

ПОУЗДАНОСТ И ВАЛИДНОСТ МЕРЕЊА ФЛЕКСИЈЕ РАМЕНОГ ЗГЛОБА ДИГИТАЛНОМ И СТАНДАРДНОМ ГОНИОМЕТРИЈСКОМ МЕТОДОМ

Стеван Јовановић^а, Ненад Недовић^а, Данило Вујичић^а, Предраг Теовановић^б

^аАкадемија струковних студија Београд, Одсек Висока здравствена школа, Београд, Србија

^бФакултет за специјалну едукацију и рехабилитацију, Универзитет у Београду, Београд, Србија

Сажетак

На основу прегледа литературе и клиничких искустава може се закључити да је мерење амплитуде покрета једна од основних кинезиометријских метода које се користе у процени функционалне покретљивости зглоба. Циљ истраживања је да се испита поузданост и валидност мерења амплитуде покрета раменог зглоба дигиталним системом КЕМТАИ у поређењу са гониометром са крацима. Ово неекспериментално посматрање је спроведено на 40 испитаника којима је обим флексије у раменом зглобу мерен: гониометром са крацима, односно КЕМТАИ софтверским системом који користи камеру мобилног телефона испитивача. На основу добијених резултата утврђено је да је најнижа средња вредност добијена током прве сесије мерења ($M1 = 154,68$), а највећа током треће сесије ($M2 = 156,53$). Приликом коришћења софтвера КЕМТАИ, варијабилност средњих вредности за укупну испитану популацију била је значајно већа него када се користи гониометар са крацима. Резултати показују да је КЕМТАИ софтвер/систем поуздан када се упореде просечни резултати три мерења. На основу добијених резултата закључујемо да су три искусна мериоца показала високу поузданост у мерењу обима флексије раменог зглоба коришћењем гониометра са крацима. Без обзира на утврђене разлике између резултата мерења добијених применом ове две методе, сматрамо да је софтвер/систем КЕМТАИ применљив у практичном раду.

Кључне речи: УГЛОМЕР СА КРАЦИМА/ СОФТВЕР ПРАЋЕЊА ПОКРЕТА/ КИНЕЗИОМЕТРИЈА / КЕМТАИ МЕТОД /

Стеван Јовановић <https://orcid.org/0000-0002-8494-1507>

Ненад Недовић <https://orcid.org/0000-0002-2863-7623>

Данило Вујичић <https://orcid.org/0009-0007-6446-7303>

Предраг Теовановић <https://orcid.org/0000-0003-3477-6723>

УВОД

Мерење амплитуде покрета је једна од основних кинезиометријских метода које се користе у процени функционалне покретљивости зглоба. Тачност мерења и процене обима покрета је суштински задатак у свакодневној клиничкој пракси за адекватно праћење терапијских ефеката (Achachagua et al, 2021). Гониометрија је техника неопходна у истраживачким задацима.

Гониометар је један од најстаријих инструмената који се користи за мерење угла или угаоног положаја зглоба. У стандардној клиничкој пракси дуги низ деценија користе се гониометри (са крацима или гравитациони), који су релативно једноставни за употребу и не коштају много као инструменти. Постоје неки недостаци употребе гониометра са крацима. Постављање гониометра може бити изазовно (Holzgreve et al, 2018; Fraeulin et al, 2020) и веома зависи од искуства оцењивача (Bovens et al, 1990). Међутим, модернизација клиничке праксе подразумева развој нових инструмената и њима припадајућих алата којима се постиже брже, ефикасније, адекватније мерење одабраних параметара локомоторног система. Мерења на којој је заснован софтверски систем КЕМТАИ (КЕМТАИ) се обично користи за процену положаја и праћење покрета тела, што се може користити за побољшање многих активности (Stenum, Rossi, and Roemmich, 2021). Предмет овог неексперименталног посматрања (опсервациона и каузална анализа) је поузданост и валидност софтверске апликације под називом КЕМТАИ у односу на методе мерења гониометром. Циљ посматрања је оцена валидности, објективности, поузданости Кемтаи система и његове употребљивости у клиничкој пракси.

Софтверски систем КЕМТАИ користи камеру и њој припадајући софтвер за снимање, мерење и анализу покрета људског тела. Одређивањем специфичних анатомских тачака - оријентира, систем прати и мери опсег покрета зглобова тела, анализира положаје сегмената и креира персонализоване повратне информације у реалном времену према потребним обрасцима покрета. Утврђивање објективности мерења је, у моделу ове студије, урађено око фронталне осе зглоба рамена кроз покрет флексије надлактице. Од свих зглобова људског тела, рамени зглоб има највећу покретљивост и функционално је веома сложен. Он обезбеђује „транспортну функцију“ за надлактицу и горњи екстремитет током манипулативних активности шаке. Процена амплитуде покрета раменог зглоба је важна у дијагностици поремећаја његове функције и за процену стратегија које могу да поврате функцију рамена (Hayes, Walton, Szomor, и Murrell, 2001). Поред тога, мерење амплитуде/обима покрета се такође користи за откривање асиметрије и ограничења кретања која могу повећати ризик од повреде (Riemann, Witt, и Davies, 2011; Correll, 2018).

Циљ је да се утврди степен поузданости и валидности мерења амплитуде покрета КЕМТАИ системом у поређењу са стандардним гониометром (са крацима). Радна и сазнајна претпоставка овог неексперименталног посматрања је да је мерење амплитуде покрета КЕМТАИ системом поуздано и да обезбеђује исту, ако не и већу поузданост и валидност од мерења гониометром. Мерење гониометром је засновано на рутини мериоца, описује га већи степен субјективности и у том смислу поузданост мерења зависи од мериоца.

Б

МЕТОД РАДА

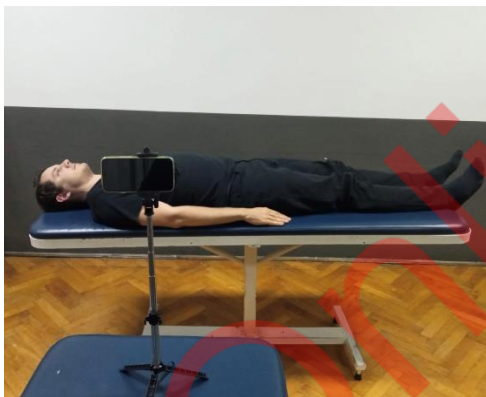
Ово је студија попречног пресека која је обухватила 40 испитаника оба пола, без регистрованих мишићно-скелетних и неуромишићних дисфункција. Студија је спроведена на Високој здравственој школи Академије струковних студија Београд, Србија. Све протоколе одобрила је етичка комисија установе. Испитаници су дали писмену сагласност учешћа у студији.

Предефинисани протокол мерења је од испитаника захтевао да активно изведе покрет флексије рамена. Мерења су обављена наизменичним коришћењем софтвера КЕМТАИ инсталираног на Apple Iphone 12 мини мобилном телефону (Apple Inc., Cupertino, California, USA) и гониометра са крацима. КЕМТАИ софтвер анализира покрете узимајући у обзир промене локације анатомских тачака на основу

података о обрасцима кретања садржаних у систему. КЕМТАИ је доступан од 2021. године и тренутно користи верзију 4.

Ток мерења се одвијао на терапијском столу, док је испитаник био у лежећем положају на леђима. Сваки испитаник је прошао три серије мерења. Серија је укључивала мерење помоћу КЕМТАИ апликације и ручно мерење које је извршио искусни физиотерапеут помоћу гониометра. Свака серија почињала је мерењем обављеним помоћу камере мобилног телефона постављене на држач са три тачке ослоња (висине 1,5 м) на удаљености 70 цм од испитаника. Протокол снимања је садржан у упутству за коришћење овог инструмента. На знак мериоца испитаник је имао 20 секунди да изврши покрет. Друго мерење је вршено гониометром тако што је центар гониометра постављан на пројекцију предње осе раменог зглоба, стационарни крак гониометра пратио је средњу аксиларну линију, а покретни крак је пратио уздужну осу хумеруса. Укупно су извршена по три мерења системом КЕМТАИ и три мерења гониометром. Свако појединачно мерење је вршио други мерилац. Мерење је увек вршено на истој руци. Мерења су вршена сукцесивно са паузом од 10 секунди између мерења. Пошто је у питању прост покрет у једном зглобу, а испитаници нису пријављивали дисфункцију истог, нису рађена додатна тестирања.

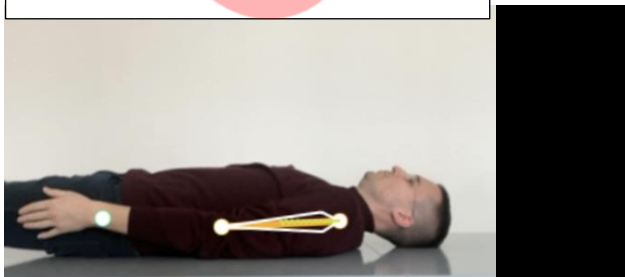
Кемтаи је платформа за вежбање која пружа персонализоване тренинге корисницима. Користи вештачку интелигенцију и технологију рачунарског вида како би пратила покрете корисника током вежбања и пружала им повратне информације и упутства за побољшање перформанси. На платформи су доступни разноврсни програми вежби прилагођени индивидуалном нивоу фитнеса и циљевима корисника, укључујући вежбе снаге, јогу и кардио вежбе. Циљ Кемтаи платформе је да вежбање код куће постане ефикасније уз већу мотивацију вежбача, пружајући интерактивну подршку и праћење напретка током времена.



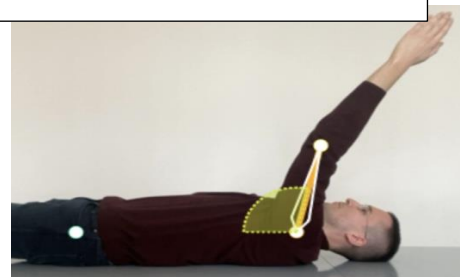
Слика 1. Почетна позиција за мерење



Слика 2. Мерење обима покрета угломером са крацима



Слика 3. Почетна позиција за мерење обима покрета помоћу КЕМТАИ софтвера



Слика 4. Крајња позиција мерења обима покрета помоћу КЕМТАИ софтвера

применом диференцијалних брзина и укупног путања покрета. Резултати су поредили са резултатима тестова Смирновог теста, док је поузданост мера испитивана израчунавањем коефицијената корелације, Кронбахових алфа коефицијената и међукласних коефицијената корелације (ICC). Разлике између наредних мерења у

оквиру исте методе мерења тестиране су једносмерном анализом варијансе за поновљена мерења, док су разлике између различитих метода мерења тестиране коришћењем т теста за независне узорке.

В. РЕЗУЛТАТИ

Резултати мерења углова које су извршили искусни физиотерапеути помоћу гониометра приказани су у табели 1. Опсеги измерених вредности били су слични током сесија, као и средње вредности.

Табела 1. Резултати мерења угла обима покрета угломером са крацима (N = 40)

Мерење	Опсег	М	СД	95% CI	КС 3 (п)
Прво	135 – 165	154.68	7.45	152.29 – 155.08	.09 (.20)
Друго	130 – 170	156.53	8.67	153.75 – 159.30	.14 (.04)
Треће	130 – 169	154.85	8.76	152.05 – 157.65	.12 (.13)

Напомена; KS – Колмогоров-Смирнов тест, СД - стандардна девијација

Најнижи просек је забележен у првој сесији (M1 = 154,68), а највиши у трећој (M2 = 156,53). Интервали поверења за средње вредности које се преклапају указујући на одсуство статистички значајне разлике између њих. То су потврдили и резултати једносмерне анализе варијансе за поновљене мере ($F(2, 78) = 2,68, p = ,07$). Мере су биле приближно нормално распоређене у првој и трећој сесији ($p > .05$), али су значајна одступања примећена у другој сесији (КС 3 = .14, $p = .04$) где је дистрибуција била негативно искривљена (ЗСк = -2.88). Као што показују резултати у табели 2, корелације између три мерења су биле релативно високе, у распону између .77 и .79.

Табела 2. Коefицијент корелација између мерења углова обима покрета угломером са крацима у три сесије

Мерење	Прво	Друго
Друго	.77	
Треће	.79	.78

Вредност Кронбаховог α , односно ICC за просечне мере у двосмерном моделу мешовитих ефеката била је .91 (95% CI [0.85 - .95]). Ово сугерише да су резултати мерења угла израчунати „усредњавањем“ три мере веома поуздани. Осим тога, поузданост појединачних мера је била нижа, али и даље прихватљива (ICC = .78, 95% CI [.66 - .87]). Резултати мерења угла које је обавио софтвер представљени су у табели 3.

Табела 3. Резултати мерења угла обима покрета коришћењем софтвера (N = 40)

Мерење	Опсег	М	СД	95% CI	КС 3 (п)
Прво	144 – 180	166.73	8.80	163.91 – 169.54	.13 (.10)
Друго	150 – 179	169.23	7.19	166.93 – 171.52	.15 (.02)
Треће	145 – 180	169.25	7.88	166.73 – 171.77	.11 (.20)

Напомена: KS – Колмогоров-Смирнов тест, СД - стандардна девијација

Варијабилност средњих резултата у различитим сесијама била је знатно већа – средња вредност примећена у првом мерењу (M1 = 166,73) била је значајно нижа ($F(2, 78) = 4,95, p = ,01$) у поређењу са средњим вредностима уоченим у другом (M2 = 163,23) и трећем мерењу (M3 = 163,25). Уочене мере су биле приближно нормално распоређене у првој и трећој сесији ($p > .05$), али су значајно одступиле од нормалности у другој сесији (КС 3 = .15, $p = .02$) где је дистрибуција била негативно искривљена (ЗСк = -2.37).

Корелације између три софтверска мерења кретале су се од .64 и .86 (Табела 4).

Табела 4. Корелација између мерења углова обима покрета употребом софтвера

Мерење	Прво	Друго
Друго	.86	
Треће	.64	.71

Кронбахових алфа коefицијената и међукласних коefицијената корелације (ICC) за просечне мере у двосмерном моделу мешовитих ефеката био је 0,89 (95% CI [0,81 - 0,94]) што указује да је

просечна софтверска мера била поуздана. Поузданост појединачних мера је била нижа, али ипак прихватљива (ICC = .72, 95% CI [.59-.83]).

Све у свему, приказани резултати указују да обе методе мерења углава могу донети поуздане мере, а када мере испитивачи, мерење је нешто поузданије. Међутим, преклапајући интервали поверења индекса поузданости сугеришу да ова разлика није била статистички значајна. Насупрот томе, апсолутне разлике у средњим вредностима између две методе мерења биле су прилично велике и веома значајне ($t_c > 10$, $p_c < .001$). У просеку, софтвер је проценио да су углови 13 степени шири у поређењу са резултатима процене експерата испитивача (Табела 5).

Табела 5. Разлике између резултата процене испитивача угломером са крацима и софтвера

Мерење	Испитивачи		КЕМТАИ		Тест различитости		Корелација р
	М	СД	М	СД	t(39)	p	
Прво	154.68	7.45	166.73	8.80	12.11	< .001	.71
Друго	156.53	8.67	169.23	7.19	10.12	< .001	.51
Треће	154.85	8.76	169.25	7.88	12.55	< .001	.62
Укупно	155.35	7.21	168.40	7.66	14.23	< .001	.70

Такође, корелације између људских и софтверских мера биле су ниже од прихватљивих у другој ($p = .51$) и трећој сесији ($p = .62$).

На крају, треба напоменути да се средње вредности уочене током мерења гониометром нису разликовале од теоријске вредности од 155 степени ($t(39) = 0.29$, $p = .77$), док то није био случај са средњим софтверским мерама ($t(39) = 11.76$, $p < .001$). Ово сугерише да софтвер систематски прецењује дати угао.

Г

ДИСКУСИЈА

Анализом литературе по сличном сазнајном проблему могуће је уочити да постоје и друге студије које упоређују софтверске програме и стандардну гониометрију. Тако, „Кинект мерења“ су показала добру поузданост тест-ретест и слабо до умерено слагање са гониометријским мерењима (Нawі, 2014).

У овој студији упоредили смо мере опсега покрета флексије надлактице у зглобу рамена добијене коришћењем конвенционалног гониометра и софтверског система КЕМТАИ. Сазнајни ток се одвијао кроз упоређење резултата три узастопна мерења гониометром, које су извршила три различита мериоца. Утврђено је да је најнижа средња вредност добијена током прве сесије, а највећа током треће сесије. Сличан ефекат су добили и други аутори (Holzgreve, 2020), описујући га као акутни ефекат повећања обима покрета након неколико понављања покрета, где постоји повећана толеранција на истезање и смањен пасивни обртни момент (Nakamura, Ikezoe, Takeno, and Ichihashi, 2013). Према неким тумачењима, мускулотендинозна укоченост је остала смањена након трећег и четвртог истезања, али се није даље смањивала што говори у прилог повећања обима покрета после неколико понављања (Ryan, 2009).

Подаци које смо добили у нашој студији указују да су три стручњака испитивача добила резултате без статистички значајних разлика, што указује да су резултати приближно уједначени, а то значи и високу поузданост процене испитивача коришћењем гониометра са крацима. Међутим, постојала је нижа, али прихватљива корелација између појединачних мерења.

Приликом коришћења софтвера КЕМТАИ, варијабилност средњих вредности била је значајно већа него код коришћења стандардног гониометра са крацима. На овакав исход мерења може утицати субјективност стручњака испитивача, који смањују утврђену разлику минималном ручном репозицијом гониометра са крацима. Прва мерења софтвером су показала значајно нижу вредност обима покрета у зглобу, у односу на друго и треће. Овде желимо да подсетимо, да су вредности првог мерења ниже у односу на друго и треће, код обе методе.

Резултати такође показују да је КЕМТАИ софтвер/систем поуздан када се упореде просечни резултати три мерења. Овде морамо напоменути да су све вредности добијене КЕМТАИ системом нешто веће (просечних 13 степени) у поређењу са мерењима са стандардним гониометром са крацима. Сматрамо да је то због тога што софтверски систем приликом мерења овог покрета мапира три тачке (раме, лакат и карлицу – видети слике 3 и 4), а не средњу аксиларну линију, која је оријентир за постављање фиксног крака гониометра током мерења. Другим речима, при кретању надлактице током

флексије у раменом зглобу долази до минималног компензационог померања лумбалног дела кичме, а самим тим вероватно и карлице, што може утицати на резултате добијене софтверским системом. Напротив, при мерењу стандардним гониометром, један његов крак прати кретање кичменог стуба пратећи аксиларну линију и тако се подешава (видети слику 2).

Д

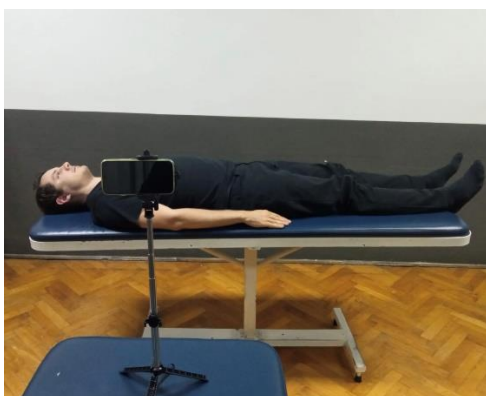
ЗАКЉУЧАК

Мерење амплитуде покрета флексије надлактице у раменом зглобу помоћу софтверског система КЕМТАИ показало се поузданим, услед чега се, поред основне намене може користити у практичном раду као средство за оцену стања, као и праћење ефеката и исхода терапијских процеса који би се применили за повећање амплитуде покрета.

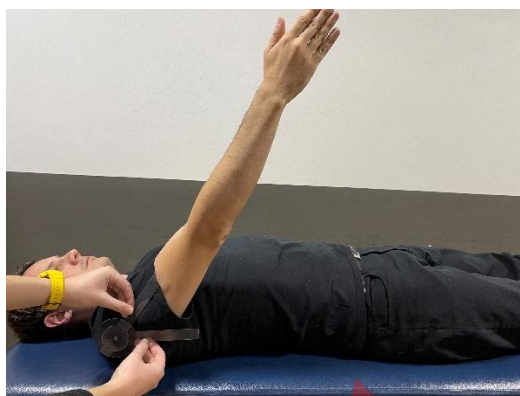
У поређењу са стандардном методом мерења амплитуде покрета, мерење КЕМТАИ системом је практичније, јер захтева мање времена и не захтева посебно скупу опрему, већ нешто што свако има код себе, а то је мобилни телефон. Треба рећи да мерење коришћењем софтвера такође има одређене недостатке, као што су систематско прецењивање угла и нижа поузданост мерења. Поред наведеног, софтверски систем може користити у процени квантитета и квалитета покрета у вези са одређеним мишићно-скелетним и неуромишићним поремећајима у клиничким околностима као и у истраживачке сврхе ограниченог степена поузданости.

ЛИТЕРАТУРА

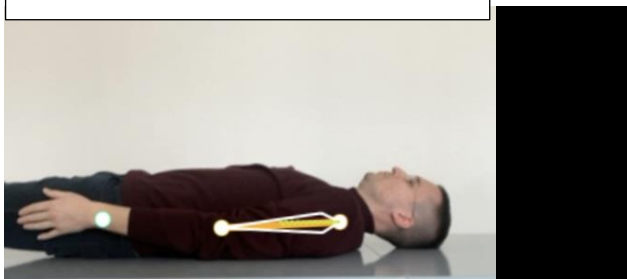
1. Achachagua, A.J. Y., Saucedo, P. S., Lalupú, J. C., Vargas, D. E., Anzualdo, VI. T. (2021). Confiabilidad test-retest de goniometría estándar y G-pro smartphone en el movimiento flexo-extensión del hombro [Test-retest reliability of standard goniometry and the G-pro smartphone in shoulder flexion-extension]. *Rehabilitacion (Madr)* 55:183-189. doi:10.1016/j.rh.2020.11.003
2. Bovens, A.M., van Baak, M.A., Vrencken, J.G., Wijnen, J.A., Verstappen, F.T. (1990). Variability and reliability of joint measurements. *The American Journal of Sports Medicine* 18:58–63. doi:10.1177/036354659001800110
3. Correll, S., Field, J., Hutchinson, H., Mickevicius, G., Fitzsimmons, A., Smoot, B. (2018). Reliability and validity of the halo digital goniometer for shoulder range of motion in healthy subjects. *International Journal of Sports Physical Therapy* 13:707-714.
4. Fraulin, L., Holzgreve, F., Brinkbäumer, M., Dziuba, A., Friebe, D., Klemz, S., Schmitt, M., A, L. T., Tenberg, S., Maurer-Grubinger, C., Ohlendorf, D. (2020). Intra- and inter-rater reliability of a joint range of motion tests using tape measure, digital inclinometer, and inertial motion capturing. *PLoS One* 15. doi:10.1371/journal.pone.0243646
5. Hawi, N., Liodakis, E., Musolli, D., Suero, E.M., Stuebig, T., Claassen, L., Kleiner, C., Krettek, C., Ahlers, V., Citak, M. (2014). Range of motion assessment of the shoulder and elbow joints using a motion sensing input device: a pilot study. *Technology and health care: official journal of the European Society for Engineering and Medicine* 22:289–95. doi:10.3233/THC-140831
6. Hayes, K., Walton, J.R., Szomor, Z.R., Murrell, G.A. (2001). Reliability of five methods for assessing shoulder range of motion. *Australian Journal of Physiotherapy* 47:289-94. doi:10.1016/s0004-9514(14)60274-9
7. Holzgreve, F., Maltry, L., Lampe, J., Schmidt, H., Bader, A., Rey, J., Groneberg, D.A., van Mark, A., Ohlendorf, D. (2018). The office work and stretch training (OST) study: an individualized and standardized approach for reducing musculoskeletal disorders in office workers. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology* 13:37. doi:10.1186/s12995-018-0220-y
8. Holzgreve, F., Maurer-Grubinger, C., Isaak, J., Kokott, P., Mörl-Kreitschmann, M., Polte, L., Solimann, A., Wessler, L., Filmann, N., van Mark, A., Maltry, L., Groneberg, D.A., Ohlendorf, D. (2020). The acute effect in performing common range of motion tests in healthy young adults: a prospective study. *Scientific Reports* 10. doi:10.1038/s41598-020-78846-6
9. Nakamura, M., Ikezoe, T., Takeno, Y., & Ichihashi, N. (2013). Time course of changes in passive properties of the gastrocnemius muscle–tendon unit during 5 min of static stretching. *Manual Therapy* 18, 211–215. doi:10.1016/j.math.2012.09.010
10. Riemann, B.L., Witt, J., Davies, G.J. (2011). Glenohumeral joint rotation range of motion in competitive swimmers. *Journal of Sports Sciences* 29:1191-1199. doi:10.1080/02640414.2011.587441
11. Ryan, E. D., Herda, J. T., Costa, B. P., Defreitas, M. J., Beck, W. T., Stout, J., Cramer, T. J. (2009). Determining the minimum number of passive stretches necessary to alter musculotendinous stiffness. *Journal of Sports Sciences* 27, 957–961. doi:10.1080/02640410902998254
12. Stenum, J., Rossi, C., Roemmich, R.T. (2021). Two-dimensional video-based analysis of human gait using pose estimation. *PLoS Comput Biol* 17. doi:10.1371/journal.pcbi.1008935



Слика 1 Почетна позиција испитаника



Слика 2 Мерење обима покрета угломером са крацима



Слика 3 Почетна позиција за мерење обима покрета помоћу КЕМТАИ софтвера



Слика 4 Крајња позиција мерења обима покрета помоћу КЕМТАИ софтвера

Online First