensei (boka-, térd-, csípő-, váll- és könyökízületek) kinetikai szempontból egymásra épülő csuklópontok sorozatát alkotják. Normál menetviszonyok között ezen ízületek összehangolt, mikroszkopikus mértékű tónusváltozásai hivatottak elnyelni az úthibákból származó vertikális és horizontális gyorsulásokat.

Ha a roller kis átmérőjű kereke úthibába ütközik, a jármű hirtelen negatív gyorsulást szenved el (fékeződik). A tehetetlenségi erő hatására a vezető teste változatlan sebességgel haladna tovább előre. Ezt a fellépő nyíróerőt a boka- és térdízületnek kellene ezredmásodpercek alatt kompenzálnia. Amennyiben az ízületi stabilitás vagy a reflexidő nem megfelelő, a vezető önkéntelenül a kormányba kapaszkodik, azt támasztékként használva. Mivel a roller kormányszerkezete elenyésző giroszkopikus önstabilizáló erővel bír, a kormányra átvitt testsúly azonnali kormányszitálást, majd a forgástengelyen való átfordulásos balesetet okoz.

A 12 éves korosztály fejlődésbiológiai és kognitív státusza az iskolai követelményrendszer tükrében

A jogalkotó által kijelölt 12 éves korhatár (6. évfolyam) egybeesik a prepubertás időszakával. Ezt a fázist a szervezet antropometriai, neurológiai és pszichés struktúrájának intenzív, de heterogén átalakulása jellemzi, ami korlátozza a fenti biomechanikai elvárások teljesítését (Foglar et al. 2025).

Fizikai és motorikus státusz: a NETFIT-adatok és a tantárgyi minimumok realitása

A Nemzeti Egységes Tanulói Fittségi Teszt (NETFIT) országos mérései trendszerűen igazolják, hogy a 12 éves populáció jelentős része – a mozgásszegény életmód következtében – morfológiai és fittségi deficittel küzd. A tanulók mintegy 25-30%-a a túlsúlyos vagy elhízott kategóriába sorolható, míg a vázizomzat erejét és a törzsstabilitást mérő teszteken a diákok számottevő hányada a „fokozott fejlesztés szükséges” zónában teljesít (Kaj et al. 2021, 31). A testnevelés tantárgyi követelményrendszerében az elégséges (2) osztályzatot elérő tanuló motorikus kompetenciái a következők szerint alakulnak:

- *Statikus és dinamikus egyensúlyérzék:* Az alapvető egyensúlyi feladatokat csak zárt, kontrollált környezetben, alacsony sebesség mellett, bizonytalanul képes végrehajtani. Az afferens (a test felől a központ felé jelet szállító) és efferens (a jelet a központból a test szervei felé szállító) idegi pályák közötti szinkronizáció lassú.

Unauthenticated | Downloaded 11/20/26 10:46 AM UTC

- *Muszkuláris háttér:* A mély hátizmok, a hasizmok és a kvadricepsz (négyfejű combizom) tónusa nem elégséges a tartós statikus terhelés elviselésére. A vibrációs és rázkódásos hatások alatt az izomzat hamar kifárad, ami az ízületek reflexszerű merevségéhez vezet, így a destabilizációs hatások közvetlenül a kormányra tevődnek át.

Kognitív és neurobiológiai korlátok: a prefrontális kéreg fejlettsége

A közlekedési szabályok reflexszerű alkalmazása és a defenzív magatartás neurobiológiai érettség kérdése. Az emberi agy fejlődésbiológiájából ismert, hogy a prefrontális kéreg – amely a végrehajtó funkciókért, a kockázatértékelésért és az impulzuskontrollért felel – a szinaptikus metsződés folyamata miatt 12 éves korban még erősen fejletlen. Egy 12 éves gyermek kognitív működését a következők jellemzik:

- *A szelektív és megosztott figyelem hiánya:* Komplex környezetben az agykéreg auditív és vizuális ingerekkel való túlterhelődése következik be. A gyermek képtelen a releváns közlekedési ingereket elválasztani az irrelevánsaktól.
- *A tér- és sebességpercepció korlátai:* A perifériás látás mezője szűkebb, mint a felnőtteké. A 20 km/h feletti sebességgel közeledő tárgyak távolságát és érkezési idejét a gyermek agya geometriailag gyakran hibásan kalkulálja.
- *A szabályismeret intézményi hiánya:* Mivel a közoktatásban a KRESZ nem képezi részét egységes, számonkért tantárgynak, a 12 éves gyermek szabályismerete jogilag ellenőrizetlen és esetleges. A gyermek így olyan absztrakt szabályrendszerben manőverezik, amelynek belső logikáját elméleti szinten sem sajátította el.

Pszichés és fejlődéslélektani tényezők

A prepubertás korosztályra jellemző az omnipotencia-érzés (a sebezhetetlenség illúziója) és a kortárs csoportoknak való megfelelési kényszer. A veszélyérzet hiánya a neuroendokrin rendszer változásainak közvetlen következménye. A kockázatkereső magatartás ebben az életkorban biológiai sajátosság, amely egy vizsgakötelezettség nélkül vezethető járművel párosulva exponenciálisan növeli a baleseti kockázatot.

Az elvárt érettségi szint elérésének kronológiai és jogi mérföldkövei

A fejlődésbiológiai, biomechanikai és kognitív paraméterek szintézise alapján meghatározható az az életkori sáv, amikor a fiatal szervezet alkalmassá válik a mikromobilitási eszközök biztonságos, önálló közúti használatára *(1. táblázat).*

Unauthenticated | Downloaded 11/20/26 10:46 AM UTC

1. táblázat. A tizenévesekre jellemző életkori sajátosságok és a megfelelő közlekedési relevancia

Életkor (évek)	Fejlődési mérföldkő	Jogi/közlekedési relevancia
12 éves kor	prepubertás, fejletlen törzsizomzat, a prefrontális kéreg intenzív érése	engedélyezett forgalmi jelenlét (hatósági kontroll és vizsga nélkül)
14 éves kor	a neuromuszkuláris szinkronizáció érdemi javulása, büntetőjogi felelősségre vonhatóság	az AM kategóriás jogosítvány korhatára (kötelező elméleti és gyakorlati vizsga)
16–18 éves kor	a csont- és izomrendszer teljes stabilizációja, a prefrontális kéreg teljes érettsége	B kategóriás jogosítvány, stabil kockázatértékelés, defenzív közlekedési attitűd

Forrás: saját szerkesztés

Testi és koordinációs érettség (14–16 év)

A serdülőkor középső szakaszára az izomtömeg és a csontsűrűség aránya stabilizálódik. A motoros egységek felépülése eléri azt a szintet, amely képes a nyitott kinetikus láncú mozgások során fellépő dinamikus erőhatások kompenzálására. A boka- és törzsizomzat stabilizációs kapacitása ekkortól nyújt valós védelmet a kormányszitálás és az egyensúlyvesztés ellen.

Kognitív és jogi érettség (14 év)

A magyar jogrendszer indokoltan tekinti a 14. életévet korhatárnak. A gyermek ekkortól válik fiatalkorúvá, vagyis jogilag is felelősségre vonható az általa elkövetett cselekményekért. Párhuzamként felhozható, hogy a segédmotoros kerékpárok vezetésének feltétele a betöltött 14. életév, valamint a sikeres hatósági KRESZ-, egészségügyi és gyakorlati vizsga. Ez a struktúra biztosítja, hogy a forgalomba csak ellenőrzött személy léphessen be.

Pszichés és neurobiológiai érettség (16–18 év)

A prefrontális kéreg mielinizációja (velőhüvelyesedés) a késő serdülőkorra fejeződik be. Ekkorra alakul ki a veszélyhelyzetek absztrakt modellezésének képessége, az affektív (érzelmi, indulati) alapú döntéshozatal helyett a racionális, defenzív közlekedési attitűd.

Konklúzió

A 12 éves korosztály számára az elektromos rollerek vizsgakötelezettség és fittségi szűrés nélküli közúti használatának engedélyezése éles ellentmondásban áll a biomechanikai törvényszerűségekkel és a fejlődésbiológiai realitásokkal. Miközben

Unauthenticated | Downloaded 11/20/26 10:46 AM UTC

a közoktatásban a testnevelési minimumot teljesítő diákok fittségi állapota aggasztó tendenciákat mutat, a jogalkotó egy olyan instabil, magas neuromuszkuláris kontrollt igénylő járművet bíz rájuk a forgalomban, amelynek biztonságos kezelésére a szervezetük biológiailag még nem érett.

A közúti közlekedés biztonságának megőrzése érdekében indokolt lenne a mikromobilitási eszközök szabályozásának harmonizálása a segédmotoros kerékpárokra érvényes normákkal, a belépési korhatárt legalább a 14. életévre emelve és azt kötelező, intézményesített közlekedési vizsgához kötve.

Irodalomjegyzék

Czövek Csaba – Mészáros Gábor (2023). *Közlekedési árnyak a magyar jog útvesztőjében.* Kézirat.

ÉKM (Építési és Közlekedési Minisztérium) (2024). „Magyarország közúti közlekedésbiztonsági helyzetének alakulása 2024-ben". *ÉKM* (2025. márc. 31.). https://kozlekedesbiztonsag.kti.hu/magyarorszag-kozuti-kozlekedesbiztonsagi-helyzetenek-alakulasa-2024-ben/.

Foglar, Viktor et al. (2025). „Electric-Scooter- and Bicycle-Related Trauma in a Hungarian Level-1 Trauma Center—A Retrospective 1-Year Study". *Journal of Clinical Medicine* 14/24, 8782. https://doi.org/10.3390/jcm14248782.

Kaj Mónika et al. (2021). *Kutatási eredmények a NETFIT® 2015–2019. közötti országos mérései alapján a mindennapos testnevelés bevezetésével összefüggésben.* Budapest: Magyar Diáksport Szövetség.

Unauthenticated | Downloaded 11/20/26 10:46 AM UTC