

Csúszva gördülés értelmezése térdízület biomechanikai vizsgálatához

Fekete Gusztáv, Dr. M. Csizmadia Béla

Összefoglaló

Jelen dolgozat egy olyan módszert közöl, amellyel a csúszva-gördülést lehet meghatározni. Elsősorban a térdízület biomechanikai kutatása miatt dolgozták ki ezt a módszert, pontosabban a condylusok (íz-felsőszínek) kapcsolódásakor létrejövő mozgás mélyebb vizsgálatára. Itt lényegében a térd condylusainak csúszási tulajdonságait vizsgálják, túllépve a tiszta gördülés illetve tiszta csúszás fogalmán, de emellett egy egyszerű gyakorlati példában szemléltetik alkalmazhatóságát.

Abstract

This paper represents a new and unique method about the determination of the proportion of sliding and rolling. This new methods was achieved in order to carry out biomechanical examinations, more precisely, to study the connecting surfaces of the condyles. Intrinsically the sliding attribute of the condyles will be examined, exceeding the well-known limit of pure sliding and rolling, introducing and applying the calculation method on a practical example.

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

A csúszás és gördülés két jól ismert fogalom, amely két, egymással érintkező test (alaptest és „mozgó” test) egymáshoz viszonyított mozgásakor értelmezhető. A gördülés kinematikai feltétele, hogy a testek érintkezési pontjainak egymáshoz viszonyított sebessége zérus legyen. A mozgást célszerű az alaptesthez viszonyított relatív koordináta-rendszerben vizsgálni. A számítógépes modellt térbeli merev testként definiálják a szerzők. *Tiszta gördülés*kor az érintkezési pontok mértani helyei mindkét testen ugyanazon idő alatt azonos nagyságú ívhosszat jelölnek ki [1]. *Tiszta csúszás* az érintkezési pontok a „mozgó” testen változatlan(ok), azaz a teljes mozgás alatt egy pontot jelölnek ki, míg azok az alaptesten egy ívhosszat határoznak meg. *Csúszva gördülés*kor az érintkezési pontok által meghatározott ívhosszak különbözőek.

A gyakorlati életben több helyen is elfordulnak ezek a jelenségek. A különböző csúszva gördülés vizsgálatára külön-külön számos irodalom lelhető fel. Bőségesen található mind a klasszikus fogaskerék-kapcsolódás esetére [2, 3], mind pedig a járműveknél, traktoroknál a kerék talaj kapcsolatának vizsgálatára [4]. Traktorok esetében a csúszás egy igen hátrányos jelenség, mivel ebből adódóan csúszási teljesítmény-veszteségek lépnek fel [5]. Külön-külön való tárgyalásuk tehát tisztázott. A felsorolt esetekben a gördülés a mértékadó és célul a csúszás elkerülését illetve korlátozását tűzik ki.

A biomechanikában, szűkebben a térd biomechanikájában az íz-felsőszínek egymáson való mozgásakor szintén a csúszás és gördülés együtt lép fel. Itt azonban egyik sem mértékadó, vagy a mozgás folyamán változik a csúszás vagy a gördülés dominanciája. A mozgás közbeni változásuk, viszonyuk jelenleg nem egyértelműen tisztázott. Röntgenfelvételek alapján kutatóorvosok, köztük elsőként Zuppinger, azt állította, hogy térdbehajlításnál a combcsont (femur) és lábszárcsont (tibia) szögének mintegy 20°-os értékéig gördülés van, majd ennél nagyobb behajlítási szög esetén csúszás és gördülés vegyesen lép fel a felületek között. Pusztán képek alapján eldönteni ezen mozgások arányát csak minőségileg lehet.

A Szent István Egyetemen alapított Biomechanikai kutatócsoport célja a térdízület mozgásának mélyebb megismerése, amelyet kísérleti és elméleti eszközökkel kívánnak elérni. A részfeladatok az anatómiai tengelyek és forgástengelyek [6] meghatározásától a globális erőtan vizsgálatokon keresztül, egészen az ízületen belüli lokális mozgásának [7] vizsgálatához vezetnek. Ehhez kapcsolódnak az ezen cikkben bemutatott eredmények.

Célunk az, hogy bevezessünk egy olyan értelmezést, amellyel mennyiségileg jellemezhető, számíthatóvá válik a gördülés és csúszás aránya.

A módszerrel kapott eredményeket egy egyszerű, de jól ismert, gépészeti példán szemléltetjük.

* Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar, Mechanikai és Géptani Intézet, egyetemi tanár

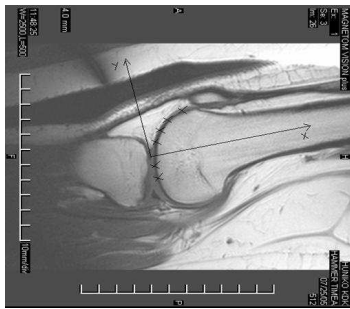
** Szent István Egyetem, Műszaki Tudományi Doktori Iskola, II. éves PhD hallgató

2. A TÉRDIZÜLETEN BELÜLI ERŐVISZONYOK

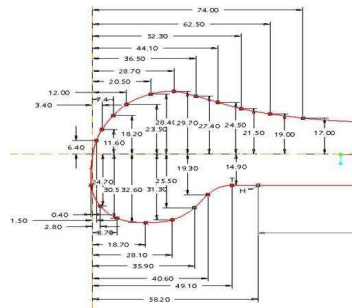
Korábban számításokat és emberkísérleteket végeztünk a térden belül keletkező erők meghatározására [8]. Ezeket azonban a globális koordináta-rendszerben számítottuk, a térden belüli erő és mozgásviszonyokat ezek a vizsgálatok nem tárták fel.

Ugyanakkor kísérleti vizsgálatokkal [9] MR berendezésben a térd behajlítása során a combcsont és a lábszárcsont fején meghatározták az érintkezési pontokat. Kimutatták, hogy a condyluson (combsontfej) az érintkezési pontok által meghatározott ívhossz ötszöröse a tibia platon (lábszárcsontfej) meghatározható ívhossznak. Ez egyértelműen azt mutatja, hogy ott a mozgás csúszva történik. Ennek a behajlítás során bekövetkező változásáról azonban a vizsgálat nem ad információt.

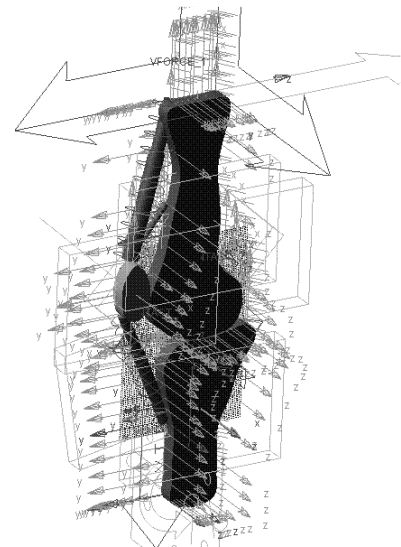
A kérdéskör behatóbb tanulmányozása érdekében – első lépésben síkbeli - számítógépes modellt alkottunk a lokális mozgások, vagyis a csúszva történő gördülés feltérképezése. A vizsgálatok elvégzése érdekében MR képek alapján (1. ábra) CAD rendszer segítségével számítógépes geometriai modellt hoztunk létre (2. ábra), amely segítségével az MSC.ADAMS programrendszer felhasználásával kinetikai modellt alkottunk (3. ábra). Első lépésként a guggolás során az érintkező felületeken keletkező erőket a határoztuk meg.



1. ábra



2. ábra



3. ábra

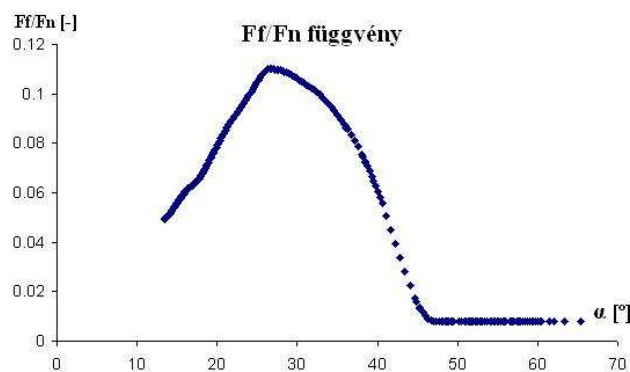
A modell létrehozásánál a következő egyszerűsítéssel éltünk:

- A modellt 2.5D jellegűnek (egy véges harmadik kiterjedéssel rendelkezik) tekintettük;
- A csontokat merev testekkel modelleztük;
- A meniscusokat (félhold alakú „csillapítóelemek”) nem vettük figyelembe.

A guggoló mozgás létrehozásához az MSC.ADAMS-ben kényszereket kellett definiálni a modellelemekhez, egymáshoz ill. környezetükhöz rögzítve őket. A következő kényszereket, ill. peremfeltételeket alkalmaztuk:

- A csontok (tibia a femur és a patella) csak síkban mozoghatnak (PLANAR JOINT),
- A femur medencével kapcsolódó pontja csak függőleges irányú elmozdulást végezhet (MOTION JOINT),
- Az izmokat és szalagokat különböző merevségű rugók modellezik (SPRING);
- A tibia a környezetéhez egy csuklós kényszerrel csatlakozik, z tengely körüli elfordulás megengedett (HINGE),
- Az érintkező felületek közötti nyugvásbeli súrlódási tényező értéke 0.11, a mozgásbeli 0.008 [10];
- A súlyerő modellezésére egy függőleges erő hat a femuron.

A térd behajlításának szimulációja közben vizsgáltuk a kényszererő(k) súrlódó (F_f) és normál (F_N) komponenseinek a viszonyát a térd behajlítása közben (4. ábra).



4. ábra

* Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar, Mechanikai és Géptani Intézet, egyetemi tanár

** Szent István Egyetem, Műszaki Tudományi Doktori Iskola, II. éves PhD hallgató

Jól látható, hogy a kezdeti szakaszban a kényszererő hatásvonalja a nyugvásbeli súrlódási kúpon belül helyezkedik el ($F_S \leq \mu_0 F_N$), azaz az érintkezési pont relatív sebessége zérus, tehát a testek gördülnek egymáson. Ez az ábra alapján a térbehajlítás 25-28°-os értékeig igaz. Körülbelül 45-48° környékén tiszta csúszás következik be, hiszen a kényszererők iránya a mozgásbeli súrlódási kúp alkotójába kerül. Ezek az eredményeink részben alátámasztják a Zuppinger által közölteket, részben kiegészítik azokat. A tiszta gördülés és a tiszta csúszás közötti szakaszon viszont az erők irányának ismerete nem elegendő a mozgás jellegének megítéléséhez. Ahhoz, hogy az ezen a szakaszon lezajló mozgásról többet megtudhassunk, értelmeznünk kell a csúszva gördülést.

3. A MÓDSZER BEMUTATÁSA ÉS ALKALMAZÁSA EGY ELEMI PÉLDÁN

Mint ahogyan korábban említettük tiszta gördüléskor az egymáson legördülő ívhosszak azonosak. Ha valamelyik ívhossz kisebb, mint a másik, akkor nyilvánvalóan csúszás is van. Az értelmezéshez egy dimenzióatlan viszonyszámot kell bevezetni. Itt célszerű egy kiválasztott ívhosszhoz viszonyítani a kettő különbségét.

Vezessünk be tehát egy fajlagos értéket, amelyet nevezünk el *csúszási tényezőnek*, jelöljük χ -vel.

Értelmezzük a χ -t, mint:

$$\chi = \frac{\Delta s_{2i} - \Delta s_{3i}}{\Delta s_{2i}} \quad (1)$$

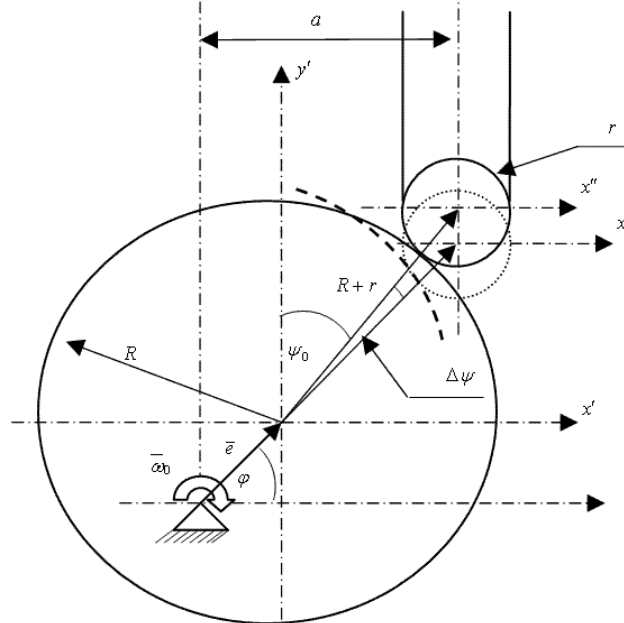
Ahol,

- $\Delta s_{2i} = s_{2i} - s_{2K}$: Az i-edik ívhosszból a kezdeti K ívhossz különbsége a kettes testen,
- $\Delta s_{3i} = s_{3i} - s_{3K}$: Az i-edik ívhosszból a kezdeti K ívhossz különbsége a hármason.

Ez a mennyiség megmutatja, az egymáson legördülő ívhosszak arányát, így abból százalékosan lehet megadni a csúszás nagyságát. Ha a χ értéke 1, akkor tiszta csúszás, ha 0 akkor pedig tiszta gördülés van jelen.

A csúszási tényező konkrét számításához és a kapott eredmények értelmezéséhez egy jól ismert, gépészetben is gyakran alkalmazott modellen mutatjuk be annak alkalmazását.

Egy excentrikusan ágyazott R sugarú hengerrel egy r sugarú, hengeres végű tapintó érintkezik. A tapintó csak y irányú mozgást tud végezni, és egy rugó a hengerhez szorítja (5. ábra).



5. ábra

Az állandó ω szögsebességgel forgó henger 90°-os elfordulása közben számítjuk a csúszási tényező változását. Kössünk egy $x-y$ koordináta-rendszert az álló környezethez és egy $x'-y'$ koordináta-rendszert a forgó hengerhez. A tapintó az abszolút $x-y$ rendszerből nézve nem, ám a hengerhez kötött $x'-y'$ relatív rendszerben elfordul. Tehát a mozgás során le is gördül és el is csúszik a hengeren. A henger forgó mozgása következtében a tapintó r sugarú érintkezési felületének pontjai más és más helyzetben érintik az excenteren forgó hengert. Először is meg kell határoznunk, a két henger által bejárt ívhosszakat. Az $x''-y''$ rendszerből tekintve a mozgásra, kijelölve azt, mint abszolút rendszert, a kis henger által megtett ívhossz:

$$s_K = r \cdot \varphi \quad (2)$$

* Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar, Mechanikai és Géptani Intézet, egyetemi tanár

** Szent István Egyetem, Műszaki Tudományi Doktori Iskola, II. éves PhD hallgató

Ha a nagy henger központosan lenne csapágyazva, úgy az általa megtett úthossz:

$$s_N = R \cdot \varphi. \quad (3)$$

Azonban az excenter hatása egy további ψ szöggel megváltoztatja a nagy henger mozgását. Ezt is figyelembe véve az úthossz a következőképpen módosul:

$$s_N = R \cdot (\varphi + \Delta\psi). \quad (4)$$

A mozgás egy kezdeti ψ_0 állapotból indul meg, amelynek értékét a következőképpen számíthatjuk ki: felírjuk az 'x' irányú távolságát a kis és a nagyhenger középpontjának:

$$a = e + (R + r) \cdot \cos \psi_0. \quad (5)$$

Innen pedig a ψ_0 közvetlenül meghatározható:

$$\cos \psi_0 = \frac{a - e}{(R + r)}. \quad (6)$$

Egy tetszőleges szögben elfordított helyzetre felírva az (5)-ös egyenletet:

$$a = e \cdot \cos \varphi + (R + r) \cdot \cos(\psi_0 + \Delta\psi) \quad (7)$$

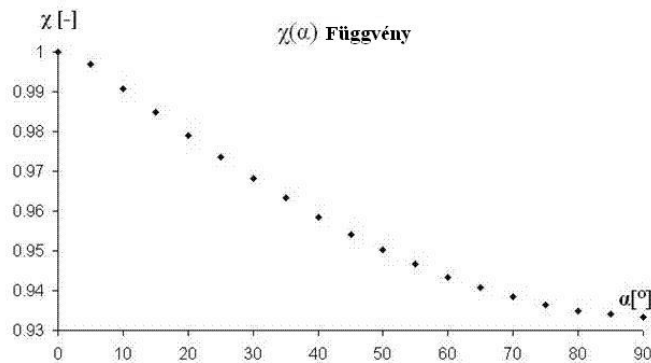
Innen pedig a $\Delta\psi$ közvetlenül meghatározható:

$$\Delta\psi = \psi_0 - \arccos\left(\frac{a - e \cdot \cos \varphi}{(R + r)}\right). \quad (8)$$

A szögek közti összefüggések ismeretében a az ívhosszak meghatározhatóak, így azokat be lehet helyettesíteni a (1)-be.

$$\chi = \frac{\Delta s_{2i} - \Delta s_{3i}}{\Delta s_{2i}} = \frac{R \cdot \Delta\psi + R \cdot \varphi - r \cdot \Delta\psi}{R \cdot (\Delta\psi + \varphi)}. \quad (9)$$

A korábbiakban bevezetett *csúszási tényező* meghatározásával megállapíthatjuk, hogy a csúszó-gördülő mozgás során milyen mértékben áll fenn a két jelenség (6. ábra).



6. ábra

4. KÖVETKEZTETÉSEK, EREDMÉNYEK, TOVÁBBI LEHETŐSÉGEK

A 6. ábrán látható, hogy 0° helyzetben a tapintó nyugalomban van, majd lassan elindul. A χ értéke 1-ről indul, majd csökkenni kezd, ami azt jelenti, hogy kezdetben a mozgás jellege csúszás, majd fokozatosan megjelenik a gördülés is. A mozgás periodikus, ezért csak 90°-ban vizsgáltam. Ebben a tartományban már jól leolvasható az ábráról, hogy a mozgás kb. 6% gördülés, míg a többi része pedig csúszás. A most közölt módszerrel lehetővé válik, hogy síkbeli testek (condylusok) csúszásviszonyait értelmezzük. Ez a módszer kiterjeszhető és alkalmazható bármilyen gépészeti szerkezetre, mivel a súrlódás nagyságának ismerete a kopás jelenléte miatt döntő fontosságú. A szerzők elsősorban biomechanikai kutatásaikra kívánják alkalmazni a bevezetett módszert, amelyben egy- majd több condylus-kapcsolat vizsgálatát kívánják elvégezni. A vizsgálatok célja egyrészt annak a condylus-szeletnek a meghatározása, amely a legdominánsabban vesz részt térd behajlítása során a mozgásban, másrészt sok minta alapján átlagolni lehet a condylus függvényeket, hogy általános következtetést lehessen levonni belőle a különböző csúszási viszonyokra.

Irodalomjegyzék

- [1] M. Csizmadia B. – Nádori E.: Mozcgástan. Nemzeti Tankönyvkiadó. Budapest, 1997. 161-162 pp.
- [2] Szendrő P.: Gépelemek III. Gödöllő, 2000. 107-108 pp.
- [3] Vörös L.: Gépelemek III. Tankönyvkiadó, Budapest, 1964. 17-18 pp.
- [4] Laib L. – Vas A.: Traktorok – Autók. Szaktudás Kiadó Ház Rt, 1998. 145-147 pp.
- [5] Bánszki P.: Agrárágazat 8 (electronical), 2007.

* Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar, Mechanikai és Géptani Intézet, egyetemi tanár

** Szent István Egyetem, Műszaki Tudományi Doktori Iskola, II. éves PhD hallgató

- [6] Bíró I. – Csizmadia B. – Katona G.: Determination of instantaneous axis of rotation of tibia and its role in the kinematical investigation of human knee joint, Proceedings of the Third Hungarian Conference on Biomechanics, Budapest, 2008. 55-62 pp
- [7] Fekete G.: Numerical methods for determining local motions of human knee joint, Zilele Tehnice Studentesti - Editia a XII-A, Temesvár, 12-16 May, 1-8 pp. (Under press).
- [8] Fekete G.: Experimental methods for determining of mechanical model of human knee, Zilele Tehnice Studentesti - Editia a XI-A, Temesvár, 6-13 May, 2007. 1-8 pp.
- [10] Renner G.: Construction and analysis of the 3D geometric model of the human knee, IV. Hung. Conf. on Computer Graphics and Geometry, Budapest, 2007. 60-63 pp.
- [11] Wang A.: A unified theory of wear for ultra-high molecular weight polyethylene in multi-directional sliding, Wear 248, (2007). 38-47 pp.

Cím angol nyelven a tartalomjegyzékhez: Interpretation of sliding-roll phenomena in the examination of knee biomechanics.

Összefoglalás a tartalomjegyzékhez rövidítve: Ez a cikk az emberi térdízület lokális kinematikai jelenségeinek lejátszódását mutatja be, főleg a kapcsolódó íz-felületen egymáshoz való elcsúszásának mértékével, valamint a tiszta gördülés, gördülés és csúszás, valamint a tiszta csúszás tartományait.

Summary: This paper represents a new and unique method about the determination of the proportion of sliding and rolling. Intrinsically the sliding attribute of the condyles will be examined, exceeding the well-known limit of pure sliding and rolling, introducing and applying the calculation method on a practical example.

* Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar, Mechanikai és Géptani Intézet, egyetemi tanár

** Szent István Egyetem, Műszaki Tudományi Doktori Iskola, II. éves PhD hallgató