

## Биомеханика—един физичен модел в обучението по медицинска физика

Стефан Кръстев

**Biomechanics – a physical model in Medical Physics Education:** *This article discusses the place of biomechanics within the teaching students of medical specialities; highlighted is the need for maintaining a balance between e-learning and real-environment experiments. Towards this purpose, a physical model representing a fragment of muscular-skeletal system has been developed: human foot standing on tiptoe. The physical model and the general scheme of the developed experimental setup and its operation have been described, as well as certain possible educational experiments.*

**Key words:** *biomechanics, medical physics education, real-environment experiment, physical model, human foot standing on tiptoe, experimental setup.*

### ВЪВЕДЕНИЕ

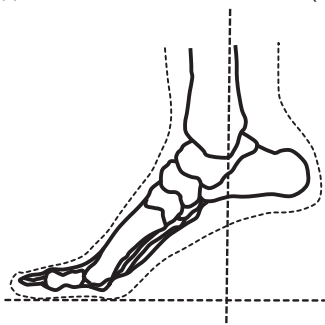
Като дял от механиката, който изучава механичните свойства на биологичните тъкани и флуиди, както и механичната страна на явленията в биологичните системи, в частност, в човешкия организъм, биомеханиката заема особено място в обучението по медицинска физика за студентите от медицински специалности. Обект на биомеханиката в този смисъл са опорно-двигателната система, сърдечно-съдовата система, дихателната, вестибуларната. Изучаването на основите на биомеханиката дава възможност на студентите да вникнат във физичната същност на биологичните явления [1, 3], да установят връзката между механични свойства и механични функции, да си изяснят генезиса на някои заболявания, прилагането на диагностични методи, свързани с измерване на механични величини, както и изследвания за целите на протезирането и т.н. В наше време, при интензивното навлизане на различни форми на електронно обучение е особено важно да бъде запазен баланса между работата във виртуална среда и реалните експерименти, като за целта е необходимо теоретичните форми на обучение да бъдат обогатявани с атрактивни учебни експерименти и демонстрации.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

За решаването на горния проблем беше разработен физичен модел на част от опорно-двигателната система на човека. Физичното моделиране, като част от научното моделиране, дава възможност да бъдат построявани материални обекти реализиращи процеси и функции, наподобяващи тези в биологичните системи, като при това се правят някои опростяващи допускания. Въвеждането на метода на моделирането дава възможност в хода на изследване на физичния модел студентите да фокусират своето внимание върху изучаваните основни физични принципи, абстрахирайки се от останалите, второстепенни в случая обекти, фактори и явления. От особено значение в случая е възможността студентите да извършват собствени учебни експерименти, да се убедят в истинността на изучаваните теоретично принципи и постановки, и в крайна сметка да достигнат до необходимите трайни знания и умения за работа в реална среда.

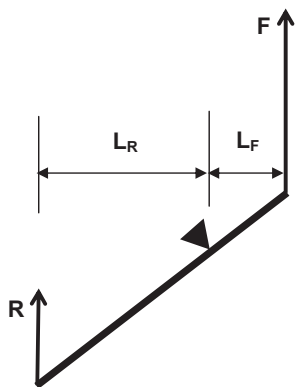
В теоретичната част студентите се запознават с предмета на биомеханиката и степени на свобода на обекти и системи. Опорно-двигателната система на човека, състояща се от съчленени помежду си кости на скелета и мускули, се разглежда като съвкупност от свързани лостове и приложени върху тях действащи сили. Обсъжда се действието на мускулната сила и нейното разлагане на две компоненти: надлъжна, насочена към ставата и увеличаваща сцеплението между костите без да предизвиква преместване, и перпендикулярна—тази, която осъществява въртенето около опорната точка (ставата). Разглежда се също така движението на човешкото тяло, видовете мускулно съкращение, работа и мощност, динамична и статична

работа, равновесие на тялото, ергометрия, източник на енергия за механичната работа и скорост на изразходване на енергията. След дискутирането на тези въпроси на студентите се предлага експериментално изследване на един физичен модел на стъпалото на човека (Фигура 1.).



Фигура 1. Принципна схема на човешко стъпало при повдигане на пръсти.

стъпалото на човека като лост и се изследва взаимовръзката между големините на действащите сили при различни натоварвания при изправяне на пръсти. За целта се правят определени опростяващи допускания, а именно, че опорната точка се намира в глезена, а мускулната сила при изправяне на пръсти е насочена вертикално нагоре.



Фигура 2. Опростена схема на стъпалото като лост при повдигане на пръсти. Действащите сили и техните рамена са описани в текста.

Цел на физичният модел е да се представи разпространената травма при претоварване на ахилесовото сухожилие—сухожилието на триглавия подбедрен мускул, залавящо се за петната кост. Така, например, само свързанието със спорт травми на ахилесовото сухожилие в САЩ се оценяват на над 232 хиляди годишно [5], като значителен процент от активните състезатели след това за продължителен период от време или завинаги прекратяват своята спортна кариера [4]. Скъсването на ахилесовото сухожилие е често срещана травма при претоварване, препъване, падане от голяма височина, характерно е освен това за хора изпълняващите тежък физически труд, военносслужещи [2].

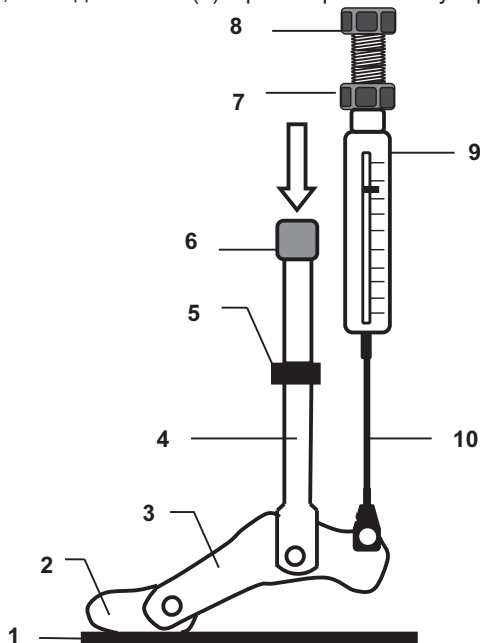
При тази постановка на задачата (виж Фигура 2.), върху стъпалото действат от една страна реакцията на опората  $R$  в резултат на теглото на тялото, а от друга—мускулната сила  $F$  на триглавия подбедрен мускул, прилагана чрез ахилесовото сухожилие, като проекциите на раменете на тези сили са съответно  $L_R$  и  $L_F$ , а опорната точка е изобразена с черен триъгълник.

За целите на експеримента беше разработена съответната опитна постановка (Фигура 3.). Опитната постановка се състои от масивна основа (1), към която неподвижно е закрепен елементът (2) визуализиращ фалангите на пръстите на крака и носещ оста на въртене на разглежданата в модела подвижна част на стъпалото (3). Теглото на тялото се предава посредством лост (4), който може свободно да се върти около ос перпендикулярна на равнината на подвижната част (3). Ограничителят (5) служи за запазване на направлението на действащата сила близо до вертикала в точката на прилагане.

Поради това, че големината на разстоянието от опорната точка на този лост до товара, а съответно и до приложената сила на теглото на теглилките, е по-голямо от преместването във вертикална посока, отклонението от вертикалната посока на силата, симулираща теглото на тялото приложена в „глезена“, може да се смята за пренебрежимо малко. Теглото на човешкото тяло се моделира, като за целта се използват теглилки с подходяща маса. За намаляване на необходимата маса на тези теглилки може да се използва също лостова система—лост на силата, при което масата на необходимите теглилки може да бъде намалена значително, а

поставяйки различни теглилки на различни разстояния или в различни комбинации, могат да се реализират значителен брой възможни натоварвания, симулиращи теглото на тялото. Удобно е тази лостова система да бъде реализирана в дълбочина (перпендикулярно на равнината на принципната схема на Фигура 3), като по тази причина същата е изобразена само схематично (6). Стрелката на Фигура 3 показва посоката на действащата сила на теглото.

Прилаганата мускулна сила се моделира чрез използване на винтова система, неподвижната част (7) на която може да се закрепва за вертикалната страна на основата (1) на опитната постановка, а подвижната (8) чрез въртене симулира „съкращаване на мускула“, т.е. намаляване на „дължината на мускула“. За измерване големината на възникващата при това „съкращаване“ сила към подвижната част на системата посредством свързка, осигуряваща вертикално преместване без завъртане, е монтиран динамометър (9), свободният край на който посредством стоманена проволка (10), моделираща „ахилесово сухожилие“, е захваната за задвижваната част на стъпалото (3). Осите на въртене на подвижната част на стъпалото (3) по отношение на неподвижната (2), както и на лоста (4) и захвата на „ахилесово сухожилие“ (10) около подвижната част на стъпалото (3) са перпендикулярни на равнината на (3).



Фигура 3. Принципна схема на опитната постановка, реализираща физичният модел. Описанието на означените с номера основни елементи е дадено в текста.

При отсъствието на приложена сила на теглото на „човешкото тяло“, т.е. отсъствие на поставени теглилки, собственото тегло на участващите елементи на системата се пренебрегва, а позицията на динамометъра се регулира така, че при „стъпало“ в хоризонтална положение стъпило върху основата (1), показанието на динамометъра да бъде „0“. Поставянето впоследствие на теглилки, симулиращи теглото на човешкото тяло, не променя положението на „стъпалото“. Повдигайки чрез винтовата система (8) динамометъра (9) във вертикална посока, може за всяко приложено „тегло на тялото“, по динамометъра да се отчете големината на действащата за това „мускулна сила“, предизвикала съответното отклонение на подвижната част на стъпалото (3). Измервания могат да се направят и за ъгъла между ходилото и хоризонталната повърхност по отношение на опорната точка върху нея, където е приложена реакцията на опората, както и да се провеждат измервания при определен ъгъл на повдигане на стъпалото.

Първоначалната идея беше опитната постановка за този физичен модел да бъде изработена в реални за възрастен човек размери и действащи сили, но след направения анализ и установените редица възможни проблеми, това се оказа нецелесъобразно. Основната причина се състои в потенциалния риск за студентите

при прилагане на сили от порядъка на килонютони, които при евентуална неизправност биха могли да доведат до непредвидими последици. На второ място, опитната постановка би се оказала с твърде големи размери и тегло, които биха затруднили манипулирането с нея в учебната лаборатория, както и някои други съображения, водещи в крайна сметка до същия извод. По тази причина при разработването на опитната постановка се използва едно от предимствата на научното моделиране—възможността обектите, процесите и явленията да бъдат мащабирани. Независимо от това, с оглед на механичните натоварвания, всички основни елементи на опитната постановка е препоръчително да се изработват от подходящ метал.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Предложеният физичен модел е особено удобен за учебна работа със студентите от медицински специалности. Представената опитна постановка е относително проста по конструкция, като едновременно с това позволява извършването на разнообразни учебни експерименти и анализ на получаваните резултати. Извършването с помощта на този модел симулации дават възможност студентите в условията на реален експеримент да затвърдят своите теоретични знания за физичните основи на функциониране на опорно-двигателния апарат на човека и да вникнат във физичните причини на някои възможни травми при съответното претоварване.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Davidovits P., *Physics in Biology and Medicine*, Third Edition, Elsevier Inc., Academic Press, 2008.
- [2] Davis J.J., Mason K.T., Clark D.A., Achilles tendon ruptures stratified by age, race, and cause of injury among active duty U.S. Military members, *Mil Med.*, 1999, **164**(12):872-873 (PMID:10628159)
- [3] Marion J.B., *General physics with bioscience essays*, John Wiley & Sons, New York, 1977.
- [4] Parekh S.G. , Wray W. H. , Brimmo O. , Sennett B. J , Wapner K. L., Epidemiology and outcomes of Achilles tendon ruptures in the National Football League, *Foot & Ankle Specialist*, 2009; **2**(6):283-286.
- [5] <http://www.achillestendon.com/injuries.html>

### **За контакти:**

гл.ас. Стефан М. Кръстев, дбф, Катедра “Физика и биофизика“, Медицински университет „Проф.д-р П. Стоянов“—Варна, тел. (052) 623337, e-mail: [krustev@mu-varna.bg](mailto:krustev@mu-varna.bg)

**Докладът е рецензиран.**