

MECHANIKAI MODELLEK FEJLESZTÉSE A FUTÁS ÉS SZÖKDELÉS DINAMIKÁJÁNAK ELEMZÉSÉRE

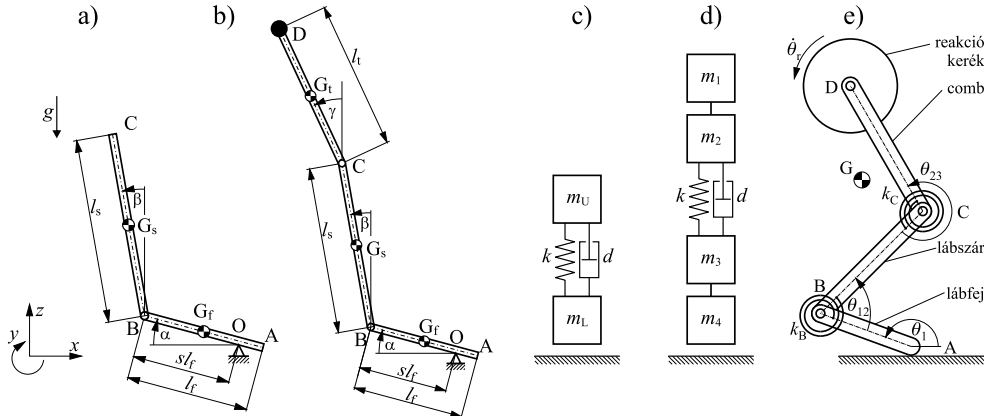
Zelei Ambrus

BME, Műszaki Mechanikai Tanszék
MTA-BME Gépek és Járűvek Dinamikája Kutatócsoport
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., zelei@mm.bme.hu

A két lábon történő helyváltoztatás dinamikája aktívan kutatott terület az emberi mozgás biomechanikája és a humoanid robotok kapcsán. Kutatásunkban a futó és a szökdelő mozgásra fókuszálunk, amelyek két egymást periodikusan követő fázisra bonthatók: a repülő fázisra, és a támasz fázisra.

Kutatásunk során matematikai modellek segítségével vizsgáljuk, hogy mi az optimális mozgás, ha a célfüggvény a talaj-láb ütközés intenzitása, az ezzel összefüggésben lévő energiahatékonyság, az elérhető maximális sebesség vagy a periodikus mozgás stabilitása. Az eddig bejárt utat és a kutatás további irányát tekintjük át.

A talaj-láb ütközés intenzitásának minimalizálására az 1/a ábrához hasonló, AB lábfejből és BC lábszárból álló modellt vezettek be a [3] cikkben $\alpha = 0$ és $\beta = 0$ állandó értékekkel. A modell függőleges sebességgel ütközik neki a pontszerű kényszernek. Az ütközés intenzitása az s paramétertől függ, amely a talajjal való érintkezés helyét adja meg. A modellt a [2] cikkben terjesztették ki $\alpha \neq 0$ és $\beta \neq 0$ esetekre és az ütközés előtti sebesség vízszintes komponensére. A modellt a CD rúddal (comb) és a test maradék tömegét jelentő D tömegponttal bővítettük [1] (1/b ábra). Az ütközés előtti konfiguráció széles tartományban variálható és a többlet szabadsági fokok miatt pontosabb a modell. Az ütközés előtti sebességállapot azonban csak becült. Az ütközés előtti sebességállapot meghatározására azt a megoldást választottuk, hogy a teljes mozgást reprodukálni képes modellt alkotunk. A szökdelés legegyszerűbb mechanikai modellje [5], amely az ütközést és az ebből származó energiavesztés után pótlására szolgáló szabályozást is tartalmazza, a 1/c ábrán látható. A d aktív csillapítást a szabályozás hangolja; a d a támasz fázisban negatív, így mechanikai energia halmozódik. Az 1/d ábrán megjelenő modell segítségével algoritmust fejlesztettünk, amely a szakaszosan folytonos periodikus mozgás vizsgálatát redundáns koordinátával és geometriai kényszerekkel leírt sok szabadsági fokú modelleknél is lehetővé teszi [4]. Az embrei geometriát a 1/e ábrán látható modell közelíti a leginkább, amely ugyancsak szabályozás által képes stabil periodikus mozgást generálni [6]. A továbbiakban laboratóriumi mérési eredményekkel hangoljuk össze a modelleket, így a modellekkel olyan paramétertartományokban is megjósolhatjuk a peremétekek hatását, ahol mérés nem történt.



1. ábra. Modellek a szökdelés és a futás ütközés-szerű és folytonos dinamikájának vizsgálatára

HIVATKOZÁSOK

- [1] BENCSIK, L., AND ZELEI, A. Running form analysis based on impact dynamics: A minimally complex mechanical model. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering* 63, 1 (2018), 7–15. doi.org/10.3311/PPme.11746.
- [2] KÖVECSÉS, J., AND KOVÁCS, L. L. Foot impact in different modes of running: mechanisms and energy transfer. *Procedia IUTAM 2* (Symposium on Human Body Dynamics, 2011), 101–108.
- [3] LIEBERMAN, D. E., VENKADESAN, M., WERBEL, W. A., DAOUD, A. I., D'ANDREA, S., DAVIS, I. S., MANG'ENI, R. O., AND PITSILADIS, Y. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature, Biomechanics* 463, 7280 (2010), 531–535. doi:10.1038/nature08723.
- [4] ZANA, R. R., BODOR, B., BENCSIK, L., AND ZELEI, A. A tutorial for the analysis of the piecewise-smooth dynamics of a constrained multibody model of vertical hopping. *Mathematical and Computational Applications* 23, 4 (2018), 74. doi:10.3390/mca23040074.
- [5] ZELEI, A., AND INSPERGER, T. Simplest mechanical model of stable hopping with inelastic ground-foot impact. In *12th IFAC Symposium on Robot Control - SYROCO 2018* (Budapest, Hungary, 27–30, August 2018), p. 6 pages.
- [6] ZELEI, A., KRAUSKOPF, B., AND INSPERGER, T. Control optimization for a three-segmented hopping leg model of human locomotion. In *DSTA 2017 – Vibration, Control and Stability of Dynamical Systems* (Lodz, Poland, 11–14, December 2017), pp. 599–610.