

## Osnove klinične biomehanike kolena Basic clinical biomechanics of the knee

Vane Antolič\*

Deskriptorji  
kolenski sklep  
biomehanika

Descriptors  
knee joint  
biomechanics

**Izvleček.** Opisane so osnovne biomehantične lastnosti kolena in njihov pomen v klinični praksi. Koleno deluje v območju ohlapnosti, istočasno pa mora biti primerno stabilno. Koleno je najstabilnejše v polni iztegnitvi. Poudarjen je pomen pravilne osi spodnje okončine in njene operativne korekcije. Opisani so glavni tipi kolenskih endoprotez in osnovni razlogi za nastanek omajanja kolenskih endoprotez. Osnova rehabilitacije kolena po poškodbi ali po operaciji je krepitev kvadricepsa.

**Abstract.** The basic knee biomechanics for clinicians is described. On the one hand, the knee functions in the range of considerable laxity, but, on the other, it should maintain adequate stabilities. The most stable knee position is in extension. The significance of the physiological axis of the lower extremity and its operative correction is emphasized. The basic types of knee endoprosthesis and the main factors responsible for the initiation of the loosening process after total knee replacement are described. In the rehabilitation after trauma and surgery strengthening of the quadriceps muscle is of utmost importance.

### Uvod

Poznavanje biomehanike kolena predstavlja osnovno vodilo pri zdravljenju artroze in okvar ligamentarnega sistema kolena ter pri nekaterih boleznih pogačice. Biomehanika pa je sekundarnega pomena npr. pri zdravljenju tumorjev in vnetnih procesov v področju kolenskega sklepa.

Delovanje v območju ohlapnosti bi lahko opisali kot osnovno biomehantično lastnost kolena. Zaradi tega lahko že majhne sile povzročijo sorazmerno velike premike v sklepu. Proti prevelikim premikom kolenskih struktur in s tem proti poškodbam se upirajo mišice (aktivni stabilizatorji) in ligamenti (pasivni stabilizatorji). Za koleno značilna relativna ohlapnost je potrebna, ker so poleg gibov v sagitalni ravnini kolena (fleksija – ekstenzija), npr. pri hoji, vedno prisotne tudi rotacije v horizontalni ravnini (notranja in zunanja za 10 do 15 stopinj) ter abdukcija in addukcija v frontalni ravnini (za 10 stopinj) (1, 2). Obsega zunanje in notranje rotacije v kolenu sta odvisna od stopnje fleksije kolena; pri upogibu kolena so rotacijski gibi obsežnejši, pri polnem iztegu pa je koleno zaščiteno proti poškodbe povzročujočim, nezaželenim rotacijam. Koleno deluje torej v območju ohlapnosti, istočasno pa mora biti tudi stabilno.

### Osnove biomehanike kolena

Os spodnje okončine ocenjujemo na rentgenskem posnetku spodnje okončine v obremenjenem položaju. Normalno so središča kolka, kolena in gležnja na isti črti. Pri va-

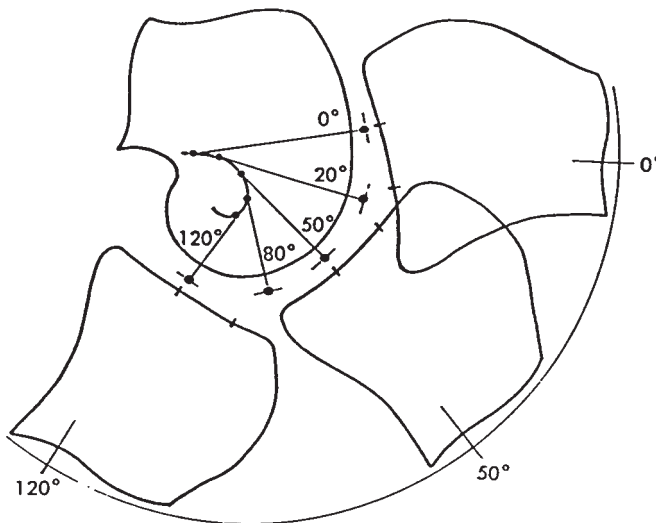
\*Dr. sc. Vane Antolič, dr. med., Ortopedska klinika, Klinični Center, Zaloška 9, 1000 Ljubljana.

rusni deformaciji je povečana interkondilarna in pri valgusni intermaleolarna razdalja. Pri rekurvatum položaju se središče rotacij kolena nahaja za premico, ki jo določata središče kolka in gležnja.

Medialni stegnenični kondil je ožji in bolj ukrivljen od lateralnega. Medialna sklepna površina golenice je ovalnejša, globlja in bolj konkavna od lateralne. V polni iztegnitvi je kolenostabilnejše. Stegnenična kondila sta s svojim bolj sploščenim delom (slika 1) v stiku z zgornjo sklepno površino golenice, posebno medialni kondil je dobro ujet v ovalno udolbino v medialnem delu zgornje sklepne površine golenice, medialni in kolateralni ligamenti so napeti, tudi križna ligamenta sta primerno napeta. V iztegnjenem položaju kolena deluje spodnja okončina kot celota, rotacije v kolenu in odpiranje kolena na varus in valgus nateg pri fizioloških obremenitvah niso izvedljivi do praktično pomembnega obsega (1, 2).

Med hojo se središče rotacij spreminja v odvisnosti od stopnje fleksije (1). Gledano od strani (os v frontalni ravnini), se lega trenutnega središča rotacij v odvisnosti od stopnje fleksije kolena spreminja po krivulji, ki ima obliko črke J (slika 1). Pri prehodu iz polne iztegnitve kolena preide golenica z drsenjem v pokrčen položaj, pri nadaljnjem pokrčenju pa pride do nakazano krožnega premika zgornje sklepne površine golenice glede na stegnenico, ker je ukrivljenost stegneničnih kondilov, gledana od strani, v sprednjem delu manjša kot v zadnjem delu. Med hojo se sklepni pritisk spreminja in znaša od 30 do 200 N/cm<sup>2</sup> (2).

Bistven pomen pogačice je v tem, da povečuje razdaljo od trenutnega središča rotacij kolenskega sklepa do kite štiriglave mišice. Po načelu delovanja vzvodov je s tem po-



Slika 1. Lega središča rotacij kolena v odvisnosti od fleksije.

večana moč štiriglave mišice. To je podobno, kot če bi poskušali dvigniti neki težak predmet s krajšim ali pa z daljšim vzvodom; lažje bi ga dvignili z daljšim. Pogačica med fleksijo kolena drsi preko kondilov stegenice. Njeno pot vodijo mišice vastus lateralis, medialis in intermedius ter rektus femoris in ligamentarni aparat (retinakuli). Neusklajenost v delovanju teh struktur kot posledice relativnega prevladovanja ene od skupin ali pa zaradi spremenjene geometrije kolena (npr. displazija lateralnega kondila) pripelje do nestabilnosti pogačice (tipično v lateralni smeri) oziroma do bolečinskih sindromov (spredaj boleče koleno). Patelo-femoralna stična površina se z iztegovanjem kolena zmanjšuje. V iztegu je obremenjen le distalni pol pogačice. Poprečni pritisk v patelo-femoralnem sklepu znaša okrog 200 N/cm<sup>2</sup> (2).

Meniskusi premoščajo asimetrijo, ki obstaja na stični površini stegeničnih in goleničnih kondilov. Sodelujejo pri lubrikaciji sklepa in pri prerazporejenju pritiskov v sklepu ter povečujejo elastičnost sklepa. Medialni meniskus je čvrsto priraščen na sklepno ovojnico in na medialni kolateralni ligament, lateralni meniskus pa je priraščen le deloma in še to ohlapno. Na zadnji strani kolena je med sklepno ovojnico in lateralnim meniskusom kita popliteusa. Lateralni meniskus je zaradi naštetega bistveno mobilnejši in zato redkeje poškodovan od medialnega (3).

Oblika kolenskega sklepa je taka, da malo prispeva k stabilnosti kolena. Zato morajo koleno pred poškodbami varovati ligamenti: prednji in zadnji križni, kolateralna in sklepna ovojnica. Križna ligamenta preprečujeta nekontroliran pomik stegenice preko zgornje sklepne površine golenice, oziroma nevtralizirata delovanje strižnih sil. Križna ligamenta usmerjata in vodita fleksijsko-rotacijski gib kolena. Poleg tega zadnji križni ligament preprečuje preveliko notranjo rotacijo golenice glede na stegenico, sprednji križni ligament pa preprečuje preveliko zunanjo rotacijo. Sprednji križni ligament stabilizira koleno v polnem iztegu in preprečuje hiperekstenzijo. Kolateralni ligamenti so v bistvu regionalne zadebelitve kolenske sklepne ovojnice. Ligamenti koleno stabilizirajo z vodenjem kolenskega giba po pravilni tirnici v treh oseh in s tem, da omejujejo premike izven predvidenega območja giba (1–3).

Kolenske mišice so istočasno generator moči in stabilizatorji kolena. Ločimo ekstenzorje in fleksorje kolena, adduktorje (medialno) in abduktorje (lateralno). Lateralne in medialne mišice so istočasno tudi rotatorji. Pomembni stabilizator kolena je tudi tractus ilio-tibialis, ki je vezivni podaljšek mišice tensor fasciae latae.

Mišica gastroknemius izhaja iz stegeničnih kondilov (iznad kolena), soleus pa iz golenice (izpod kolena). Obe mišici skupaj preko Ahilove tive izvajata plantarno fleksijo stopala. V neobremenjenem položaju kolena je mišica gastroknemius fleksor kolena, v stoječem položaju pa ekstenzor kolena. Tako lahko človek z nedelujočo štiriglavo mišico pri polni ekstenziji kolena stoji: to mu omogoča kontrakcija gastroknemiusa, ki koleno drži v iztegnjenem položaju.

Burze so običajno prisotne na mestih, kjer tkiva drsijo eno čez drugo. Zmanjšujejo trenje in s tem vnetje na stičnih površinah. V področju kolena je normalno prisotnih 11 ali celo več burz.

## Operativna korekcija osi

Najpogostejše indikacije za operativno korekcijo osi spodnje okončine so pri otrocih motnje rasti s pretiranim varusnim položajem (npr. Blountova bolezen, metabolne motnje – renalni rahitis, dishondroplazije itd.) in stanja po poškodbi ravnega hrustanca (delna epifiziodeza) z bodisi valgusno ali varusno obliko. Pri otrocih lahko pred koncem rasti z epifiziodezo medialne ravnice cone na stegnjeničnem kondilu dosežemo izravnavo osi. Pri odraslih je najpogostejša varusna artroza (4). Z osteotomijami nad in/ali pod prizadetim kolonom vzpostavimo normalno os kolena, ki znaša od 5 do 10 stopinj valgusa. V določenih primerih je potrebna tudi hiperkorekcija oziroma večji valgus (1, 5). Z osteotomijami upočasnimo razvoj sicer lahko hitro napredujoče artroze kolena (1, 2, 5).

## Kolenske endoproteze

Pri hujših artrozičnih spremembah kolenskega sklepa je potrebna vstavev umetnega sklepa. Osnovni namen pri vstavitvi kolenske proteze je, da bi bili vsadki čim dalj časa mehanično stabilni. V vsakem posameznem kolenskem sklepu so tesno povezane geometrija sklepnih površin ter mehanične lastnosti sklepne površine in ligamentov. Vsako koleno ima specifično območje gibljivosti. Rezultati po vstavitvah kolenskih endoprotez so zaradi zapletene biomehanike do neke mere nepredvidljivi. Vedno je pomembno, da je geometrična os spodnje okončine poravnana s sredino vsadka. Najhujši problem po vstavitvi kolenske proteze je namreč aseptično omajanje. Običajno nastane zaradi:

- prevelikih stičnih napetosti med vsadkom in cementom ter med cementom in kostjo oziroma med vsadkom in kostjo ali
- zaradi pretirane obrabe polietilenskega dela endoproteze.

## Vpete (constrained) endoproteze

Vpete kolenske endoproteze dovoljujejo le upogibe in iztege kolenskega sklepa in so indicirane pri hudih artrozah s težjo prizadetostjo ligamentarnega aparata (2). Ostali, pri normalnem kolenu sicer fiziološko prisotni gibi, niso izvedljivi, ker sta pri teh protezah stegnjenični in golenični del povezana bodisi preko tečajnega ali preko krogelnega sklepa (2). Glavni problem pri polno vpetih protezah je, da se sile prenašajo preko tečaja na stično površino med vsadkom in kostjo. Zaradi delovanja teh sil pride do omajanja na stični površini vsadka in cementa oziroma vsadka in kosti, stopnja obrabe polietilenskega vložka pa je majhna. Vpete endoproteze zahtevajo največjo stopnjo odstranitve kosti, zaradi česar je ponovna operacija po nastanku omajanja še težja. Zato so iskali rešitve v protezi, ki bi bolj posnemala biomehane lastnosti kolena.

## Prosto drseče (unconstrained) endoproteze

Prosto drseče kolenske endoproteze (unikondilarne in bikondilarne) ohranjajo normalno gibljivost v kolenu v vseh treh oseh (2). Vstavimo jih lahko le bolnikom z ohranjenim ligamentarnim aparatom. Ti vsadki zahtevajo najmanjšo stopnjo odstranitve kosti. Problem pri le-teh je, da je stična površina med kondili stegenice in zgornje sklepne površine golenice vedno zelo majhna. Nemogoče je namreč narediti vsadek, ki bi ohranjal

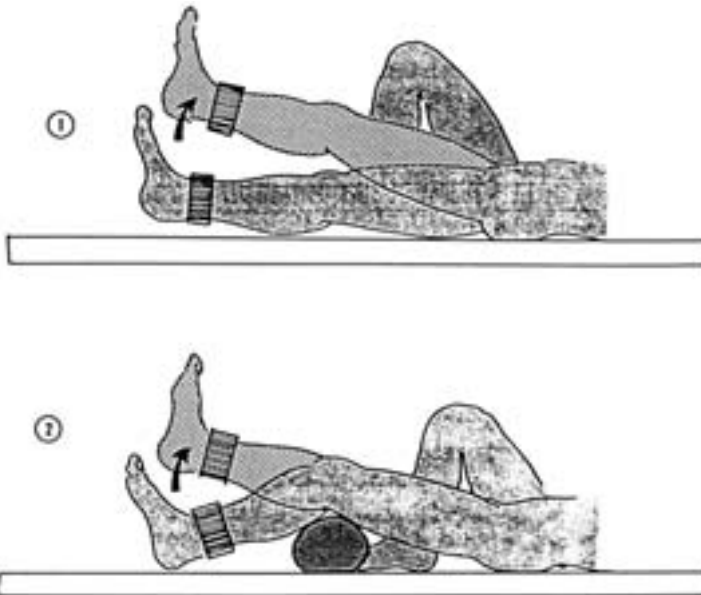
normalno gibljivost v kolenu in imel istočasno veliko stično površino. Zato je pri prosto drsečih endoprotezah problem predvsem obraba polietilena zaradi prevelikih pritiskov. Pri obrabljanju polietilenskega vložka se sproščajo delčki polietilena, zaradi katerih se začne bolezen delcev (particle disease) (6). Posledica bolezni delcev je predčasen nastanek omajanja.

### Delno vpete endoproteze

V vsakdanji klinični praksi je najpogostejša uporaba delno vpetih kolenskih endoprotez (2). Delno vpete (semi-constrained) endoproteze predstavljajo kompromis med obema, biomehanično gledano, skrajnima tipoma kolenskih protez, to je prosto drsečo in vpeto endoprotezo.

### Rehabilitacija kolena

Stanja po poškodbi kolena brez pomembnejše okvare ligamentarnega aparata lahko vodijo v nestabilnost kolena zaradi atrofije mišic. Koleno je brez ustrezno razvitih in delujočih aktivnih stabilizatorjev (mišic) nenormalno delujoče oziroma vedno vsaj pogojno nestabilno. Normalno delovanje kolena je vedno rezultat uglašenosti med ustrezno delujočimi pasivnimi in aktivnimi stabilizatorji ob ustrezni kostno-hrustančni podlagi. Pri okvari ene od naštetih struktur nastopi funkcionalna motenost najmanj ene od preostalih



Slika 2. Tipični vaji za krepitev štiriglave stegenske mišice in za doseganje popolnega iztega kolena. 1 – iztegnjeno spodnjo okončino z dorzifektiranim stopalom dvigamo od podlage. 2 – kot pod 1, le da je koleno na začetku vaje pokrčeno.

dveh struktur. Po operativnem posegu lahko zaradi neaktivnosti, bolečin in refleksne inhibicije nastopi atrofija štiriglave stegenske mišice, ki je lahko problematična. Delno okvaro sprednjega križnega ligamenta lahko nevtraliziramo z okrepitevijo štiriglave mišice, tako da lahko koleno, kljub delni okvari in izpadu sprednjega križnega ligamenta, deluje povsem normalno.

Bistvo vsake rehabilitacije kolena je torej okrepitev štiriglave mišice in doseganje polnega iztega kolena z ustreznimi vajami (slika 2). V vsakdanji klinični praksi opažamo, da so prav aktivni stabilizatorji tisti element kolena, na katerega lahko najenostavneje in relativno najhitreje vplivamo, in da sta njihova vloga in pomen pri rehabilitaciji tudi največkrat spregledana.

## Zaključek

Sama anatomsko oblika kolenskemu sklepu nudi le malo opore in stabilnosti. Za normalno delovanje kolenskega sklepa so zato bistvenega pomena vezi in mišice. Okvaro vezi lahko do neke mere nadomestijo močne mišice. Nastanek artroze in omajanja umetnega sklepa je mogoče do neke preprečiti tako, da z operativnimi posegi dosežemo fiziološko os spodnje okončine.

---

## Literatura

1. Maquet PGJ. *Biomechanics of the knee*. Berlin: Springer, 1984: 15–285.
2. Tooms RE. Arthroplasty of ankle and knee. In: Crenshaw AH, ed. *Campbell's Operative Orthopaedics*. St. Louis: Mosby Company, 1987: 1152–211.
3. Müller W. *Das Knie*. Berlin: Springer, 1982: 7–160.
4. Srakar F. *Ortopedija*. Ljubljana: Sledi, 1994: 1–259.
5. Coventry MB, Bowman PW. Long term results of upper tibial osteotomy for degenerative arthritis of the knee. *Acta Orthop Belg* 1982; 48: 139–56.
6. Harris WH. Osteolysis and particle disease in hip replacement. *Acta Orthop Scand* 1994; 65: 113–23.

Prispelo 15.5.1995