

Zsákai Zsolt<sup>1</sup>

## Az emberi térd, csípő és gerinc biomechanikai jellemzői, valamint terhelés hatására létrejött elváltozásainak áttekintő elemzése

### 2. rész: A térdízület biomechanikája

#### An Overview of the Biomechanical Characteristics of the Human Knee, Hip and Spine, as well as the Changes Caused by Exercise

##### Part 2 – Biomechanics of the Knee Joint

Cikksorozatomban második részében a térdízület biomechanikai elemzését végzem. Irodalmi példákon fogom bemutatni, hogy a megnövekedett terhelés, testsúly, genetika és egyéb tényezők milyen nagy hatással vannak a térdpanaszok kialakulására. A kiképzéssel és bevetéssel járó megterhelés ellensúlyozására fontosnak tartom a megfelelő preventív szempontok alapján történő stratégia kialakítását, növelve ezáltal a kezelés hatékonyságának fokát, végeredményként pedig csökkentve a térdbetegségek kialakulásának kockázatát.

**Kulcsszavak:** térdízület, biomechanika, degeneratív betegség, térd arthrosis, kereszt-szalag sérülés

In the second part of my article series, I perform a biomechanical analysis of the knee joint. I will use examples from the literature to show what a significant effect increased load, body weight, genetics and other factors have on the development of knee complaints. To counterbalance the burden of training and deployment,

<sup>1</sup> Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Központi Kórház és Egyetemi Oktató Kórház, főorvos, e-mail: [zsakaizsolt@zsakaizsolt.com](mailto:zsakaizsolt@zsakaizsolt.com)

I consider to develop a strategy based on appropriate preventive factors to be important, thereby increasing the effectiveness of treatment and ultimately reducing the risk of developing knee diseases.

**Keywords:** knee joint, biomechanics, degenerative disease, knee arthrosis, cruciate ligament injury

## 1. Bevezetés

Doktori kutatásomban az aktív katonai állomány mozgásszervi panaszait vizsgálom. Cikkemben szeretnék képet adni a térdízületet jellemző biomechanikai sajátosságokról és a túlterheléssel összefüggő problémák fontosságáról. Az anatómiai és biomechanikai ismeretek, valamint az egyes betegségek leírását csak a szükséges mértékben kívánom bemutatni, hangsúlyozva, hogy sem kutatásom, sem jelen írásom nem ezek részleteiben hivatott elmélyülni, ugyanakkor a könnyebb érthetőség kedvéért feltétlenül fontosnak tartom fentiek ismertetését. Bízom benne, hogy szakirodalmi példákkal alátámasztva szemléltetni tudom a probléma fontosságát, a prevenció és a hatékony, időben elkezdett kezelések szükségességét. Meggyőződésem, hogy megelőzéssel és korai, hatékony kezelésekkal a panaszok súlyosbodásának kockázata, valamint a panaszok megszűnése után az aktív szolgálatba való visszatérés ideje csökkenthető.

## 2. A térdízület anatómiája

A térdízület 3 részből álló, úgynevezett trochoginglymus ízület, amelyet a térdkalács és a combcsont közti (*patellofemoralis*) rész, valamint a belső és külső combcsont-lábszárcsont illeszkedő felszínei (*medialis* és *lateralis femorotibialis*) alkotnak. A combcsont térdízületet adó részének külső és belső felszínei (*medialis* és *lateralis femurcondylusok*) kisebb görbülettel rendelkeznek, mint a lábszárcsont ízfelszíneinek (*tibiacondylusok*) megfelelő vajúlata, ezért csak kis felszínen érintkeznek egymással, és mozgás közben mind csúszó, mind pedig gördülő mozgást végeznek.<sup>2</sup> Az ízületet szalagok stabilizálják. Az oldalszalagok – külső (*lateralis*) és belső (*medialis*) – az oldalirányú kitéréseket akadályozzák meg és így biztosítják a térd ilyen irányú stabilitását. A keresztzalagok (elülső és hátulsó keresztzalag) részt vesznek a térdízület oldalstabilizálásában, a lábszárcsont (*tibia*) előre, illetve hátrafelé csúszásának megakadályozásában, valamint biztosítják a gördülő-csúszó mozgás tengelyét.<sup>3</sup> Az ízületi porcfelszínek közti csúszó mozgás együtthatója 0,005 és 0,02 közötti értékben található, ami gyakorlatilag azt jelenti, hogy csúszó hatás szinte alig érvényesül. Ez az alacsony súrlódás rendkívül fontos a térdízület mechanikájában.<sup>4</sup>

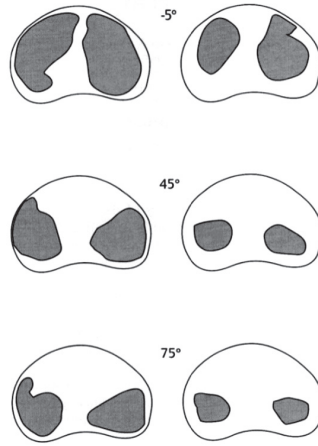
A centrális stabilizáló elemeknek, a térdközi porcgyűrűnek (*meniscusoknak*) és a keresztzalagoknak nagyon fontos szerepük van térdünk biomechanikájában. A meniscusok

<sup>2</sup> Szendrői Miklós (szerk.): *Ortopédia*. Budapest, Semmelweis, 2005. 355.

<sup>3</sup> Szendrői (szerk.) (2005): i. m. 356.

<sup>4</sup> J. Charnley: *The Lubrication of Animal Joints in Relation to Surgical Reconstruction by Arthroplasty*. *Annals of Rheumatic Diseases*, 19. (1960), 1. 10–19.

az ízfelszínek közti téraránytalanságot csökkentik és a terhelési felületet növelik. Ezt szemlélteti az 1. ábra.



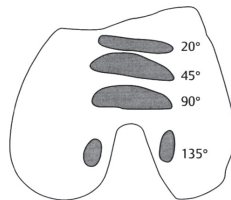
1. ábra

*A meniscusok jelenléte és azok nélküli térdízületi érintkezési felszín sematikus ábrázolása a térd különböző hajlított helyzeteiben*

A kép bal oldalán látható a meniscusok jelenlétében, jobb oldalon pedig azok hiányában kialakuló érintkezési felület. Látható, hogy a meniscusok milyen jelentős mértékben megnövelik az ízületben az érintkezési felszínt, ezáltal optimális nyomásviszonyokat hoznak létre.

Forrás: Brinckmann, Paul – W. Frobin – Gunnar Leivseth: *Musculoskeletal Biomechanics*. Stuttgart – New York, Thieme, 2002. 86.

A combcsont–térdkalács közti ízületben (*patellofemoralis*),<sup>5</sup> a térdkalács és a szemben fekvő combcsont porcrésze közti érintkezési felszínen nincs teljes, a porc felszín egészére kiterjedő érintkezés.<sup>6</sup> Ezt a 2. ábra szemlélteti, ahol látható, hogy különböző hajlítási (*flexio*) tartományok során hol és milyen területen érintkezik a két porcfelszín egymással.



2. ábra

*A patellofemoralis ízület érintkezési felszíne a térdízület különböző hajlítottági állapotában*

A patellofemoralis ízületben, a térd különböző hajlított helyzetében létrejövő érintkezési felszínek sematizálása során látható, hogy ebben az ízület részben – 20, 45, 90 és 130 fokban helyzetben ábrázolva – a porc csak kis területére esik nyomás.

Forrás: Brinckmann–Frobin–Leivseth (2002): i. m. 87.

<sup>5</sup> A patellofemoralis ízület térdünk külön tárgyalandó része, amelyet a betegségek, térdízületi panaszok, illetve biomechanikai jellemzők alapján is önálló entitásként kell kezelni.

<sup>6</sup> B. B. Seedholm et al.: *Mechanical Factors and Patellofemoral Osteoarthritis*. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 38. (1979), 4. 307–316.

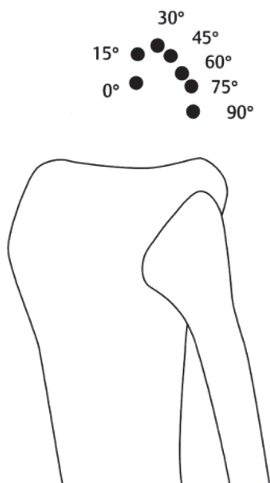
### 3. A térdízület biomechanikai összefüggései

A térdízület fő mozgása a hajlítás és a nyújtás (*flexio* és *extensio*). Egészséges szalagrendszerrel rendelkező térdízületnél oldalirányú mozgás nincs, a hajlításon és nyújtáson kívül minden más irányba történő mozgathatóság kórosnak számít. A hajlítás (*flexio*) mértéke egyénenként változik, értéke körülbelül  $130^\circ$ .<sup>7</sup>

A térdízület is kétkarú emelőként viselkedik, amelynek tengelye, a combcsont condylusai anatómiai kitüremkedéseinek összekötéséből (*epicondylusok*) adódó tengely. Azonban a forgástengely két oldalán két különböző nagyságú erő hat, különböző hosszúságú erőkarokkal, így csak abban az esetben tud megfelelően működni, ha a két erő forgatónyomatéka egyenlő. A combcsont condylusainak főbb része a súlyvonal mögött helyezkedik el, a lábszárcsont ízfelszíne pedig a vízszinteshez képest 5-7 fokban lejt. Ez a helyzet azt biztosítja, hogy a járás bizonyos fázisában a combcsont ne csússzon előre a lábszárcsont ízületi felszínén.

Az anatómiai részben is említettük, de fontossága miatt szeretném megint hangsúlyozni, hogy térdünk megfelelő mozgásához a térdízület szalagrendszerének épsége elengedhetetlen, azok stabilizáló szerepe nélkül megbomlik a normál biomechanikai egység.

Mérések alapján a térd forgástengelye nem állandó tengely, hanem folyamatosan változik a különböző hajlítottsági tartományokban. Ezen változásokra a 3. ábra mutat példát.<sup>8</sup>



3. ábra

*Különböző mértékű flexionál a térdízület forgástengelyének elhelyezkedése*

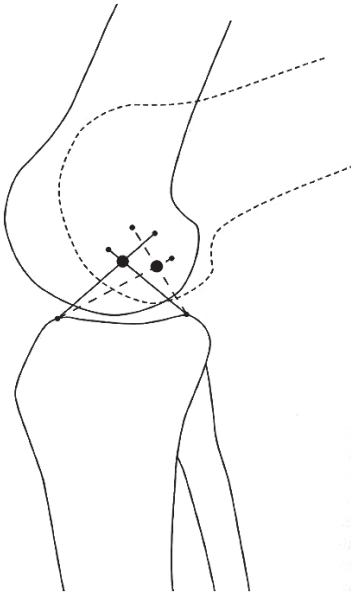
0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 fokos flexio esetén a térd forgástengelyének sematikus ábrázolása.

Forrás: Brinckmann–Frobin–Leivseth (2002): i. m. 88.

<sup>7</sup> Szendrői (szerk.) (2005): i. m. 356.

<sup>8</sup> Gary L. Smidt: *Biomechanical Analysis of Knee Flexion and Extension*. *Journal of Biomechanics*, 6. (1973), 1. 79–92.

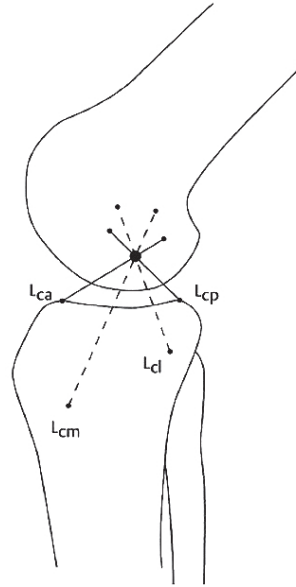
A csúszó-gördülő mozgás kivitelezéséhez nagyon jól megalkotott biomechanikai összhang szükséges, amelyet részben a csontok anatómiai kialakulása, részben pedig a szalagok stabilizációja lát el.<sup>9</sup> Menschik vizsgálatából tudhatjuk, hogy a flexio különböző fázisaiban, a keresztszalagok kereszteződési pontja adja a pillanatnyi rotációs tengelyt abból adódóan, hogy a keresztszalagok hossza állandónak tekinthető. Ha az oldalszalagok által meghatározott rotációs tengelyt is megvizsgáljuk, akkor látni fogjuk, hogy a pillanatnyi rotációs centrumot ez a tengely szintén keresztezi flexio folyamán.<sup>10</sup> Ennek szemléltetésére a 4. és 5. ábra szolgál.



4. ábra

*A keresztszalagok által kialakított rotációs tengely*  
A keresztszalagok által „vezetett” rotációs központ változása.

Forrás: Brinckmann–Frobin–Leivseth (2002): i. m. 88.



5. ábra

*Az oldalszalagok által meghatározott rotációs tengely viszonya a keresztszalagok által meghatározott rotációs tengelyhez*

Az aktuális, keresztszalagok által meghatározott forgáspont egybeesik az oldalszalagok rotációs pontjával egészséges biomechanikai és anatómiai helyzet esetében. L<sub>ca</sub>: elülső keresztszalag (*ligamentum cruciatum anterius*); L<sub>cp</sub>: hátsó keresztszalag (*ligamentum cruciatum posterius*); L<sub>cm</sub>: belső oldalszalag (*ligamentum collateralis tibiale*); L<sub>cl</sub>: laterális oldalszalag (*ligamentum collateralis fibulare*)

Forrás: Brinckmann–Frobin–Leivseth (2002): i. m. 89.

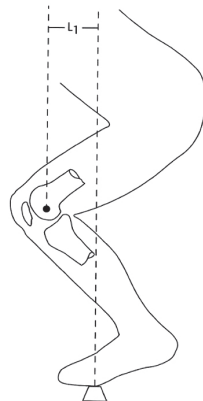
<sup>9</sup> A csontos anatómiai jellemzőre példa a lábszárcsont ízfelszínének 5-7 fokos hátrafelé irányultságú lejtése, valamint, hogy a combcsont condylusainak főbb része a súlyvonal mögött helyezkedik el.

<sup>10</sup> A. Menschik: *Mechanik des Kniegelenks*. Teil 1. *Z. Orthop*, 112. (1974), 448–495.

Fuss tanulmányában tovább finomította a korábbi méréseket és megállapította, hogy flexio során csak a keresztszalagok egy része kerül feszültség alá.<sup>11</sup> Woo és munkatársai szerint az életkor előrehaladtával a keresztszalagok erőbíró képessége gyengül.<sup>12</sup> Piazza és Cavanagh vizsgálata pedig nyilvánvalóvá tette, hogy a térd extenziója során, annak az utolsó 20 fokos tartományában, a tibia a hossz tengelye mentén egy körülbelül 15 fokos kifordulást (*kirotatiot*) hajt végre a nem pontosan illeszkedő ízületfelszín-egyezés (*kongruencia*) miatt.<sup>13</sup> A korábbi kutatások mérési eltéréseit is ezzel a mozgásjelenséggel magyarázta.

Látható, hogy térdünk egyszerűnek tűnő mozgása során – amelyet külső szemlélőként hajlítás-nyújtás váltakozásaként írhatunk le – tulajdonképpen csúszó-gördülő-forduló mozgás jelenik meg. Térdünk működése elengedhetetlen életmódunkban, hiszen helyváltoztató mozgásunk egyik fő terhelő ízülete. Azonban vizsgálatakor a terhelés mértékétől, illetve az erőbehatásoktól függően kell értelmezni az alap biomechanikai összetevőket, hiszen a térdpanaszok kialakulásában, különösen a túlterhelődéssel járó betegségek megjelenésében, ezeknek van hatalmas szerepe.

A térdízület terhelésére jellemző, hogy a benne fellépő nyomás a térd hajlított állapotától is függ. A testre ható gravitációs erő erőkarja a térdízület forgó központjához viszonyítva majdnem nulla nyújtott térdízület és egyenes testtartás esetén, majd fokozatosan nő a térd hajlítása során. A gravitációs erő centruma hajlított térdízülettel történő állásnál az előlábát terheli, a térdhez viszonyítva pedig a térdízülettől hátrébb elhelyezkedő síkban (*posterior*) helyezkedik el, ahogy azt a 6. ábra is mutatja.



6. ábra

*A gravitációs központ helyzete a térdhez viszonyítva hajlított térdrel való állás esetén*

L<sub>1</sub>: a gravitációs erő erőkarja. A térd hajlottsági állapotától függően, nyújtott törzs esetén változik a törzsre ható gravitációs erő erőkarja.

Forrás: Brinckmann–Frobin–Leivseth (2002): i. m. 91.

<sup>11</sup> Franz K. Fuss: *Anatomy of the Cruciate Ligaments and Their Function in Extension and Flexion of the Human Knee Joint. American Journal of Anatomy*, 184. (1989), 2. 165–176.

<sup>12</sup> Savio L. Woo et al.: *Tensile Properties of the Human Femur-Anterior Cruciate Ligament-Tibia Complex: The Effects of Specimen Age and Orientation. The American Journal of Sports Medicine*, 19. (1991), 3. 217–225.

<sup>13</sup> Stephen J. Piazza – Peter R. Cavanagh: *Measurement of the Screw-Home Motion of the Knee is Sensitive to Errors in Axis Alignment. Journal of Biomechanics*, 33. (2000), 8. 1029–1034.

Az egyensúlyi helyzetet ebben a hajlított térdízülettel történő helyzetben a quadriceps izom biztosítja, amely egy fontos ínnal tapad a lábszárcsont tuberositasán. Itt szeretném megemlíteni a térdkalácsunk (*patella*) kialakulásának fontosságát. Mérésekkel igazolták, hogy ha nem lenne jelen a patella, akkor nagyobb izomerő kellene a megfelelő egyensúlyi helyzet kialakításához az ín lefutása miatt. A térdkalács megfelelő helyzete tehát fontos az izomműködés és a térd biomechanikája szempontjából, hiszen befolyásolja a térdben ható erőket.<sup>14</sup> A patella és combcsont közti ízületben a porcra ható erők eloszlanak a két ízületi felszín közt, és a térdízület hajlított állapotától függően más értéket mutatnak, amely erőnagyság az erőbehatás időtartamától is függ.<sup>15</sup> Ez annak a következménye, hogy hosszabb időtartamú nyomás fennállása esetén a porcszövetben kis mértékben deformálódik, emiatt pedig az érintkezési felszín növekszik.<sup>16</sup> A femoropatellaris ízületben végzett vizsgálatok egy részénél a porc alatti csontállomány sűrűségét (*densitását*) is vizsgálták és azt találták, hogy ebben a régióban megnövekedett a csont sűrűsége.<sup>17</sup> A térdkalács alatti ín (*ligamentum patellae*) irányával szintén összefüggést mutat a patellofemorális ízületben fellépő erőnagyság. Az ín iránya ráadásul a lábszárcsont mozgás közbeni rotációja miatt relatívnak tekinthető a combcsonhoz viszonyítva, hiszen az elfordulás közben a térben leírható módon változik.<sup>18</sup>

Ebből a korántsem teljes képből is látható, hogy a térdízület mozgása nagyon bonyolult folyamat. A térdben fellépő erőhatások számos, együttesen fellépő hatás eredőjeként jönnek létre, amely folyamatban bármiféle eltérés kóros mozgást és ennek következtében betegségek, panaszok kialakulását eredményezheti. Nagyon fontos annak vizsgálata – a megelőzés szempontjából és a kezelési stratégiák kialakítása miatt egyaránt –, hogy mozgásszervrendszerünk milyen anatómiai, biomechanikai eltéréseket mutat, valamint, hogy ezen eltérések milyen hatással vannak a tünetek megjelenésére. A normál mozgás, az erőviszonyok és a biomechanikai jellemzők megismerése, valamint a terhelés során fellépő erők, biomechanikai hatások vizsgálata elengedhetetlen a kóros folyamatok megértése szempontjából, hiszen – mozgásszervrendszerünket egy egységként tekintve – egymással összefüggő viszonyrendszerről van szó.

Fajunk alapvetően egységes anatómiával rendelkeznek, azonban kijelenthetjük, hogy mozgásszerveink számos egyedi anatómiai variációt hordoznak. Véleményem szerint ezen „egyediség” miatt a terhelés sablonszerű alkalmazása – nélkülözve az egyedi anatómiai, biomechanikai jellemzők feltérképezését és figyelembevételét – megnöveli a túlterhelés kockázatát. Ezen írásomban a térdízület összefüggéseit vizsgáltam, főként annak biomechanikai változását megnövekedett terhelés esetén.

<sup>14</sup> Paul Brinckmann – W. Frobin – Gunnar Leivseth: *Musculoskeletal Biomechanics*. Stuttgart – New York, Thieme, 2002. 90–97.

<sup>15</sup> A. M. Ahmed – D. L. Burke – A. Yu: *In-Vitro Measurement of Static Pressure Distribution in Synovial Joints. Part II: Retropatellar Surface*. *Journal of Biomechanical Engineering*, 105. (1983), 3. 226–236; H. J. Hehne et al.: Eine neue Methode zur Ermittlung lastabhängiger Druck- und Kontaktverläufe an Grenzflächen. *Morphol Med.*, 1. (1981), 95–106; H. J. Hehne et al.: Analoge Druck- und Kontaktflächenmessung des Femoropatellargelenkes mit optisch sensibler Druckmessfolie. *Z Orthop.*, 120. (1982), 513.

<sup>16</sup> Brinckmann–Frobin–Leivseth (2002): i. m. 96–97.

<sup>17</sup> M. Müller-Gerbl et al.: Die Darstellung der subchondralen Dichtemuster mittels der CT-Osteoabsortimetriemrie (CT-OAM) zur Beurteilung der individuellen Gelenkbeanspruchung am Lebenden. *Z Orthop.*, 128. (1990), 128–133.

<sup>18</sup> Brinckmann–Frobin–Leivseth (2002): i. m. 97.

Az irodalmat áttekintve számos utalást találtam arra vonatkozólag, hogy a túlterhelés következtében fellépő változások milyen negatív hatást okoznak ebben az anatómiai régióban.

Wikstrom és munkatársai tanulmányában olvashatjuk, hogy a női populációban szignifikánsan növekedett értékű a csípő nyújtás (*extensio*) és a térdhajlítás (*flexio*), valamint ezzel ellentétben a térd extenziója kisebb végértéket mutat hölgyek esetében. A flexio és extensio során fellépő izomerő mértéke a férfi populációban mértekhez képest csökkentebb. A vizsgálatokból az is kiderült, hogy az egyensúlyi helyzet fenntartásában a nők jobbak, mert hölgyek esetén a gravitációs központra ható erő- és testtömegarány kisebb. Ugyanakkor a férfiak az egyensúlyi feladatok nehézségi szintjének növelésével javuló értékeket mutattak azokban az esetekben, amikor dinamikus testtartási stabilitással összefüggő gyakorlatokról volt szó.<sup>19</sup>

Katelyn és munkatársai kimutatták, hogy a BMI-értékek, valamint a testzsír-százalék értékei a nők esetén magasabbak, valamint, hogy ugrás során a talajéresi fázisban a hölgyek esetében nagyobb csípő flexio és térd oldalirányú eltérés (*valgisatio*) tapasztalható.<sup>20</sup>

Witvrouw és munkatársai tanulmányukban azt vizsgálták, hogy a fokozottabb terhelésnek alávetett atlétikai sportolók közt milyen arányban fordul elő patella íngyulladás, bizonyos faktorok, mint a combizomzat-feszesség, izomerő, valamint bizonyos antropometriai változók jelenlétében. Azt találták, hogy a combizomzat csökkent rugalmassága (*flexibilitás*) szignifikánsan patella íngyulladáshoz vezet megterhelés esetén.<sup>21</sup>

Szintén Witvrouw és munkatársai munkájában található meg, hogy a combizomzatot és térdízületet nagyobb megterhelésnek kitévő labdarúgók esetén a meg-növekedett combizomzat-feszesség, magasabb rizikótényezőt jelent mozgásszervi sérülések kialakulásában.<sup>22</sup>

Egy másik tanulmányukban Witvrouw és munkatársai leírták, hogy atlétikai sportolóknál a combizomzat feszessége, a belső combizomzat reflex válaszüzeme megváltozása, a hiperobilis térdkalács<sup>23</sup> nagyobb kockázatot jelentenek az elülső térdfájdalmak kialakulásában.<sup>24</sup>

A professzionális sportolók, nehéz fizikai munkát végzők esetén végzett kutatások eredményei azért lehetnek az aktív katonai szolgálatot teljesítő állomány esetén is elfogadhatók – vagy legalábbis figyelemre méltók –, mert katonák esetén a mozgásszervrendszert érő megterhelések nyilvánvalóan nagyobbak, mint az átlag populációban. Ilyen irányú szakirodalmat kutatva például McWilliam és munkatársai

<sup>19</sup> Erik A. Wikstrom et al.: *Gender and Limb Differences in Dynamic Postural Stability during Landing. Clinical Journal of Sports Medicine*, 16. (2006), 4. 311–315.

<sup>20</sup> Katelyn F. Allison et al.: *Musculoskeletal, Biomechanical, and Physiological Gender Differences in the US Military. US Army Medical Department Journal*, (2015), 22–32.

<sup>21</sup> Erik Witvrouw et al.: *Intrinsic Risk Factors for the Development of Patellar Tendinitis in an Athletic Population. A Two-Year Prospective Study. The American Journal of Sports Medicine*, 29. (2001), 2. 190–195.

<sup>22</sup> Erik Witvrouw et al.: *Muscle Flexibility as a Risk Factor for Developing Muscle Injuries in Male Professional Soccer Players. A Prospective Study. The American Journal of Sports Medicine*, 31. (2003), 1. 41–46.

<sup>23</sup> Hiperobilis patella: a normálistól nagyobb mértékben eltérő oldalirányú mozgathatósága térdkalácsunknak.

<sup>24</sup> Erik Witvrouw et al.: *Intrinsic Risk Factors for the Development of Anterior Knee Pain in an Athletic Population. A Two-Year Prospective Study. The American Journal of Sports Medicine*, 28. (2000), 4. 480–489.



munkájából kiderül, hogy szignifikáns összefüggés van bizonyos nehezebb fizikai megterheléssel járó munkák, professzionális sporttevékenységek és a térdpanaszok kialakulása közt.<sup>25</sup> Deacon és munkatársai pedig a professzionális ausztrál labdarúgók esetén találtak vizsgálatuk során megnövekedett kockázatot a térd kopásának kialakulása szempontjából.<sup>26</sup>

Jordaan és munkatársa az alapkiképzésen részt vevő katonáknál vizsgálta a túlterheléses sérülések incidenciáját. Azt találták, hogy a legtöbb esetben a lábszárcsont stresszreakciója (stresszfájdalma) és a térdkalács környékén kialakult (*patellofemoralis*) fájdalom fordultak elő. Vizsgálatukból kiderült, hogy a sérülések több mint 80%-a a térdet, lábszárát és a bokát érintette.<sup>27</sup>

Culvenor és munkatársai szerint a futási technika optimalizálása és a fizikai terhelés során viselt brace<sup>28</sup> használata hatékonyan csökkenti a patellofemoralis fájdalom kialakulásának valószínűségét.<sup>29</sup>

Taanila és munkatársai közléséből tudjuk, hogy a katonai szolgálat idején, a 18–28 éves férfi katonák közt, a deréktájéki fájdalmak után az alsó végtagi fájdalmak fordultak elő leggyakrabban, valamint a visszatérően ismétlődő sérülések közül a hát és a térd sérülései jelentek meg a legnagyobb számban.<sup>30</sup>

Prodromos és munkatársai tanulmányukban leírták, hogy a kosárlabdázó és labdarúgó hölgyek esetén a férfiakhoz képest háromszor nagyobb valószínűséggel alakul ki elülsőkereszttszalag-sérülés. Kutatásukból kiderül, hogy röplabda esetén a kockázat e sérülés vonatkozásában alacsony.<sup>31</sup>

Reiman és munkatársai munkájából kiderül, hogy a csípőízület és annak mozgási, biomechanikai eltérései is a térdpanaszok és -sérülések kialakulásához vezethetnek.<sup>32</sup> Ez a tény pedig rendkívül érdekes összefüggésre mutat rá. Véleményem szerint nem csak célzottan az adott ízület vizsgálata, hanem komplex mozgásszervi státuszfelmérés szükséges, hogy képet kapjunk a kockázat mértékéről. A prevenció során ezen összefüggések felmérése nélkülözhetetlen a megfelelő, hatásos eredmények elérése érdekében.

Fentebb említettem, hogy térdünk alapvető funkciója a helyváltoztatásban mutatkozik meg leginkább. Járás során a saroktámasztást követő, a járásciklus 10%-át kitevő időszakban a csípőízületben hajlítás (*flexio*), közelítés (*adductio*) és befelé

<sup>25</sup> D. F. McWilliams et al.: *Occupational Risk Factors for Osteoarthritis of the Knee: A Meta-Analysis*. *Osteoarthritis and Cartilage*, 19. (2011), 7. 829–839.

<sup>26</sup> Adam Deacon et al.: *Osteoarthritis of the Knee in Retired, Elite Australian Rules Footballers*. *Medical Journal of Australia*, 166. (1997), 4. 187–190.

<sup>27</sup> Gerhard Jordaan – Martin P. Schweltnus: *The Incidence of Overuse Injuries in Military Recruits during Basic Military Training*. *Military Medicine*, 159. (1994), 6. 421–426.

<sup>28</sup> Rögzítő (A szerző véleménye: Ortopédsebészeti, szakmai szemlélet alapján egy egészséges ízület rögzítésének szükségessége megosztja a szakma képviselőit. Ennek kifejtése külön kutatás keretén belül érdekes eredménnyel kecsegtet.)

<sup>29</sup> Adam G. Culvenor et al.: *Is Patellofemoral Pain Preventable? A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomised Controlled Trials*. *British Journal of Sports Medicine*, 55. (2021), 7. 378–384.

<sup>30</sup> Henri Taanila et al.: *Musculoskeletal Disorders in Physically Active Conscripts: A One-Year Follow-Up Study in the Finnish Defence Forces*. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 10. (2009), 1. 1–11.

<sup>31</sup> Chadwick C. Prodromos et al.: *A Meta-Analysis of the Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears as a Function of Gender, Sport, and a Knee Injury-Reduction Regimen*. *Arthroscopy*, 23. (2007), 12. 1320–1325.

<sup>32</sup> Michael P. Reiman – Lori A. Bolgla – Daniel Lorenz: *Hip Functions Influence on Knee Dysfunction: A Proximal Link to a Distal Problem*. *Journal of Sport Rehabilitation*, 18. (2009), 1. 33–46.

fordulás (*rotatio*) valósul meg. A flexio mértéke 0-2 fok az adductio és a befelé rotatio 10-15 fok.<sup>33</sup> Ha nő az aktivitás mértéke – például futás esetén, vagy emelkedőn történő járáskor –, akkor a nemek közti összehasonlító vizsgálatokban szignifikáns eltéréseket találhatunk: a nőknél fokozódnak ezen értékek. Nagyobb mértékű csípő adductio, befelé rotatio a térd középpontját a lábhoz viszonyítva medializálja, azaz valgusosodik a térd. Ezen irányú hatás a szalagokra és a patellofemoralis ízületre ró nagyobb terhelést, ami kialakító tényezője lehet az elülső keresztszalag szakadásnak<sup>34</sup> és patellofemoralis fájdalomnak.<sup>35</sup> Hollman és munkatársai vizsgálatukban szintén azt igazolták, hogy a csípőízület túlzott mértékű addukciója az érintett oldali térd dinamikus valgusosodásához vezethet.<sup>36</sup>

Ha másik anatómiai síkból (*sagittalis*)<sup>37</sup> vizsgáljuk az eredő erők alakulását, akkor azt látjuk, hogy ezek az erők a csípőízület előtt és a térdízület mögött hatnak, így mindkét ízületben flexiós hatást indukálnak. Ha ugrás során, a földet érés pillanatában törzsünk előre hajlított állapotban van, akkor a csípő feszítő izmaira (*extensorokra*) hat nagyobb megterhelés, ha egyenes helyzetben van törzsünk, akkor pedig a térd extensorokra.<sup>38</sup> Ebből könnyen látható, hogy a négyosztatú combizomban (*musculus quadriceps femoris*) húzódás, a patella inban inrendellenesség (*tendinopathia*) alakulhat ki és jelenhet meg panasz formájában.

Járáskor, futáskor az eredő erők úgy alakulnak, hogy a térd medialis kompartmentjére nagyobb erő esik, mint a laterálisra, ezáltal pedig az ott lévő porc terhelése fokozódik.<sup>39</sup> Mozgás során törzsünk helyzete, valamint a medence stabilitása fontos az alsó végtagi terhelés szempontjából. Egyes betegségekben vagy állapotokban a csípőtávoltató izmok (*abductorok*) izomereje csökkent, ezért a támaszkodási fázisban az ellenoldali csípőt nem képesek megtartani, így az lebillen (*Trendelenburg-jel*). Ennek következménye, hogy a törzs súlypontja – a középponthez viszonyítva – átkerül a lengő végtag felé, ez pedig a támaszkodó végtag kifelé hajló (*varus*) irányú eltérését fokozza, ami a belső (*medialis*) ízületi résben túlterhelést okoz. Elmondható tehát, hogy a megfelelő mértékű csípő abductor izomerő csökkenti az ellenoldali csípő arthrosisának kialakulási valószínűségét.<sup>40</sup> A fenti esetben – de más okból kifolyólag is – az emberek törzsüket a támaszkodó oldal felé billentik ellensúlyozásképpen (kompenzatorikusan),

<sup>33</sup> G. Simoneau: *Kinesiology of Walking*. In Donald A. Neumann (szerk.): *Kinesiology of the Musculoskeletal System*. St Louis, MO, Mosby Inc., 2002. 523–569.

<sup>34</sup> Timothy E. Hewett et al.: *Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the Knee Predict Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Female Athletes: A Prospective Study*. *American Journal of Sports Medicine*, 33. (2005), 4. 492–501.

<sup>35</sup> Christopher M. Powers: *The Influence of Altered Lowerextremity Kinematics on Patellofemoral Joint Dysfunction: A Theoretical Perspective*. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 33. (2003), 11. 639–646.

<sup>36</sup> John H. Hollman et al.: *Relationships between Knee Valgus, Hip-Muscle Strength, and Hip-Muscle Recruitment during a Single-Limb Step-Down*. *Journal of Sport Rehabilitation*, 18. (2009), 1. 104–117.

<sup>37</sup> Nyíllirányú.

<sup>38</sup> E. B. Simonsen et al.: *Mechanisms Contributing to Different Joint Moments Observed during Human Walking*. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 7. (1997), 1. 1–13; J. Troy Blackburn – Darin A. Padua: *Sagittal-Plane Trunk Position, Landing Forces, and Quadriceps Electromyographic Activity*. *Journal of Athletic Training*, 44. (2009), 2. 174–179.

<sup>39</sup> C. R. Winby et al.: *Muscle and External Load Contribution to Knee Joint Contact Loads during Normal Gait*. *Journal of Biomechanics*, 42. (2009), 14. 2294–2300.

<sup>40</sup> Alison Chang et al.: *Hip Abduction Moment and Protection against Medial Tibiofemoral Osteoarthritis Progression*. *Arthritis & Rheumatism*, 52. (2005), 11. 3515–3519.

ami szintén negatív következményekkel jár az érintett oldali térdben. Ilyenkor a térd valgizációja fokozódik, visszahatásképpen pedig mindez a csípő abductorok erejének további csökkenését eredményezi.<sup>41</sup>

Látható, hogy a vizsgálatok egy része a nemek közti anatómiai, biomechanikai sajátosságokat kutatja. Az ilyen irányú kutatások eredményei azt támasztják alá, hogy a nemek közt különbséget nem tevő, egységesített edzésprotokoll megnövekedett kockázatot jelent a térd panaszainak és a sérülések kialakulását illetően. Célszerű olyan programok bevezetése, amelyek ezt az egyenlőtlen terhelést csökkentik és megadják a lehetőséget ezen kockázat mérséklésére. Kraemer és munkatársai vizsgálatából kiderül, hogy a nők esetén bevezetett fizikaerőnlét-növelő edzésprogram javította a hölgyek eredményeit a kiképzés során, így jobb teljesítményt értek el, mint a program nélküli esetekben.<sup>42</sup>

Showery és munkatársai az aktív szolgálatot teljesítő katonák esetén vizsgálta az elsődleges és másodlagos térdízületi arthrosis (térdízületi kopás) kialakulásának incidenciáját. Vizsgálatukból kiderült, hogy a magasabb katonai rang és életkor, a fekete rassz, valamint a légierőnél, illetve tengerészgyalogságnál történő szolgálat szignifikánsan növeli a térdkopás kialakulásának valószínűségét. Írásukban hangsúlyozták a megfelelő preventív eljárás kialakítását és bevezetését, a következményes térd osteoarthritis kialakulási valószínűségének csökkentése céljából.<sup>43</sup>

Murtha és munkatársai azt találták, hogy az ismétlődő térdtraumák okán kialakuló térdízületi kopás gyakori indikációja az 50. életkor alatti totál térdprotézis (TEP) beültetésének. Az elülsőkeresztzalag-sérülés, porckárosodás, meniscussérülés gyakran vezet korai porckopáshoz, amelynek súlyos, a karriert és a mindennapi életet is érintő következményei lehetnek. Az általuk vizsgált, TEP-beültetésen átesett esetek 74%-ánál volt valamilyen, a térdet érintő sérülés. A leggyakoribb sérülés az elülsőkeresztzalag-sérülés volt, amely, ha meniscusszakadással is társult, jelentősen felgyorsította a TEP-beültetés szükségességét. A térdben kialakult károsodás, majd az azt követő TEP-beültetés, a katonai szolgálatot teljesítőknél nagy százalékban (55%) jelentette a további szolgálatra alkalmatlannak történő nyilvánítását.<sup>44</sup>

Jiang és munkatársai tanulmánya szerint önmagában az elhízás, a megnövekedett BMI is fokozott kockázatot jelent a térdízületi kopás kialakulásában.<sup>45</sup>

Az elülsőkeresztzalag-sérülések vonatkozásában Magnussen és munkatársai is azt találták, hogy akik átestek keresztzalagpótláson, azoknál az átlag idő, amíg térdízületi TEP-implantációra került sor 25,7 év, az átlagéletkor pedig 58,1 év volt.<sup>46</sup>

<sup>41</sup> Ronald K. Lawrence et al.: Influences of Hip External Rotation Strength on Knee Mechanics during Single-Leg Drop Landings in Females. *Clinical Biomechanics*, 23. (2008), 6. 806–813.

<sup>42</sup> William J. Kraemer et al.: Effect of Resistance Training on Women's Strength/Power and Occupational Performances. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 33. (2001), 6. 1011–1025.

<sup>43</sup> James E. Showery et al.: The Rising Incidence of Degenerative and Posttraumatic Osteoarthritis of the Knee in the United States Military. *The Journal of Arthroplasty*, 31. (2016), 10. 2108–2114.

<sup>44</sup> Andrew S. Murtha et al.: Total Knee Arthroplasty for Posttraumatic Osteoarthritis in Military Personnel Under Age 50. *Journal of Orthopaedic Research*, 35. (2016), 3. 677–681.

<sup>45</sup> Liying Jiang et al.: Body Mass Index and Susceptibility to Knee Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Joint Bone Spine*, 79. (2012), 3. 291–297.

<sup>46</sup> R. A. Magnussen et al.: Total Knee Arthroplasty for Secondary Osteoarthritis Following ACL Reconstruction: A Matched-Pair Comparative Study of Intra-Operative and Early Post-Operative Complications. *Knee*, 19. (2012), 4. 275–278.

Az elülsőkeresztzalag-sérülések, valamint az egyéb sporttal kapcsolatos sérülések a katonák esetén, a civil lakossághoz viszonyítva, tízszer gyakoribb előfordulást mutattak.<sup>47</sup>

Ahn és munkatársai munkájában olvashatjuk, hogy a katonai szolgálat idején elszenvedett elülsőkeresztzalag-sérülések az esetek 76,2%-ában a katonai tevékenységhez, edzéshez, kiképzéshez voltak köthetők, 23,8%-ban pedig egyéb napi elfoglaltság, például labdarúgás szerepelt kiváltó okként. Vizsgálataikból az is kiderül, hogy az adott tevékenység kezdetét követő 30 és 60 perc közti időablakban történtek a sérülések.<sup>48</sup>

Kaplan és munkatársai anatómiai és biomechanikai paraméterek (lábszár hossz-tengely, a lábszárcsont belső és külső ízfelszínének lejtése, a térd belső ízületi részének mélysége) vizsgálatával próbálták igazolni, hogy különböző nehézségű felszereléssel történő talajra érkezés során a térd elülsőkeresztzalag-rendszerére ható erők csökkenthetők-e azáltal, ha a talajfogás pillanatában az egyének növelik a térd behajlításának mértékét. Azt találták, hogy a flexio növelése jó stratégia lehet az elülsőkeresztzalag-sérülés kockázatának mérséklésére. Munkájukban klinikai relevanciát is megfogalmaztak. Véleményük szerint is fenti anatómiai, biomechanikai paraméterek szűrésével azonosíthatók lesznek azok a személyek, akik kiegészítő gyakorlatok bevezetésével csökkenteni tudják az alsó végtagi sérülések kockázatát.<sup>49</sup>

Természetesen katonák esetén a túlterhelés mellett a kiképzés során, illetve a harc-téren szerzett sérülések is okozhatnak térdízületi problémákat. Rivera és munkatársai a civil lakossággal összehasonlítva vizsgálták a térdízületi kopás prevalenciáját térdtáji sérüléseket elszenvedett katonák esetén. Rámutattak, hogy a katonai szolgálat idején bekövetkezett, térsérülések kapcsán kialakult térdarthrosis prevalenciája magasabb ebben a populációban.<sup>50</sup>

Stannard és munkatársa közleményéből kiderül, hogy a Különleges Műveleti Erőknél szolgálók közt a leggyakoribb sérüléseknek a boka, térd és deréktájéki gerinc bántalmi bizonyultak. Vizsgálatuk szerint a sérülések 68%-a kiképzés alatt alakul ki, amely során a fizikai tréning közben elszenvedett sérülések fordultak elő legnagyobb számban.<sup>51</sup>

A genetikai faktorok vizsgálata is azt mutatta, hogy bizonyos genetikai tulajdonságokkal rendelkező egyének nagyobb valószínűséggel válnak érintetté a térd degeneratív megbetegedéseinek vonatkozásában.<sup>52</sup> Ezzel is magyarázható a nem fehér rasszoknál kialakult nagyobb kockázat ténye, amelyet részben genetikai okokkal, részben pedig az eltérő BMI-vel és csontsűrűség-eltéréssel magyaráznak.<sup>53</sup>

<sup>47</sup> Brett D. Owens et al.: *Incidence of Anterior Cruciate Ligament Injury among Active Duty U.S. Military Servicemen and Servicewomen. Military Medicine*, 172. (2007), 1. 90–91.

<sup>48</sup> J. Ahn et al.: *The Mechanism and Cause of Anterior Cruciate Ligament Tear in the Korean Military Environment. Knee Surgery & Related Research*, 31. (2019), 13.

<sup>49</sup> Jonathan T. Kaplan et al.: *Association Between Knee Anatomic Metrics and Biomechanics for Male Soldiers Landing with Load. American Journal of Sports Medicine*, 48. (2020), 6. 1389–1397.

<sup>50</sup> Jessica C. Rivera et al.: *Posttraumatic Osteoarthritis Caused by Battlefield Injuries: The Primary Source of Disability in Warriors. Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 20. (2012), Suppl 1. S64–69.

<sup>51</sup> Joanne Stannard – L. Fortington: *Musculoskeletal Injury in Military Special Operations Forces: A Systematic Review. BMJ Military Health*, 167. (2021), 4. 255–265.

<sup>52</sup> Marc C. Hochberg et al.: *Genetic Epidemiology of Osteoarthritis: Recent Developments and Future Directions. Current Opinion in Rheumatology*, 25. (2013), 2. 192–197.

<sup>53</sup> Ana M. Valdes – Tim D. Spector: *Genetic Epidemiology of Hip and Knee Osteoarthritis. Nature Reviews Rheumatology*, 7. (2011), 1. 23–32; Kay Chapman – Ana M. Valdes: *Genetic Factors in OA Pathogenesis. Bone*, 51. (2012), 2. 258–264.

A genetikai eltérések, testsúly, BMI, életkor figyelembevétele, az egyénre jellemző mozgásszervi anatómiai és biomechanikai jellemzők felmérése csökkentheti a kockázatot a későbbi térdpanaszok kialakulását tekintve. Ennek pozitív hatását célzó vizsgálatból (Dijksma és munkatársai) kiderül, hogy a mozgásszervi sérülések ellátása jelentős pénzügyi terhet jelent a költségvetésnek,<sup>54</sup> ami megítélésem szerint sem elhanyagolható tényező. Dijksma és munkatársai egy másik kutatása alapján kijelenthető, hogy lényeges és fontos annak a szemléletnek a kialakítása, amely – prevenció szempontjából – kedvezőbb kiképzési stratégiát követ.<sup>55</sup> Glaviano és munkatársai is arra következtetésre jutottak, hogy az elülső térdfájdalom kialakulási kockázatának csökkentése érdekében a kutatások középpontjába kerülhetnek az intervenció programok kidolgozását és a képzési követelmények felülvizsgálatát célzó vizsgálatok.<sup>56</sup> Az időben elkezdett kezelések fontosságát szintén nem e cikk keretén belül szeretném kifejezni, de a megelőzéssel párhuzamosan szükséges lehet egy korai kezelési protokoll felállítása is. Young és munkatársai közleményükben azt vizsgálták, hogy az elülső térdfájdalmak esetén a korai mozgásterápia csökkenti e fájdalmak kialakulásának valószínűségét. Tanulmányukban ugyanakkor leírják, hogy a katonák ilyen panaszokkal az esetek 62,3%-ában nem vettek igénybe kezelést, ami az időben elkezdett kezelés fontosságáról szóló felvilágosítás hatékonyságának növelését teszi szükségessé.<sup>57</sup> Véleményem szerint az aktív katonai szolgálat megkezdése előtt szélesebb körben kellene meghatározni és szűrni azokat a tényezőket, amelyek kockázatként szerepelhetnek a térdízületi problémák kialakulásában, mert a térdízület védelme fontos és meghatározó lehet nemcsak a panaszok megjelenése, hanem annak komplettálódása és az egyén későbbi élete, karrierje szempontjából is.

## Felhasznált irodalom

- Ahmed, A. M. – D. L. Burke – A. Yu: In-Vitro Measurement of Static Pressure Distribution in Synovial Joints. Part II: Retropatellar Surface. *Journal of Biomechanical Engineering*, 105. (1983), 3. 226–236. Online: <https://doi.org/10.1115/1.3138410>
- Ahn, Joosuk – Byungseop Choi – Yong Seuk Lee – Ki Woung Lee – Jung Woo Lee – Beom Koo Lee: The Mechanism and Cause of Anterior Cruciate Ligament Tear in the Korean Military Environment. *Knee Surgery & Related Research*, 31. (2019), 13. Online: <https://kneesurgelates.biomedcentral.com/articles/10.1186/s43019-019-0015-1>
- Allison, Katelyn F. – Karen A. Keenan – Timothy C. Sell – John P. Abt – Takashi Nagai – Jennifer Deluzio – Mark McGrail – Scott M. Lephart: Musculoskeletal, Biomechanical, and Physiological Gender Differences in the US Military. *US*

<sup>54</sup> Iris Dijksma et al.: Epidemiology and Financial Burden of Musculoskeletal Injuries as the Leading Health Problem in the Military. *Military Medicine*, 185. (2020), 3–4. e480–e486.

<sup>55</sup> Iris Dijksma et al.: Exercise Programs to Reduce the Risk of Musculoskeletal Injuries in Military Personnel: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PM&R*, 12. (2020), 10. 1028–1037.

<sup>56</sup> Neal R. Glaviano – Michelle C. Boling – John J. Fraser: Anterior Knee Pain Risk Differs Between Sex and Occupation in Military Tactical Athletes. *Journal of Athletic Training*, (2021), március 31.

<sup>57</sup> Jodi L. Young et al.: Usual Medical Care for Patellofemoral Pain Does Not Usually Involve Much Care: 2-Year Follow-up in the Military Health System. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 51. (2021), 6. 305–313.

- Army Medical Department Journal*, (2015), 22–32. Online: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26101903/>
- Blackburn, J. Troy – Darin A. Padua: Sagittal-Plane Trunk Position, Landing Forces, and Quadriceps Electromyographic Activity. *Journal of Athletic Training*, 44. (2009), 2. 174–179. Online: <https://doi.org/10.4085/1062-6050-44.2.174>
- Brinckmann, Paul – W. Frobin – Gunnar Leivseth: *Musculoskeletal Biomechanics*. Stuttgart – New York, Thieme, 2002.
- Chang, Alison – Karen Hayes – Dorothy Dunlop – Jing Song – Debra Hurwitz – September Cahue – Leena Sharma: Hip Abduction Moment and Protection against Medial Tibiofemoral Osteoarthritis Progression. *Arthritis & Rheumatism*, 52. (2005), 11. 3515–3519. Online: <https://doi.org/10.1002/art.21406>
- Chapman, Kay – Ana M. Valdes: Genetic Factors in OA Pathogenesis. *Bone*, 51. (2012), 2. 258–264. Online: <https://doi.org/10.1016/j.bone.2011.11.026>
- Charnley J.: The Lubrication of Animal Joints in Relation to Surgical Reconstruction by Arthroplasty. *Annals of Rheumatic Diseases*, 19. (1960), 1. 10–19. Online: <https://doi.org/10.1136/ard.19.1.10>
- Culvenor, Adam – G. Marienke van Middelkoop – Erin M. Macri – Kay M. Crossley: Is Patellofemoral Pain Preventable? A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomised Controlled Trials. *British Journal of Sports Medicine*, 55. (2021), 7. 378–384. Online: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102973>
- Deacon, Adam – Kay Crossley – Peter Brukner – Kim Bennell – Zoltan S. Kiss: Osteoarthritis of the Knee in Retired, elite Australian Rules Footballers. *Medical Journal of Australia*, 166. (1997), 4. 187–190. Online: <https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.1997.tb140072.x>
- Dijkma, Iris – Marga Bekkers – Bea Spek – Cees Lucas – Martijn Stuiver: Epidemiology and Financial Burden of Musculoskeletal Injuries as the Leading Health Problem in the Military. *Military Medicine*, 185. (2020), 3–4. 1–5. e480–e486. Online: <https://doi.org/10.1093/milmed/usz328>
- Dijkma, Iris – İlgin G. Arslan – Faridi S. Etten–Jamaludin – Roy G. Elbers – Cees Lucas – Martijn M. Stuiver: Exercise Programs to Reduce the Risk of Musculoskeletal Injuries in Military Personnel: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PM&R*, 12. (2020), 10. 1028–1037. Online: <https://doi.org/10.1002/pmrj.12360>
- Fuss, Franz K.: Anatomy of the Cruciate Ligaments and Their Function in Extension and Flexion of the Human Knee Joint. *American Journal of Anatomy*, 184. (1989), 2. 165–176. Online: <https://doi.org/10.1002/aja.1001840208>
- Glaviano, Neal R. – Michelle C. Boling – John J. Fraser: Anterior Knee Pain Risk Differs Between Sex and Occupation in Military Tactical Athletes. *Journal of Athletic Training*, (2021), március 31. Online: <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0578.20>
- Hehme HJ. et al.: Eine neue Methode zur Ermittlung lastabhängiger Druck- und Kontaktverläufe an Grenzflächen. *Morphol Med.*, 1. (1981), 95–106.
- Hehme HJ. et al.: Analoge Druck- und Kontaktflächenmessung des Femoropatellargehenkes mit optisch sensibler Druckmessfolie. *Z Orthop*, 120. (1982), 513.
- Hewett, Timothy E. – Gregory D. Myer – Kevin R. Ford – Robert S. Heidt – Angelo J. Colosimo – Scott G. McLean – Antonie J. van den Bogert – Mark V. Paterno – Paul Succop: Biomechanical Measures of Neuromuscular Control and Valgus Loading



- of the Knee Predict Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Female Athletes: A Prospective Study. *American Journal of Sports Medicine*, 33. (2005), 4. 492–501. Online: <https://doi.org/10.1177/0363546504269591>
- Hochberg, Mark C. – Laura Yerges-Armstrong – Michelle Yau – Braxton D. Mitchell: Genetic Epidemiology of Osteoarthritis: Recent Developments and Future Directions. *Current Opinion in Rheumatology*, 25. (2013), 2. 192–197. Online: <https://doi.org/10.1097/BOR.0b013e32835cfb8e>
- Hollman, John H. – Barbara E. Ginos – Jakub Kozuchowski – Amanda S. Vaughn – David A. Krause – James W. Youdas: Relationships between Knee Valgus, Hip-Muscle Strength, and Hip-Muscle Recruitment during a Single-Limb Step-Down. *Journal of Sport Rehabilitation*, 18. (2009), 1. 104–117. Online: <https://doi.org/10.1123/jsr.18.1.104>
- Jiang, Liying – Wenjing Tian – Yingchen Wang – Jiesheng Rong – Chundan Bao – Yupeng Liu – Yashuang Zhao – Chaoxu Wang: Body Mass Index and Susceptibility to Knee Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Joint Bone Spine*, 79. (2012), 3. 291–297. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2011.05.015>
- Jordaan, Gerhard – Martin P. Schweltnus: The Incidence of Overuse Injuries in Military Recruits during Basic Military Training. *Military Medicine*, 159. (1994), 6. 421–426. Online: <https://doi.org/10.1093/milmed/159.6.421>
- Kaplan, Jonathan T. – John W. Ramsay – Sarah E. Cameron – Kayla D. Seymore – Michael Brehler – Gaurav K. Thawait – Wojciech B. Zbijewski – Jeffrey H. Siewerdsen – Tyler N. Brown: Association Between Knee Anatomic Metrics and Biomechanics for Male Soldiers Landing with Load. *American Journal of Sports Medicine*, 48. (2020), 6. 1389–1397. Online: <https://doi.org/10.1177/0363546520911608>
- Kraemer, William J. – Scott A. Mazzetti – Bradley C. Nindl – Lincoln A. Gotshalk – Jeff S. Volek – Jill A. Bush – Jim O. Marx – Kei Dohi – Ana L. Gómez – Mary Miles – Steven J. Fleck – Robert U. Newton – Keijo Häkkinen: Effect of Resistance Training on Women's Strength/Power and Occupational Performances. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33. (2001), 6. 1011–1025. Online: <https://doi.org/10.1097/00005768-200106000-00022>
- Lawrence, Ronald K. – Thomas W. Kernozek – Emily J. Miller – Michael R. Torry – Paul Reuteman: Influences of Hip External Rotation Strength on Knee Mechanics during Single-Leg Drop Landings in Females. *Clinical Biomechanics*, 23. (2008), 6. 806–813. Online: <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2008.02.009>
- Magnussen, Robert A. – Guillaume Demey – Sébastien Lustig – Elvire Servien – Philippe Neyret: Total Knee Arthroplasty for Secondary Osteoarthritis Following ACL Reconstruction: A Matched-Pair Comparative Study of Intra-Operative and Early Post-Operative Complications. *Knee*, 19. (2012), 4. 275–278. Online: <https://doi.org/10.1016/j.knee.2011.05.001>
- McWilliams, D. F. – B. F. Leeb – S. G. Muthuri – M. Doherty – W. Zhang: Occupational Risk Factors for Osteoarthritis of the Knee: A Meta-Analysis. *Osteoarthritis and Cartilage*, 19. (2011), 7. 829–839. Online: <https://doi.org/10.1016/j.joca.2011.02.016>
- Menschik, Alfred: Mechanik des Kniegelenks. Teil 1. Z. *Orthop.*, 112. (1974), 448–495. Military Environment. *Knee Surgery & Related Research*, 31. (2019), 13. Online: <https://doi.org/10.1186/s43019-019-0015-1>

- Murtha, Andrew S. – Anthony E. Johnson – Joseph A. Buckwalter – Jessica C. Rivera: Total Knee Arthroplasty for Posttraumatic Osteoarthritis in Military Personnel Under Age 50. *Journal Of Orthopaedic Research*, 35. (2016), 3. 677–681. Online: <https://doi.org/10.1002/jor.23290>
- Müller-Gerbl, M. et al.: Die Darstellung der subchondralen Dichtemuster mittels der CT-Osteoabsortimetrie (CT-OAM) zur Beurteilung der individuellen Gelenkbeanspruchung am Lebenden. *Z Orthop.*, 128. (1990), 128–133. Online: <https://doi.org/10.1055/s-2008-1039487>
- Owens, Brett D. – Sally B. Mountcastle – Warren R. Dunn – Thomas M. DeBerardino – Dean C. Taylor: Incidence of Anterior Cruciate Ligament Injury among Active Duty U.S. Military Servicemen and Servicewomen. *Military Medicine*, 172. (2007), 1. 90–91. Online: <https://doi.org/10.7205/MILMED.172.1.90>
- Piazza, Stephen J. – Peter R. Cavanagh: Measurement of the screw-home motion of the knee is sensitive to errors in axis alignment. *Journal of Biomechanics*, 33. (2000), 8. 1029–1034. Online: [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(00\)00056-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(00)00056-7)
- Powers, C. M.: The Influence of Altered Lowerextremity Kinematics on Patellofemoral Joint Dysfunction: A Theoretical Perspective. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 33. (2003), 11. 639–646. Online: <https://doi.org/10.2519/jospt.2003.33.11.639>
- Prodromos, Chadwick C. – Yung Han – Julie Rogowski – Brian Joyce – Kelvin Shi: A Meta-Analysis of the Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears as a Function of Gender, Sport, and a Knee Injury-Reduction Regimen. *Arthroscopy*, 23. (2007), 12. 1320–1325. Online: <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2007.07.003>
- Reiman, Michael P. – Lori A. Bolgla – Daniel Lorenz: Hip Functions Influence on Knee Dysfunction: A Proximal Link to a Distal Problem. *Journal of Sport Rehabilitation*, 18. (2009), 1. 33–46. Online: <https://doi.org/10.1123/jsr.18.1.33>
- Rivera, Jessica C. – Joseph C. Wenke – Joseph A. Buckwalter – James R. Ficke – Anthony E. Johnson: Posttraumatic Osteoarthritis Caused by Battlefield Injuries: The Primary Source of Disability in Warriors. *Journal of the American Academy of Orthopedic Surgeons*, 20. (2012), Suppl 1. S64–69. Online: <https://doi.org/10.5435/JAAOS-20-08-S64>
- Smidt, Gary L.: Biomechanical Analysis of Knee Flexion and Extension. *J. Biomechanics*, 6. (1973), 1. 79–92. Online: [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(73\)90040-7](https://doi.org/10.1016/0021-9290(73)90040-7)
- Seedholm, B. B. – T. Takeda – M. Tsubuku – V. Wright: Mechanical Factors and Patellofemoral Osteoarthrosis. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 38. (1979), 4. 307–316. Online: <https://doi.org/10.1136/ard.38.4.307>
- Showery, James E. – Nicholas A. Kusnezov – John C. Dunn – Julia O. Bader – Philip J. Belmont Jr – Brian R. Waterman: The Rising Incidence of Degenerative and Posttraumatic Osteoarthritis of the Knee in the United States Military. *The Journal of Arthroplasty*, 31. (2016), 10. 2108–2114. Online: <https://doi.org/10.1016/j.arth.2016.03.026>
- Simoneau, G.: Kinesiology of Walking. In Donald A. Neumann (szerk.): *Kinesiology of the Musculoskeletal System*. St Louis, MO, Mosby Inc., 2002. 523–569.
- Simonsen, E. B. – P. Dyhre-Poulsen – M. Voigt – P. Aagaard – N. Fallentin: Mechanisms Contributing to Different Joint Moments Observed During Human Walking. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 7. (1997), 1. 1–13. Online: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1997.tb00110.x>



- Stannard, Joanne – L. Fortington: Musculoskeletal Injury in Military Special Operations Forces: A Systematic Review. *BMJ Military Health*, 167. (2021), 4. 255–265. Online: <https://doi.org/10.1136/bmjmilitary-2020-001692>
- Szendrői Miklós (szerk.): *Ortopédia*. Budapest, Semmelweis, 2005.
- Taanila, Henri – Jaana Suni – Harri Pihlajamäki – Ville M. Mattila – Olli Ohrankämnen – Petteri Vuorinen – Jari Parkkari: Musculoskeletal Disorders in Physically Active Conscripts: A One-Year Follow-Up Study in the Finnish Defence Forces. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 10. (2009), 1. 1–11. Online: <https://doi.org/10.1186/1471-2474-10-89>
- Valdes, A. M. – Tim D. Spector: Genetic Epidemiology of Hip and Knee Osteoarthritis. *Nature Reviews Rheumatology*, 7. (2011), 1. 23–32. Online: <https://doi.org/10.1038/nrrheum.2010.191>
- Wikstrom, Erik A. – Mark D. Tillman – Kai J Kline – Paul A Borsa: Gender and Limb Differences in Dynamic Postural Stability during Landing. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 16. (2006), 4. 311–315. Online: <https://doi.org/10.1097/00042752-200607000-00005>
- Winby, C. R. – D. G. Lloyd – T. F. Besier – T. B. Kirk: Muscle and External Load Contribution to Knee Joint Contact Loads during Normal Gait. *Journal of Biomechanics*, 42. (2009), 14. 2294–2300. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.06.019>
- Witvrouw, Erik – Johan Bellemans – Roeland Lysens – Lieven Daneels – Dirk Cambier: Intrinsic Risk Factors for the Development of Patellar Tendinitis in an Athletic Population. A Two-Year Prospective Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 29. (2001), 2. 190–195. Online: <https://doi.org/10.1177/03635465010290021201>
- Witvrouw, Erik – Lieven Danneels – Peter Asselman – Thomas D'Have – Dirk Cambier: Muscle Flexibility as a Risk Factor for Developing Muscle Injuries in Male Professional Soccer Players. A Prospective Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 31. (2003), 1. 41–46. Online: <https://doi.org/10.1177/03635465030310011801>
- Witvrouw, Erik – Roeland Lysens – Johan Bellemans – Dirk Cambier – Guy Vanderstraeten: Intrinsic Risk Factors for the Development of Anterior Knee Pain in an Athletic Population. A Two-Year Prospective Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 28. (2000), 4. 480–489. Online: <https://doi.org/10.1177/03635465000280040701>
- Woo, Savio L. – J. Marcus Hollis – Douglas J. Adams – Roger M. Lyon – Shinro Takai: Tensile Properties of the Human Femur-Anterior Cruciate Ligament-Tibia Complex: The Effects of Specimen Age and Orientation. *The American Journal of Sports Medicine*, 19. (1991), 3. 217–225. Online: <https://doi.org/10.1177/036354659101900303>
- Young, Jodi L. – Suzanne J. Snodgrass – Joshua A. Cleland – Daniel I. Rhon: Usual Medical Care for Patellofemoral Pain Does Not Usually Involve Much Care: 2-Year Follow-up in the Military Health System. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 51. (2021), 6. 305–313. Online: <https://doi.org/10.2519/jospt.2021.10076>