

РЕГИСТРАЦИЈА АКЦИОНИХ ПОТЕНЦИЈАЛА МОТОРНИХ ЈЕДИНИЦА МИШИЋА *BICEPSA BRACHII* У ЗАМОРУ

Попадић Гаћеша Ј.¹, Бишевац Б.², Барак О.¹, Караба-Јаковљевић Д.¹, Иветић В.¹

¹Завод за физиологију, Медицински факултет, Нови Сад

²Институт за физиологију, Медицински факултет Приштина, Косовска Митровица

REGISTRATION OF MOTOR UNITS ACTION POTENTIALS OF *M.BICEPS BRACHII* IN FATIGUE

Попадић Гаћеша Ј.¹, Бишевац Б.², Барак О.¹, Караба-Јаковљевић Д.¹, Иветић В.¹

¹Institute of physiology, Medical faculty, Novi Sad

²Institute of physiology, Medical faculty Pristina, Kosovska Mitrovica

SUMMARY

The aim of this study was registration of change in the amplitude of motor unit action potentials of *m. bicepsa brachii* of the dominant arm in fatigue. Investigation as conducted on 30 participants (15 male and 15 female). In the first phase of the research, 1-RM (one repetition maximum) of the dominant arm was measured. In the second phase, registration of changes in the amplitude of motor units action potentials was conducted during static contraction. Registration was performed twice, with time interval of 15 minutes. The second measurement was significantly shorter than the first. Analysis of EMNG-registration showed linear increase in MUAP amplitude in time. Significantly higher values of MUAP amplitude in the second measurements were registered in both groups ($p < 0.05$). Analysis of MUAP amplitude velocity change showed significantly higher values in the second measurement in males. There is no significant change in all registered values between males and females ($p > 0.05$).

Key words: EMNG, MUAP amplitude, Gender, *M. biceps brachii*.

САЖЕТАК

Циљ рада је била регистрација промена амплитуде акционих потенцијала моторне јединице *m. bicepsa brachii* доминантне руке током развоја замора. Испитивање је било спроведено на 30 испитаника (15 мушког и 15 женског пола). Прва фаза истраживања је обухватила одређивање максималне појединачне вољне контракције 1-RM-а (1-RM, one repetition maximum) доминантне руке. Друга фаза истраживања је подразумевала регистрацију промене вредности амплитуда акционих потенцијала моторне јединице (МУАП) током статичке (изометријске) контракције до отказа. Регистрација је вршена два пута са временским размаком од 15 минута. Друго мерење је трајало значајно краће од првог. Анализом резултата ЕМНГ-регистрације, примећен је линеарни пораст амплитуде МУАП-а у времену. Значајно више вредности почетне амплитуде МУАП-а у другом мерењу регистроване су у обе групе испитаника ($p < 0.05$). Анализом брзина промене амплитуда МУАП-а, добијене су статистички значајно веће вредности у другом мерењу код мушких неспортиста. Није регистрована статистички значајна разлика у посматраним параметрима између мушких и женских испитаника ($p > 0.05$).

Кључне речи: ЕМНГ, Амплитуда МУАП, Пол, *M.biceps brachii*.

УВОД

Електромиоурографија (ЕМНГ) је електро-дијагностичка техника снимања екстраћелијске активности (акционих и евоцираних потенцијала) скелетних мишића у миру, током вољних контракција и електричне стимулације (1). Постоје две методе снимања биоелектричних сигнала мишића од којих једна подразумева коришћење инсерционих, а друга површних електрода. Површна електромиографија представља бржу, неинвазивну и самим тим много конформнију методу, док је инсерциона метода инвазивна, али прецизнија и

омогућава снимање акционих потенцијала појединачних моторних јединица. Њен главни недостатак је чињеница да је лимитирана на појединачна снимања и да се не може применити у понављаним мерењима, јер се игла не може два пута поставити у исте моторне јединице у мишићу. Метода површне ЕМНГ је, због своје неинвазивности, доживела пуну примену у студијама у којима се као испитаници ангажују здрави људи, као што је спортска физиологија и медицина.

Моторну јединицу чини моторни неурон и сва мишићна влакна која он инервише (2). Постоје три основна типа моторних јединица, према мишићним влакнима, које имају различите физиолошке карактеристике: тип I или S тип- најслабије, споро активирајуће, слабо заморљиве моторне јединице, које садрже оксидативне ензиме; тип Па или FR тип- брзо активирајуће, слабо заморљиве јединице, развијају јаче и брже контракције, а садрже оксидативне и гликолитичке ензиме; тип Пб или FF тип- брзо активирајуће, брзо заморљиве, моторне јединице које развијају најјаче и најбрже контракције, а садрже гликолитичке ензиме.

Централни нервни систем може повећати снагу мишићне контракције на два начина: повећањем броја активних моторних јединица и/или повећањем фреквенције испаливања акционих потенцијала сваке моторне јединице. У стварности се оба механизма одвијају истовремено. Код контракције мишића, прво се активирају најмање, споро заморљиве, S, моторне јединице, а потом, са повећањем снаге мишићне контракције, веће, FR и FF моторне јединице (3).

Скуп акционих потенцијала свих мишићних влакана једне моторне јединице назива се акциони потенцијал моторне јединице (МУАП). Електромиографија представља методу помоћу које се могу регистровати МУАП-и. Тако регистровани акциони потенцијал има своје карактеристике, које се описују следећим параметрима: амплитуда и трајање таласа, тј. акционог потенцијала, број фаза и турнова - промена позитивни-негативни део таласа и његова фреквенција.

Као последица понављаних контракција, односно физичког рада, јавља се замор мишића. Замор је чисто физиолошка појава и представља реверзибилно смањење или престанак функције мишића као последица физичке активности (4,5). Узроци замора могу бити: замор ЦНС-а (централни - кора великог мозга и периферни - блокада преношења импулса са нерва на мишић - тј. замор неуромишићне синапсе), нагомилана киселих продуката метаболизма и/или пражњење депоа енергије (првенствено гликогена) (6).

Циљ рада је била регистрација промена амплитуде акционих потенцијала моторне јединице *m. bicepsa brachii* доминантне руке током развоја замора.

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

Испитивање је било спроведено на 30 особа оба пола, 15 мушких (узраст $22,43 \pm 2,57$ година, телесне висине $181,57 \pm 4,58$ cm и телесне масе $79 \pm 13,26$ kg) и 15 женских (узраст $21,85 \pm 0,83$ година, телесне висине $173 \pm 4,78$ cm и телесне масе $58 \pm 6,89$ kg). Добровољно су учествовали у испитивању и у последњих 6 месеци бавили уобичајеним физичким активностима. Претходно су анамнестички добијени подаци да нису користили психо-стимулативне супстанце (ефедрин, кофеин) на дан испитивања, да су здрави, без неуромускуларних, коштаних и ендокриних болести или повреда. Сва мерења су спроведена у Лабораторији за неурофизиологију Завода за физиологију Медицинског факултета у Новом Саду.

Истраживање се састојало из две фазе. Временски период између фаза није био краћи од 48 сати. Прва фаза је поред прикупљања анамнестичких и антропометријских података обухватала и одређивање максималне појединачне вољне контракције 1-RM-а (1-RM, one repetition maximum) доминантне руке. За одређивање 1-RM је коришћена модификована метода по Ломбардију (7). Друга фаза истраживања је подразумевала регистрацију промене вредности амплитуда акционих потенцијала моторне јединице (сМУАП surface motor unit action potential) током статичке (изометријске) контракције до отказа. Амплитуде сМУАП-а су регистроване на стандардном ЕМГ апарату MEDTRONIC Keuroint® (Denmark), коришћењем површних монополарних електрода. Активна електрода је била постављена на кожу изнад трбуха *m. bicepsa brachii*, неутрална електрода изнад тетиве *m. bicepsa brachii* у кубиталној јами, док је уземљење постављено око подлактице. Фиксиране електроде су, без померања, коришћене у оба мерења (4, 8). Мерење је понављано са временским размаком од 15 минута. Сваки испитаник је, након кратког загревања, узимао тег масе 30% 1-RM-а тако да му надлактица и подлактица заклапају угао од 90°. Оба мерења су трајала до отказа мишића тј. до тренутка када испитаници више нису могли да држе тег у прописаном положају. Регистрација акционог потенцијала вршена је на сваких 10 секунди у току мерења (4,8).

Сви резултати су представљени као средње вредности \pm стандардне девијације. Статистичка обрада резултата је урађена помоћу софтверског програма Statistica for Windows.

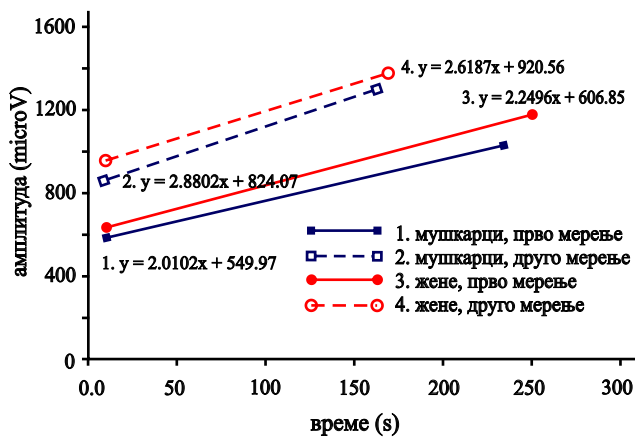
РЕЗУЛТАТИ

У току прве фазе истраживања, добијене су појединачне вредности 1-RM за доминантну руку: за мушкарце $18,21 \pm 3,13$ kg, а за жене $9,53 \pm 1,33$ kg.

У другој фази истраживања добијене су свих испитаника. Анализом резултата уочена је линеарна зависност промене амплитуде акционих потенцијала у времену, те је конструисана једначина праве. Из ове једначине добијене су вредности A_p - које представљају одсечке праве тј. почетне вредности амплитуде МУАП-а (у нултом, почетном времену) и t_{g0} - која представља нагиб праве тј. брзину промену амплитуде у 10-осекундним интервалима. На Графикону 1 је приказана зависност средњих вредности амплитуда у току оба мерења.

Прво мерење је код мушких испитаника трајало просечно $234 \pm 100,81$ секунди, док је друго било краће $163 \pm 73,87$ секунди. Код женских испитаника, прво мерење је трајало $251 \pm 66,86$ секунди, а друго $170 \pm 75,59$ секунди. Параметар времена мерења t_1 и t_2 креће се у широком дијапазону вредности у свим групама испитаника ($CV > 30\%$).

Статистички значајна разлика ($p < 0,05$) постоји између почетне амплитуде првог (A_{p1}) и другог (A_{p2}) мерења. Анализирајући вредности средњег нагиба криве тј. брзину промене акционог потенцијала уочили смо постојање статистички значајне разлике ($p < 0,05$) између првог и другог мерења, како код жена тако и код мушкарца. Поредиши мушкарце и жене, није уочена стати-



Графикон 1. - Зависност средње вредности амплитуде МУАП-а (μV) и просечног времена (s) трајања мерења, код неспортиста и рекреативаца.

стички значајна разлика ни у једном анализираном параметру ($p > 0,05$).

ДИСКУСИЈА

Као последица понављаних контракција, односно физичке активности, јавља се замор мишића. Може се јавити на било којој тачки од нервних центара и спроводних путева, па све до контракционог механизма мишићних влакана. Научници се разилазе у ставу која карика у ланцу догађаја је најосетљивија током замора. Разумевање односа између неуромишићног замора и физиологије моторне јединице је веома значајно, због тога што је моторна јединица основни фактор који утиче на контракцију и директно је повезана са појавом замора (4).

У нашем истраживању, значајна разлика у вредностима 1- RM регистрована је између мушких и женских испитаника, као резултат веће мишићне снаге мушких од женских испитаника. Pincivero са сарадницима (9) је приликом испитивања субјективног доживљаја степена оптерећења током изометријске контракције m. quadriceps запазио да су мушкарци развијали значајно већу мишићну снагу од жена.

Регистрација МУАП-а је, након краткотрајне паузе од 15 минута, понављана по истом протоколу. У обе групе испитаника, друго мерење је трајало значајно краће од првог, јер 15 минута, колико је трајала пауза између мерења, није било довољно времена да се мишић у потпуности одмори, што је изазвало бржи развој замора у понављаном мерењу. Conwit и сарадници (4) су у свом истраживању регистровали С-ЕМГ амплитуду и брзину испаливања МУАП-а при изометријској контракцији m. quadriceps у интервалима од 20 до 30 секунди, при 30% и 10% максималне вољне контракције (MVC) до отказа. Регистрације параметара ЕМГ-а су спроводили 3 пута при 30% MVC и два пута за 10% MVC, са паузом између снимања од 30 минута. Регистровали су значајно краће трајање другог, односно трећег мерења у односу на прво код свих испитаника. Ове резултате су објаснили недовољним одмором моторних

јединица, тј. одмор од 30 минута није био довољан да се све моторне јединице мишића опораве, па је приликом следећег мерења контрактилни апарат морао да ангажује већа влакна.

Анализом резултата ЕМНГ-регистрације, примећена је линеарна зависност амплитуде МУАП-а у времену. У обе групе испитаника амплитуда МУАП-а расте у току регистрације. По резултатима Conwita и сарадника (10) пораст амплитуде МУАП-а је у вези са редоследом активације моторних јединица. Наиме, прво се активирају најмање, споро заморљиве, S, моторне јединице, а потом, са повећањем снаге мишићне контракције, веће, FR и FF моторне јединице. Захтев за одржањем константне изометријске мишићне контракције током времена узрокује прогресивну активацију већих моторних јединица и синхронизације испаливања акционих потенцијала више моторних јединица. Примарни механизам повећања снаге мишића код контракција малог интензитета је увећавањем броја моторних јединица, иако ово повећава фреквенцу испаливања иницијално регрутованих моторних јединица. Регрутација других моторних јединица је значајнија од увећања фреквенце испаливања све док се готово све јединице не ангажују (3, 11).

Како би разумели могуће разлоге за промене у карактеристикама ЕМГ амплитуде током замора, Димитрова и Димитров су анализирали МУАП-е и М-таласе у ситуацијама симулација варијације амплитуде, трајања и облика интрацелуларног акционог потенцијала (ИАП), као и брзине простирања импулса у мишићном влакну и десинхронизације у активацији појединачних мишићних влакана. Показано је да амплитуде МУАП-а и М-таласа регистрованих на различитим раздаљинама од активних влакана могу опадати ако су близу активним влакнима, бити готово непромењене на средњим растојањима и повишене ако су удаљене од влакана, чак иако амплитуда интрацелуларног акционог потенцијала (ИАП) опада. Било је пуно покушаја (12) да се употреби пораст амплитуде ЕМГ сигнала као емпиријска мера локализованог мишићног замора или као показатељ мишићног замора (13). Ипак, подаци о порасту и смањењу амплитуде ЕМГ-а и МУАП-а током замора могу се наћи у литератури. Zijdevind и сарадници кажу да ЕМГ амплитуда мерена на различитим местима првог дорзалног интраосеалног мишића може расти и опадати симултано током субмаксималне контракције од 50% MVC и сматра смањење ЕМНГ сигнала као парадоксално. Многи аутори су такође допринели да се постави теза да пораст амплитуде ЕМНГ и површине регрутације додатних моторних јединица (што је неопходно да компензује смањење у снази контракције (14)) изазива пораст фреквенце испаливања и/или синхронизацију регрутације моторних јединица (14). Централни механизми могу допринети порасту амплитуде ЕМНГ-а и њене површине, али не могу објаснити пораст у амплитуди МУАП-а и М-таласа, јер су за ово одговорни само периферни механизми (15). Duhcetau и Hainaut (15) су објаснили пораст амплитуде МУАП-а смањењем дисперзије између екстрацелуларних потенцијала која генеришу појединачна влакна, као резултат пресинаптичке и/или

фацитације енд-плате потенцијала. Промена екстрацелуларне амплитуде акционог потенцијала линеарно је зависна од амплитуде интраћелијског акционог потенцијала ИАП-а, и делимично се може објаснити побољшањем функције електрогене Na-K-пумпе. Повећање амплитуде М-таласа (16) објашњавају ефикасном сумацијом појединачних потенцијала због пораста трајања ИАП-а и израженог негативног постпотенцијала.

Значајно више вредности почетне амплитуде МУАП-а у другом мерењу, која је регистрована у обе групе испитаника објашњавају се недовољно дугим периодом опоравка између два мерења. Conwit и сарадници (4) су пораст амплитуде при другом и трећем мерењу такође објаснили недовољним периодом опоравка што је у сваком наредном мерењу узроковало ангажовање већих влакана са већом почетном амплитудом акционог потенцијала и фреквенцом испаливања.

Поредећи резултате испитаника женског и мушког пола, нисмо добили статистички значајне разлике у посматраним параметрима. Ово потврђују и резултати Bischoff са сарадницима (17) који су испитивали карактеристике МУАП-а м.делтоидеуса, m.bicepsa brachii, и других, код 105 испитаника оба пола и различитог узраста. Они нису установили разлику у вредностима параметара МУАП-а везано за пол и узраст.

ЗАКЉУЧЦИ

Анализом резултата ЕМНГ-регистрације, примећена је линеарна зависност амплитуде МУАП-а у времену. Брзина промене амплитуде МУАП-а, би могла бити индиректни показатељ промене у активацији нових моторних јединица, као последице замора првобитно ангажованих јединица и потребе да се развије већа снага како би се одржала контракција. На тај начин, овај параметар се повезује са брзином појаве замора ангажованог мишића. Између мушких и женских испитаника нема значајне разлике у посматраним параметрима.

ЛИТЕРАТУРА

- Dorland I., Newman W.A.: Dorland's illustrated medical dictionary. Philadelphia: Saunders; 2003.
- Liddell Sherrington D.S.: Recruitment and some other features of reflex inhibition. Proc R Soc London, Ser B 1925;97: 488-518.
- Friedhelm Sandbrink, Motor Unit Recruitment in EMG. 2005. Available from <http://www.emedicine.com/neuro/to pic332.htm>
- Conwit R.A., Stashuk D., Suzuki H., Lynch N., Schragger M., Metter E.J.: Fatigue effect on motor unit activity during submaximal contractions. Arch Phys Med Rehabil 2000; 81: 1211-6.
- Bigland-Ritchie B., Woods J.J.: Changes in muscle contractile properties and neural control. Muscle Nerve 1984; 7: 691-9.
- Grujić N.: Fiziologija sporta. Petrovaradin: Futura; 2004.
- Lombardi V. P.: Safe maximum testing. In: Beginning Weight Training, A. Lockhart and J. Mott (Eds.). IA: W. C. Brown, 1989, pp. 197-204.
- Lagally K.M., Robertson R.J. et al.: Perceived exertion, electromyography, and blood lactate during acute bouts of resistance exercise. Med. Sci. Sports Exerc., Vol. 34, No. 3, pp. 552-559, 2002.
- Pincivero D.M., Coelho A.J., and Erikson W.H.: Perceived exertion during isometric quadriceps contraction. J. Sports Med. Sci. Fitness 40:319-326, 2000.
- Conwit R., Tracy B., Jamison C., McHugh M., Stashuk D., Brown W.F., et al.: Decomposition enhanced spike triggered averaging: contraction level effects. Muscle Nerve 1997; 20: 976-82.
- Barak O.: Elektromiografski parametri inicijalnog prirasta snage ekstenzora potkoljenice kao rezultat programiranog treninga. Magistarska teza. Medicinski fakultet, 2003, Novi Sad
- Maton B.: Human motor unit activity during the onset of muscle fatigue in submaximal isometric isotonic contraction, Eur J Appl Physiol 1981;46:271-81.
- Christensen H., Sjøgaard K., Jensen B.R., Finsen L., Sjøgaard G.: Intramuscular and Surface EMG Power Spectrum from Dynamic and Static Contractions. J Electromyogr Kinesiol 1995; 5:27-36.
- Edwards R.G., Lippold O.C.J.: Relation between force and integrated electrical activity in fatigued muscle. J Physiol (Lond) 1956;132:677-81.
- Duchateau J., Hainaut K.: Electrical and mechanical failures during sustained and intermittent contractions in humans. J Appl Physiol 1985;58:942-7.
- Cupido C.M., Galea V., McComas A.J.: Potentiation and depression of the M-wave in human biceps brachii. Muscle Nerve 1996;491(2):541-50.
- Bischoff C., Stalberg E., Falck B., Eeg-Olofsson K.E.: Reference values of motor unit action potentials obtained with multi-MUAP analysis. Muscle Nerve. 1994 Aug;17(8):842-51.