

## УЛОГА ЕКСЦЕНТРИЧНОГ РЕЖИМА РАДА МИШИЋА НОГУ У АЛПСКОМ СКИЈАЊУ

Роберт Ропрет

Универзитет у Београду, Факултет спорта и физичког васпитања

### Сажетак

Алпско скијање карактерише велики број покрета ногу са мишићним контракцијама у ексцентричном режиму рада. Улога тих покрета је апсорпција гравитационе и инерционих сила, прецизно управљање скијама и одржавање равнотеже. Досадашња истраживања су утврдила обим, трајање и интензитета ексцентричних контракција као и основне карактеристике амплитуда и брзина покрета. На основу претходних сазнања вршени су експерименти са ексцентричним тренингом на бицикл-ергометру којима је потврђен позитиван утицај овог тренинга на повећање максималне силе, снаге, издржљивости, координације, превенцију повређивања, метаболичку ефикасност рада, ефикаснији рад при већој дужини мишића и улогу у имитацији покрета скијаша. Рад представља кратак преглед досадашњих истраживања из области кинематике, динамике скијања и улоге ексцентричног тренинга на развој способности скијаша.

**Кључне речи:** ТРЕНИНГ / СНАГА / ЕКСЦЕНТРИЧНА КОНТРАКЦИЈА / ТЕСТИРАЊЕ

### УВОД

Алпско скијање, рекреативно или такмичарско, представља кретање на скијама низ падину, под утицајем гравитације, при чему скијаш врши покрете у циљу промене правца и контроле брзине. Покрети се врше у условима концентричних (КОН), изометријских (ИЗО) и ексцентричних (ЕКС) контракција мишића. Због дејства гравитације и инерције значајан део покрета се одвија у условима ЕКС режима рада мишића опружача ногу (Berg & Eiken, 1999). Способност контролisanja силе мишића опружача зглоба колена у ЕКС режиму рада може бити кључни лимитирајући фактор у успешности испољавања правилне технике у скијању. Сазнања о карактеристикама ЕКС режима рада, динамичким и кинетичким карактеристикама алпског скијања могу значајно допринети у планирању тренинга и побољшању способности такмичара. Циљ рада је да се, на основу сазнања о улози ексцентричног рада мишића екстензора током скијања утврде адекватне методе и средства за развој снаге ногу код скија-

ша. Истраживање је обухватило преглед база радова *PubMed*, *Medline* и *Google* претраживача. Радови су изабрани комбиновањем кључних речи: алпско скијање, тренинг снаге, ексцентрична контракција. Прегледом су одабрани радови у складу са темом, објављени у периоду од 1995. до јула 2016. године.

### КАРАКТЕРИСТИКЕ ЕКСЦЕНТРИЧНОГ РЕЖИМА РАДА МИШИЋА

Ексцентрична контракција подразумева мишићни рад у условима када спољашње оптерећење превазилази силу мишића, због чега долази до издуживања мишићно-тетивног система и мишић ради у такозваном „попуштајућем режиму“ (Lindstedt, Reich, Keim, & LaStayo, 2002). ЕКС контракција има улогу у смањењу, прекидању или апсорпцији енергије кретања. Апсорбована енергија може бити ослобођена у виду топлоте или као еластична енергија. У првом случају, када су

покрети спорији, ефекат рада мишића је апсорпција оптерећења, као на пример у скијању, трчању низбрдо или саскоцима са висине. У другом случају, током брзих и цикличних покрета (спринт, скокови), апсорбована енергија се ослобађа и омогућава ефикаснију наредну контракцију у тзв. „*повраћном режиму рада мишића*“ (ППРМ). Разлози за овакве ефекте ЕКС контракције нису у потпуности објашњени. Поједини аутори сматрају да се апсорбована енергија на крају ЕКС контракције ослобађа као еластична енергија у тетивама, у брзом покрету који следи (као истегнута еластична опруга). Да би се повратни ефекат искористио потребно је да време између краја ЕКС и почетка КОН контракције („*време сјајања*“) буде кратко јер ће се у супротном еластична енергија претворити у топлотну. Првобитно се сматрало да то време не може бити дуже од 0.15 мс да би Вилсон, Елиот и Вуд (Wilson, Elliot, & Wood, 1990) закључили да се ефекти мањег интензитета могу искористити у периоду до 4 сек. Други аутори сматрају да је појачан ефекат КОН контракције последица дејства рефлекса на истезање. Трећи, сматрају да ЕКС контракција омогућава мишићу да успостави своју (пре)активацију на вишем нивоу и да КОН контракцију започне са већим активацијским потенцијалом (Linthorne, 2001).

### Ексцентрични тренинг и адаптациони процеси

У поређењу са покретима у КОН режиму, рад у ЕКС режиму је енергетски и метаболички ефикаснији, и до 50% (Isner-Horobeti, Dufour, Vautravers, Geny, Coudeyre, & Richard, 2013). Тиме се пружа могућност да се ЕКС тренингом значајно више оптерете мишићи, уз ниже метаболичке захтеве - „*више ефекта уз мање улагање*“ (LaStayo, Pierotti, Pifer, Hoppeler, & Lindstedt, 2000). Током ЕКС педалирања на бицикл-ергометру потрошња  $O_2$  може износити 1/6-1/7 потрошње у односу на педалирање у КОН режиму (Biglan-Ritchie & Woods, 1976). Вогт (Vogt, 2011) је у експерименту са ЕКС педалирањем на бицикл-ергометру остварио укупан обим рада од 240 тона по тренингу, што је готово немогуће постићи педалирањем у КОН режиму. ЛаСтајо и сарадници (LaStayo, et al., 2000) су у експерименту педалирања на бицикл-ергометру, при интензитету рада од 65%  $VO_{2max}$ , забележили рад са четири пута већим оптерећењем у ЕКС режиму (489 W) у односу на групу која је

радила у КОН режиму (128 W).

Адаптациони процеси под утицајем ЕКС тренинга се испољавају променама у нервном и мишићном систему. Повећава се мишићна маса услед хипертрофије мишићних влакана брзог типа - Ia и IIx (Folland & Williams, 2007; Friedmann-Bette et al., 2010; Guilhem, Cornu, & Guevel, 2010; Baroni, Rodrigues, Franke, Geremia, Rassier, & Vaz, 2013). Адаптационе промене након ЕКС тренинга доводе до повећања брзине контракције, дужине мишићног вретена, повећање капацитета за ефикасније коришћење акумулиране еластичне енергије у мишићно-тетивном систему (Lindstedt, et al., 2002), укупне ефикасности рада и боље превенције од повређивања.

Замор је важан фактор у испољавању еластичних својстава мишића јер умањује ефекат мишићне активности. Применом различитих модела тренинга утврђено је да је потребно више од 24 сата за опоравак мишића након напорног ЕКС тренинга као и да је, због великог обима рада, могуће примењивати највише 2 до 3 ЕКС тренинга недељно (LaStayo, et al., 2000; Vogt & Hoppeler, 2009).

### Утицај ексцентричног тренинга на развој снаге

Предности ЕКС над КОН методом тренинга доказиване су у неколико експеримената на нетренираним испитаницима. Неколико експеримената у трајању од 7-10 недеља, показало је позитиван утицај на повећање максималне изометријске силе од 36% (LaStayo, et al., 2000) и снаге у серијама скокова у висину за 7% (Elmer, Hahn, McAllister, Leong, & Martin, 2012) као и да метод „*велики обим-низак интензитет*“ вежба у ЕКС режиму показује боље резултате у односу на метод „*велики интензитет-низак обим*“. У два експеримента сличног трајања (број тренинга x број серија x број понављања), Гуилхем и сар. (Guilhem, et al., 2010; Guilhem, Cornu, Maffiuletti, & Guevel 2013) применили су два метода у вежбама са ЕКС режимом рада мишића: изотонични и изокинетички. На крају је утврђено да су учесници изокинетичког експеримента просечно обавили рад двоструко већег обима, али да је већи ефекат на повећање снаге остварен изотоничним методом (2.4%).

Мали број истраживања, на тренираним спортистима, такође је указао на позитиван утицај ЕКС тренинга. Различити експерименти, у којима су две групе примењивале КОН и ЕКС режим

рада, трајали су 3-10 недеља, 3-4 тренинга недељно. Упркос различитој методологији експеримента, групе са ЕКС режимом су показале боље резултате од група са традиционалним КОН тренингом у побољшању: висине скокова (8%), фреквенције покрета за 11% (Lindstedt, et all., 2002); максималне изометријске силе мишића задње ложе за 11%, обртног момента при брзини  $60^\circ/s$  за 0.4% по тренингу (Mjolsnes, Arnason, Osthagen, Raastad, & Bahr, 2004); висини скокова за 11% (Sheppard, et all., 2008); проценту IIa типа влакана (Friedmann et all., 2010); у снази и висини скокова за 5% (Cook, Beaven, & Kilduff, 2013).

### Утицај ексцентричног тренинга на координацију

Између КОН и ЕКС контракције мишића постоје разлике у процесу програмирања покрета на нивоу Централног невног система (ЦНС). Истраживање Гуилхема и сарадника (Guilhem, et all., 2010) показало је већи ниво ЕЕГ активности кортекса приликом ЕКС контракције у односу на КОН. На мишићном нивоу, за сличан интензитет силе забележен је нижи ниво ЕМГ активности током ЕКС у односу на КОН контракцију (Biglan-Ritchie & Woods, 1976). Аутори претпостављају, да се при ЕКС контракцији активира мањи број моторних јединица, у односу на КОН контракцију истог интензитета. У том случају долази до повећања механичког оптерећења по активираној моторној јединици. Због тога је теже контролисати и координисати покрете при ЕКС контракцији.

### Варијанте ексцентричног тренинга

Према скоријим истраживањима (Roig, et all., 2009; Vogt & Hoppeler, 2009; Guilhem, et all., 2010; Elmer, et all., 2012; Isner, et all., 2013; Elmer & Martin, 2013) најчешће се примењују два модела тренинга са ЕКС режимом:

1. "Висок интензитет-мали обим" је тренинг са великим оптерећењима (око 1 понављајућег максимума (1RM), и малим бројем серија, углавном са „чистом ексцентријом“ или „мешовитом ексцентрично-концентричном контракцијом“ при чему су вежбе „изотоничне“ или „изокинетичке“. Углавном се примењује на тренажерима са додатним оптерећењем.
2. „Низак интензитет-велики обим“ је тренинг са већим бројем понављања и субмаксималним оптерећењем.

Најчешће се примењује на ергометрима за ексцентрични режим рада.

ЕКС тренингом са супрамаксималним и максималним оптерећењем ( $\geq 1RM$ ) повећава се максимална сила и мишићна маса. Субмаксималним оптерећењима ( $\leq 1RM$ ) остварује се побољшање у снази и мишићном тонусу. Тренинг за развој ових способности обухвата вежбе са надоптерећењем ( $> 1RM$ ), плиометријске вежбе, вежбе сопственим телом (нпр: „Нордијска вежба за задњу ложу“) или вежбе на ергометрима (тренажери са инерцијалним оптерећењем и бицикл-ергометри).

## КАРАКТЕРИСТИКЕ МИШИЋНЕ АКТИВНОСТИ НОГУ КОД СКИЈАША

Насупрот утиску да је алпско скијање динамична активности са пуно експлозивних покрета, угаоне брзине у зглобу колена и кука показују да скијање није спорт који карактерише максимална брзина покрета (Berg, Eiken, & Tesch, 1995; Patterson, Raschner, & Platzer, 2009). Просечне угаоне брзине у зглобу колена се крећу у распону  $20-40^\circ/s$ , а максималне забележене, од  $69^\circ/s$ , су далеко од угаоних брзина у зглобу колена спринтера и скакача ( $1000^\circ/s$ ) или бициклиста ( $200-400^\circ/s$ ) (Berg & Eiken 1999). Брзина генерисања силе је спорија и максималне вредности се достижу касније (Patterson, et all., 2009). Оно што скијање чини различитим од већине других спортова је што у већем делу заокрета, због кретања низ падину, доминирају ЕКС контракције. Континуирано кретање тела низ падину повећаном брзином ( $30-100 km/h$ ) генерише кинетичку енергију, а тиме и велико оптерећење за опружаче у зглобу колена. Оптерећења која скијаши савладавају током заокрета износе 2-4.5 G (Hoppeler, 2014), односно 58-112% максималне вољне изометријске контракције (МВК). Трајање фазе ЕКС контракције у слалому (СЛ) износи 84,5%, а у велеслалому (ВС) 88.2% од укупног трајања заокрета, што говори о великом обиму ЕКС режима рада мишића у циљу супротстављања инерционим силама и одржавања положаја (Berg, Eiken, & Tesch, 1995).

У погледу улоге одређеног типа влакана, истраживање Вогта и Хопелера (Vogt & Hoppeler,

2012) указује на малу, али значајну доминацију спорих (I) у односу на брза влакна (II) у узорку елитних скијаша, као и да постоји корелација између успешности у такмичарским резултатима (ФИС бодови) и типа влакана спорог трзаја (I). Претпоставка је да брзина и интензитет целокупног циклуса ЕКС и КОН контракције зависи од типа мишићних влакана и њихове дужине.

Амплитуде покрета, углови у зглобу колена, трајање, брзина и фреквенција покрета као и карактеристике мишићне активности указују да се покрети у скијању могу класификовати између спорог ПРРМ и функције апсорпције удара. Наведене карактеристике су изазов за планирање и примену ЕКС вежби у тренингу снаге алпских скијаша.

### **УТИЦАЈ ВЕЖБИ СА ЕКСЦЕНТРИЧНИМ РЕЖИМОМ МИШИЋНОГ РАДА НА СПОСОБНОСТИ СКИЈАША**

У складу са претходним резултатима, вршена су одређена истраживања о утицају ЕКС тренинга на развој снаге, издржљивости и координације скијаша. Вогт (Vogt, 2011) је у експерименту са скијашима применио тренинг на ексцентричном бицикл-ергометру у трајању од 6 недеља. Контролна група је имала класичан КОН тренинг 3 пута недељно у трајању од 60 мин, а експериментална 40 КОН + 20 ЕКС минута тренинга на бицикл-ергометру. Обе групе су забележиле повећање од 10% у ИЗО сили, док је само експериментална забележила повећање од 7.9% у тесту скока у вис из места. Грос, Лути, Кроел, Милер, Хопелер и Вогт (Gross, Luthy, Kroell, Muller, Hoppeler, & Vogt, 2010) и Вогт и Хопелер (Vogt & Hoppeler, 2012) су спровели експерименте са врхунским скијашима током 5 недеља. Поред класичног тренинга снаге (без скокова), скијаша су примењивали 1-2 пута недељно, серију од 20 мин на ЕКС бицикл-ергометру. Оптерећење се постепено повећавало и на крају је износило 140% почетног (од 404 до 965 W). Забележено је повећање у изометријској сили (12%), мишићној маси ногу (1.9%), максималној снази код скокова у вис из места (8.8%), из чучња (9.2%), као и силе у ЕКС контракцији (100% сопствене тежине). Упркос интензивном, али постепеном повећању оптерећења није забележена

појава „упале мишића“. Наведена истраживања указују да примена ЕКС тренинга утиче на побољшање максималне силе као и снаге, без примене скокова. Истраживања Вогт и сарадника, (Vogt, Dapp, Blatter, Weisskopf, Suter, & Hoppeler, 2003) на ЕКС ергометру, показала су да успешнији скијаша показују бољу координацију покрета (односно оптерећења и испољене снаге). Повезаност резултата је забележена код скијаша у дисциплинама СЛ и ВС али не и у ДХ (спуст). Резултат је разумљив када се има у виду динамика покрета (дужи и спорији покрети у ДХ) и протокол примењеног теста (већа фреквенција покрета). Резултати ЕКС тренинга указују да су добра координација и сила испољене у ЕКС контракцијама основни атрибути врхунских скијаша, нарочито у СЛ. Имајући у виду да су током ЕКС контракције активни различити делови можданих сфера у односу на покрете са КОН контракцијом, са управљачког аспекта, потребно је да се задаци са ЕКС контракцијама увежбавају у специфичним ситуацијама и вежбама које имитирају покрете на снегу (Fang, Siemionow, Sahgal, Xiong, & Yue, 2004).

### **ПРАКТИЧНА ПРИМЕНА ЕКСЦЕНТРИЧНОГ ТРЕНИНГА У СКИЈАЊУ**

Алпско скијање представља сложену интеграцију различитих физиолошких система, од којих ниједан не може бити важнији од другог у укупној способности. У развоју и процени фактора успешности мора се водити рачуна о специфичностима кинематике и динамике скијања (Ропрет, 2015). Једна од специфичности скијања је значајан обим ЕКС режима рада ногу по чему се механика покрета значајно разликује од других спортова.

Неспорна су интензивна мишићна напрезања која захтевају висок ниво максималне силе мишића, издржљивост у снази у трајању од 1-2 мин, висок ниво координације покрета (равнотежа и прецизни покрети ногу) на нестабилној подлози, у специфичним условима увећане надморске висине (разређен ваздух, хладноћа). Оптерећења од 2-4.5 G захтевају тренинг са додатним оптерећењем за развој максималне силе а нарочито у режиму ЕКС контракције. Већи број понављања покрета и трајање активности (30-70 заокрета током 1-2 мин) захтевају развој снажне издржљивости.

Ефекти ЕКС тренинга су вишеструко значајни за тренинг скијаша: повећање максималне силе и снаге; оптимални однос снаге и дужине мишића; побољшање унутар и међумишићне координације; превенција од повређивања; повећање експлозивне снаге без примене интензивних вежби скокова; метаболички економичнији рад; развој снажне издржљивости; већи обим рада; рад у покретима сличним као у скијању; побољшање односа силе агониста и антагониста.

Способност апсорпције кинетичке енергије и добра нервно-мишићна контрола покрета у ЕКС режиму морају да се вежбају у специфичним или условима што сличнијим током скијања. Предност имају вежбе на ергометрима у односу на класичне плиометријске вежбе из неколико разлога: покрети у скијању су спорији, амплитуде покрета у зглобу колена су веће, генерисање силе траје дуже и фаза спајања нема толики значај у односу на плиометријске вежбе. Такође, покрети опружања и прегидања у скијању немају као крајњи циљ снажан одраз већ апсопцију и дозирање оптерећења изазваног дејством гравитације и инерције, уз контролу финих покрета ногу при овако великим оптерећењима. За разлику од вежби на ергометрима, плиометријске вежбе се врше у по-

кретима мале амплитуде, при малим променама у угловима зглобова, а што није карактеристично за скијање. Због наведеног, вежбе у ЕКС режиму на ергометру имају предност над вежбама са скоковима.

Коришћење метаболички повољнијег ЕКС метода рада даје могућност примене метода „великог обима-малог интензитета“ што је од посебног значаја за развој компоненте издржљивости у снази ногу код скијаша.

Досадашња истраживања су обухватила различите протоколе тренирања и мерења. Експерименти су трајали 5-10 недеља, са 2-3 тренинга недељно у форми континуираног трајања између 15 и 30 минута или 3-4 серије са 7-10 понављања, са даном паузе између тренинга. Оптерећења су се постепено повећавала, од почетних 130 W код нетренираних до 1200 W код врхунских скијаша. Упркос наведеним разликама у методологији, сва истраживања су указала на позитивну улогу ЕКС тренинга у развоју способности скијаша у погледу повећања силе, снаге и издржљивости. Неопходна су даља истраживања у вези са одређивањем оптималног обима, интензитета, брзине и протокола ове врсте тренинга са посебним освртом на специфичности алпског скијања.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Baroni, V.M., Rodrigues, R., Franke, R.A., Geremia, J.M., Rassier, D.E., & Vaz, M.A. (2013). Time course of neuromuscular adaptations to knee extensor eccentric training. *International Journal of Sports Medicine*, 34, 904–911.
2. Berg, H.E., Eiken, O., & Tesch, P.A. (1995). Involvement of eccentric muscle actions in giant slalom racing. *Medicine & Science in Sports Exercise*, 27, 1666-1670.
3. Berg, E.H., & Eiken, O. (1999). Muscle control in elite alpine skiing. *Medicine & Science in Sports Exercise*, 31(7), 1065-1067.
4. Bigland-Ritchie, B., & Woods, J.J. (1976). Integrated electromyogram and oxygen uptake during positive and negative work. *Journal of Physiology*, 260, 267–277.
5. Vogt, M. (2011). Eccentric exercise training in elite skiing. In: *Proc 16th ECSS Congress*. Liverpool, UK.
6. Vogt, M., & Hoppeler, H. (2012). Competitive alpine skiing: combining strength and endurance training. Molecular bases and applications. In Mueller E, Lindinger S, Stoeggel T. (eds.), *Science and Skiing V*, (pp. 23–31). Aachen: Meyer and Meyer Sport.
7. Vogt, M., & Hoppeler, H. (2009). Eccentrics exercise in Alpine skiing. In In Mueller E, Lindinger S, Stoeggel T. (eds.), *Science and Skiing IV*, (pp. 33–42). Aachen: Meyer and Meyer Sport.
8. Vogt, M., Dapp, C., Blatter, J., Weisskopf, J., Suter, G., & Hoppeler, H. (2003). Training zur Optimierung der Dosierung exzentrischer Muskelaktivität. *Schweizer Z Sportmed Sporttraum*, 188–191.
9. Wilson, G., Elliot, B., & Wood, G. (1990) The use of elastic energy in sport. *Sports Coach* 13(3), 8–10.
10. Gross, M., Luthy, F., Kroell, J., Muller, E., Hoppeler, H., & Vogt, M. (2010). Effects of eccentric cycle ergometry in alpine skiers. *International Journal of Sports Medicine*, 31, 572–576.

11. Guilhem, G., Cornu, C., & Guevel, A. (2010). Neuromuscular and muscle-tendon system adaptations to isotonic and isokinetic eccentric exercise. *Annals of Physical Rehabilitation Medicine*, 53, 319–341.
12. Guilhem, G., Cornu, C., Maffiuletti, N.A., & Guevel, A. (2013). Neuromuscular adaptations to isoload versus isokinetic eccentric resistance training. *Medicine & Science in Sports Exercise*, 45, 326–335.
13. Elmer, S., Hahn, S., McAllister, P., Leong, C., & Martin, J. (2012). Improvements in multi-joint leg function following chronic eccentric exercise. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 22, 653–661.
14. Elmer, S.J., & Martin, J.C. (2013). Construction of an isokinetic eccentric cycle ergometer for research and training. *Journal of Applied Biomechanics*, 29, 490–495.
15. Isner-Horobeti, M.E., Dufour, S.P., Vautravers, P., Geny, B., Coudeyre, E., & Richard, R. (2013). Eccentric exercise training: modalities, Applications and perspectives. *Sport Medicine*, 43, 483–512
16. LaStayo, P.C., Pierotti, D.J., Pifer, J., Hoppeler, H., & Lindstedt, S.L. (2000). Eccentric ergometry: increases in locomotor muscle size and strength at low training intensities. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*, 278, R1282–R1288.
17. Lindstedt, S.L., Reich, T.E., Keim, P., & LaStayo, P.C. (2002). Do muscles function as adaptable locomotor springs? *Journal of Experimental Biology*, 205, 2211–2216.
18. Linthorne, P.N. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11), 1198–1204.
19. Mjolsnes, R., Arnason, A., Osthagen, T., Raastad, T., & Bahr, R. (2004). A 10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine and Sciences in Sports*, 14, 311–317.
20. Patterson, C., Raschner, C., & Platzer, H.P. (2009). Power variables and bilateral force differences during unloaded and loaded squat jumps in high performance alpine ski races. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(3), 779–87
21. Roig, M., O'Brien, K., Kirk, G., Murray, R., McKinnon, P., Shadgan, B., & Reid, W.D. (2009). The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 43, 556–568.
22. Ropret, R. (2015). Limiting factors for success in alpine skiing. *Facta universitatis, Series: Physical Education and Sport*, 13(2), 167–176.
23. Sheppard, J.M., Hobson, S., Barker, M., Taylor, K., Chapman, D., McGuigan, M., & Newton, R. (2008). The effect of training with concentric load counter-movement jumps on strength and power characteristics of high-performance volleyball players. *The International Journal of Sports Science & Coaching*, 3, 355–363.
24. Fang, Y., Siemionow, V., Sahgal, V., Xiong, F., & Yue, G.H. (2004). Distinct brain activation patterns for human maximal voluntary eccentric and concentric muscle actions. *Brain Research*, 1023, 200–212.
25. Folland, J.P., & Williams, A.G. (2007). The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine*, 37, 145–168.
26. Friedmann-Bette, B., Bauer, T., Kinscherf, R., Vorwald, S., Klute, K., Bischoff, D., Muller, H., Weber, M.A., Metz, J., Kauczor, H.U., Bartsch, P., & Billeter, R. (2010). Effects of strength training with eccentric overload on muscle adaptation in male athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 108, 821–836.
27. Hoopler, H. (2014). *Eccentric Exercise: Physiology and Application in Sport and Rehabilitation*. London: Routledge.
28. Cook, C.J., Beaven, C.M., & Kilduff, L.P. (2013). Three weeks of eccentric training combined with overspeed exercises enhances power and running speed performance gains in trained athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27, 1280–1286.

## **ROLLE DES EXZENTRISCHEN ARBEITSREGIMES DER BEINMUSKELN IN DER ALPINEN SKIFAHRT**

### **Zusammenfassung**

Die alpine Skifahrt charakterisiert eine große Anzahl von Beinbewegungen mit Muskelkontraktionen in einem exzentrischen Arbeitsregime. Die Rolle dieser Bewegungen ist die Absorption von Gravitations- und Inertionskraft, präzise Führung der Skier und die Erhaltung des Gleichgewichts. Bisherige Untersuchungen haben Umfang, Dauer und Intensität der exzentrischen Kontraktionen festgelegt sowie die Grundeigenschaften der Bewegungsamplituden und -geschwindigkeiten. Auf Grund früherer Erkenntnisse wurden Experimente mit einem exzentrischen Training auf einem Fahrradergometer durchgeführt, durch die ein positiver Einfluss dieses Trainings auf die Steigerung der Maximalkraft, der Ausdauerkraft, der Koordinierung, der Verletzungsprävention, der metabolischen Leistungseffizienz, der effizienteren Leistung bei größerer Muskellänge und auf die Rolle in der Nachahmung der Bewegungen der Skifahrer bestätigt wurde. Diese Arbeit stellt eine kurze Übersicht der bisherigen Untersuchungen aus dem Bereich der Kinematik, der Dynamik des Skifahrens und der Rolle des exzentrischen Trainings in der Entwicklung der Fähigkeiten der Skifahrer dar.

**Schlüsselwörter:** TRAINING / KRAFT / EXZENTRISCHE KONTRAKTION / PRÜFUNG

Примљен: 27.09.2016.  
Прихваћен: 10.04.2017.