6.16. RANKOS IR KOJOS RAUMENŲ ELEKTRINIŲ POTENCIALŲ TYRIMAS

Darbo tikslas

Užrašyti keletą elektromiogramų (EMG) ir ištirti jų parametrus.

Darbo užduotys

- Užregistruoti atsipalaidavusio ir sutraukto viršutinės rankos (žasto) dvigalvio raumens elektromiogramas ir ištirti jų parametrus (signalo įtampą ir dažnį), esant maksimaliam susitraukimui.
- Sukėlus raumenų tempimo refleksą blauzdoje (Achilo sausgyslės refleksas), užrašyti suminį veikimo potencialą (EMG), nustatyti reflekso vėlinimo (latentinę) trukmę ir nervinio signalo (suminio veikimo potencialo) sklidimo greitį.

Teorinės temos

- Žmogaus ląstelių membranos potencialas, jo kilmė ir matavimo būdai.
- Veikimo potencialas ir jo sklidimas.
- Žmogaus kūno elektriniai signalai.
- Elektromiograma.
- Raumenų susitraukimas, raumenų potencialai. Nervinis signalas (suminis veikimo potencialas).
- Tempimo refleksas blauzdoje (Achilo sausgyslės refleksas). Reflekso latentinė trukmė, nervinio signalo sklidimo greitis.
- Elektromiografai. Elektrodai.

Darbo priemonės ir prietaisai

Biostiprintuvas, maitinimo šaltinis, EMG elektrodai, neurologinis plaktukas, jungimo kabeliai ir laidai, elektrolitinis tepalas (gelis), lipnios juostos ritinėlis, „Cobra3 Basic-Unit“ matavimo sistema, kompiuteris su programine įranga.

Darbo metodika

Apie 40 % žmogaus organizmo sudaro griaučių raumenys ir dar papildomai 10 % – lygieji ir širdies raumenys. Šiems skirtingų tipų raumenims galioja beveik tie patys susitraukimo ir elektrinių signalų perdavimo principai.

Visi griaučių raumenys sudaryti iš 10–80 µm skersmens raumeninių skaidulų, o kiekviena jų iš dar mažesnių subskaidulų. Raumeninės skaidulos yra susijungusios į pluoštus ir taip suformuojamas visas raumuo, o skaidulų skaičius raumenyje priklauso nuo dydžio ir atliekamos funkcijos.

Daugelio skeleto raumenų, kiekvienas pluoštas apima visą raumens ilgį. Didžioji dalis (98 %) skaidulų yra dirginamos tik vienos nervinės ataugėlės, esančios viduryje pluošto.

Griaučių raumenys generuoja elektrinius signalus. Užrašyta šių signalų įtampos kitimo priklausomybė nuo laiko vadinama *elektromiograma* (EMG). EMG registruoti naudojami adatiniai arba paviršiaus elektrodai. EMG yra svarbus diagnostinis rodiklis, naudojamas klinikinėje neurologijos praktikoje diagnozuojant nervų ir raumenų ligas. EMG užrašymas taip pat naudojamas

moksliniuose tyrimuose (biomechanikos ir motorinės judėjimo kontrolės eksperimentuose) siekiant įvertinti raumenų aktyvumą.

Elektromiografai ir jų sistemos naudojami elektromiogramoms užrašyti. Jie gali įrašyti, stiprinti ir išmatuoti bioelektrinį raumenų ir nervų aktyvumą įvairiomis aplinkybėmis. Juose esantys stiprintuvai paprastai pasižymi dideliu jautrumu, turi didelę įėjimo varžą, plačią dažnių juostą, jų triukšmų lygis labai žemas. Elektromiografuose gali būti įmontuoti elektros, garso, optiniai ir magnetiniai stimuliatoriai – tai priklauso nuo jų konfigūracijos. Elektromiografijos sistemą paprastai sudaro: asmeninis kompiuteris (PC) arba integrinis mikrovaldiklis (MC), kuris veikia kaip pagrindinis kontrolės elementas, signalų apdorojimo ir saugojimo vienetas. Jis taip pat turi standųjį diską duomenims saugoti, monitorių ir spausdintuvą duomenims vaizduoti. Būtini elektromiografo komponentai – stiprintuvas, analoginis-skaitmeninis keitiklis ir stimuliacijos elementai – yra integruoti į EMG įrenginį. Siekiant patenkinti įvairių medicinos sričių poreikius, elektromiografai konstruojami moduliniu komponentų principu ir gali skirtis kanalų, stimuliatorių kiekiu bei programinės įrangos ir saugojimo laikmenų kokybe.

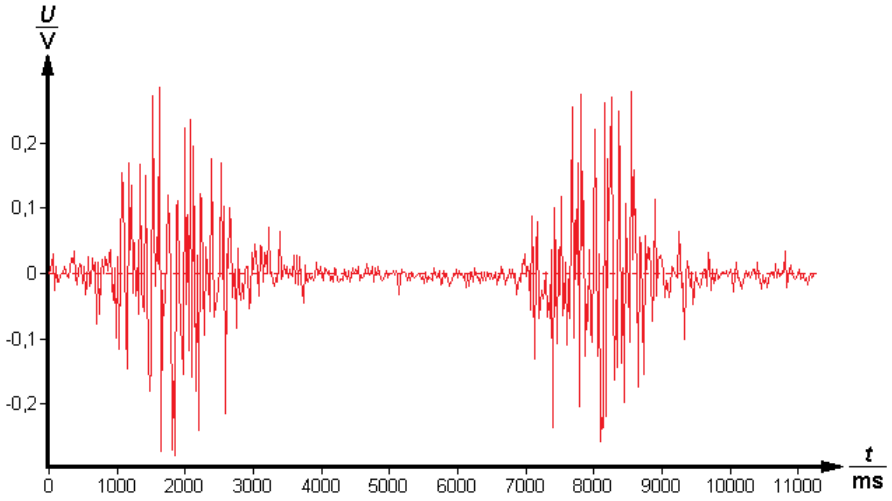
EMG įrenginys sugeba atlikti didelį skaičių neurofiziologinių matavimų, kiekvienam tyrimui gali būti parenkamos specifinės stimuliacijos, duomenų įrašymo, atvaizdavimo ir vertinimo charakteristikos. Šie skirtingi parametrų nustatymai yra saugomi įrenginyje ir gali būti naujai suprojektuojami kiekvienam vartotojui.

Elektromiografijoje dažniausiai naudojami standartiniai koncentriniai adatiniai elektrodai. Plieninėje kaniulėje yra platininis centrinis laidas, padengtas izoliacinės medžiagos sluoksniu. Potencialų skirtumas stiprinamas tarp platininio laido (aktyvaus elektrodo) ir išorinės plieninės kaniulės (indiferentinio elektrodo). Elektrodai dažniausiai yra 2 – 6 cm ilgio ir 0.3 – 0.6 mm skersmens. Jų dydis yra parenkamas atsižvelgiant į raumens tipą ir dydį. Kai kuriais atvejais yra naudojami bipoliniai adatiniai elektrodai: du centriniai platininiai laidai, izoliuoti vienas nuo kito, vienos kaniulės viduje. Visada būtina naudoti papildomą įžeminimo elektrodą. Atliekant neurografinius ir sensomotorinių veikimo potencialų tyrimus, dažnai kartu naudojami stimuliavimo ir įrašymo elektrodai. Abiem atvejais daugiausia yra naudojami paviršiniai elektrodai ir tarp jų įdėtas įžeminimo elektrodas. Tik retais atvejais ir specializuotose klinikose yra naudojami adatiniai įrašymo ir stimuliavimo elektrodai.

Išskyrus širdies raumenį, visų skersaruožių raumenų susitraukimai gali būti kontroliuojami valingai. Tai leidžia stebėti / tirti atskirų raumenų grupių veiklą. Elektromiograma (EMG) galima matuoti (užrašyti) atskiro raumens ar kelių raumenų elektrinį aktyvumą (t. y. suminį veikimo potencialą) odos paviršiuje tiek raumenims esant atpalaiduotiems, tiek jiems skirtingu stiprumu susitraukiant.

Kai raumuo yra ramybės būsenos, viršutinės rankos elektromiogramoje nėra didelių raumens potencialo amplitudės svyravimų, bet galima fiksuoti kelis didelius raumens potencialų pokyčius (suminius veikimo potencialus), kai raumuo yra lenkiamas, tempiamas ir pan. (6.16.1 pav.).

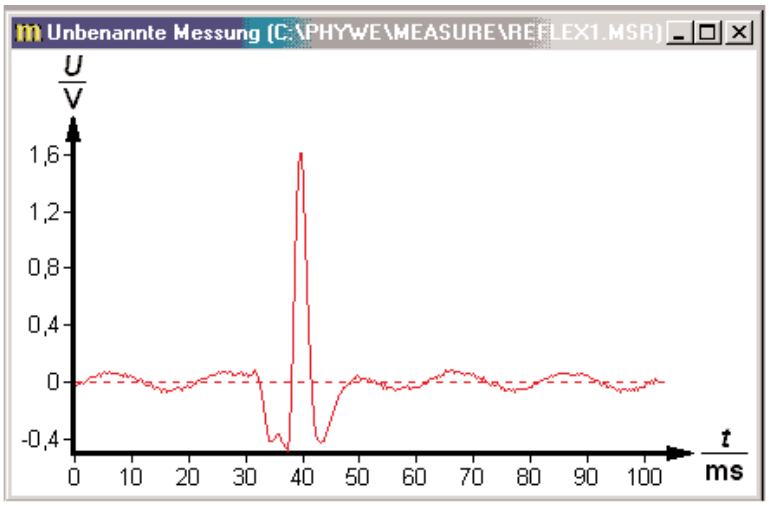
Šiuo atveju EMG dažnis svyruoja tarp 50 ir 100 Hz esant maksimaliam raumens susitraukimui. EMG įtampos amplitudė priklauso nuo daugybės faktorių, pavyzdžiui elektrodų pritvirtinimo. 6.16.1 paveiksle pavaizduotu atveju ji yra 0,6 mV (esant 1000 kartų stiprinimui).



6.16.1 pav. Tipinė viršutinės rankos (žąsto) EMG

Stuktelėjus Achilo sausgyslę, sukeliamas refleksinis blauzdos raumens susitraukimas. Tai atsitinka dėl to, kad raumeninių skaidulų pluoštai jaučia tempimą, generuoja ir siunčia veikimo potencialus į stuburo smegenis, kurie grąžina signalą į raumenų motorinius centrus, priversdami raumenis susitraukti. Raumens suminio veikimo potencialo amplitudė yra didesnė esant įtemptiems rankos raumenims nei atsipalaidavusiems (apytiksliai 3 mV ir 2 mV atitinkamai). Šio vadinamojo Jendrassiko efekto priežastis yra ta, kad, tempiant rankos raumenis, kiti nugaros smegenų motoriniai neuronai taip pat yra dirginami.

Reflekso vėlinimo (latentinė) trukmė (laiko tarpas tarp raumens stimuliacijos ir signalo patekimo į raumens motorinius centrus) yra apie 40 ms (6.16.2 pav.). Atsižvelgiantį tai, kad nervinio kelio ilgis *l* (Achilo sausgyslės – stuburo smegenys – raumuo) yra apie 2 m, nervinio signalo sklidimo greitis yra 50 m/s.



6.16.2 pav. Tipinė nervinio signalo EMG (blauzdoje)

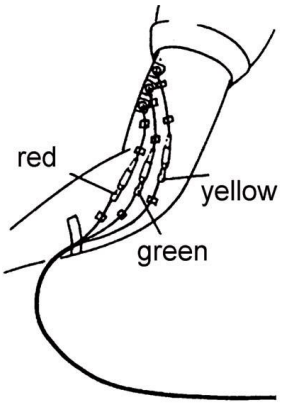
Darbo eiga

<u>Potencialų matavimas viršutinėje rankoje (žaste)</u>:

1. Paruošiamas elektrinių potencialų rankos raumenyse tyrimo stendas (6.16.3 pav.): bio-stiprintuvas AMPLIFIER OUT prijungiamas prie „Cobra3 Basic-Unit“ matavimo sistemos AMPLIFIER IN 2 jungties (raudonas laidas prie + , o mėlynas prie –).
2. Elektrodų kabelis prijungiamas prie biostiprintuvo jungties AMPLIFIER IN.
3. Ant elektrodų užtepama šiek tiek elektrolitinio tepalo (gelio) ir jie lipnia juostele pritvirtinami prie viršutinės rankos kaip parodyta 6.16.4 paveiksle.
4. Žaliasis, ilgiausias laidas atsargiai sulankstomas ir kartu su kitų spalvų laidais gerai pritvirtinamas prie rankos.

6.16.3 pav. EMG potencialų rankos raumenyse tyrimo stendas

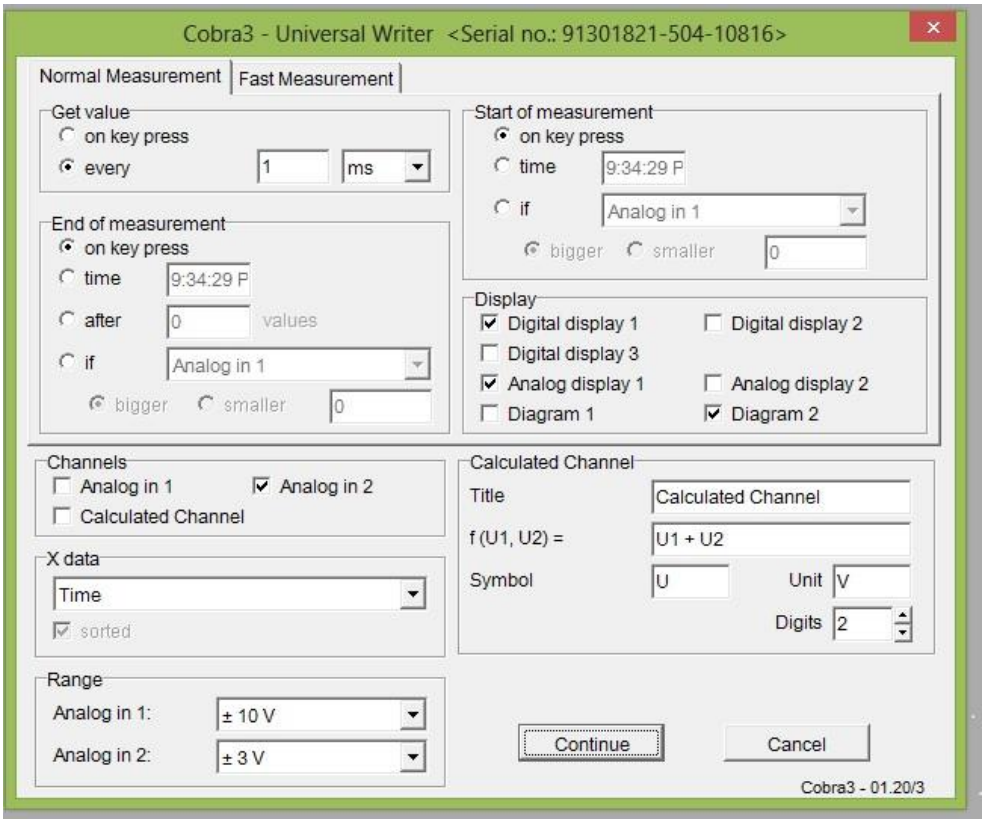
5. Biostiprintuve pasirenkamas x1000 kartų stiprinimas (rankenėle, esančia priekinio skydelio dešinėje pusėje), o rankenėlė, esanti kairėje pusėje, nustatoma į EMG padėtį.
6. Paleidžiama „measure Cobra3“ programa.
7. Naudojantis programa paleidžiamas naujas eksperimentas: meniu juostoje pasirenkama „File“ ⇨ „New measurement“ (liet. *Failas* ⇨ *Naujas matavimas*).



6.16.4.pav. Elektrodų tvirtinimo prie žasto schema

8. Atsivėrusiame lange „Universal Writer“ (liet. *Universalus įrašymas*) nustatomi matavimo parametrai, parodyti 6.16.5 paveiksle.
9. Paspaudus mygtuką „Continue“ (liet. *Tęsti*) ir atsivėrus papildomam langeliui, spaudžiamas mygtukas „Start measurement“ (liet. *Pradėti matavimą*).
10. Atliekant matavimą, kelis kartus trumpai įtempiami rankos raumenys.
11. Tuomet spaudžiamas mygtukas „End measurement“ (liet. *Baigti matavimą*). Programa sukuria įtampos dinamikos grafiką (t. y. užrašoma elektromiograma). EMG turėtų būti panaši į

pavaizduotą 6.16.1 paveiksle.

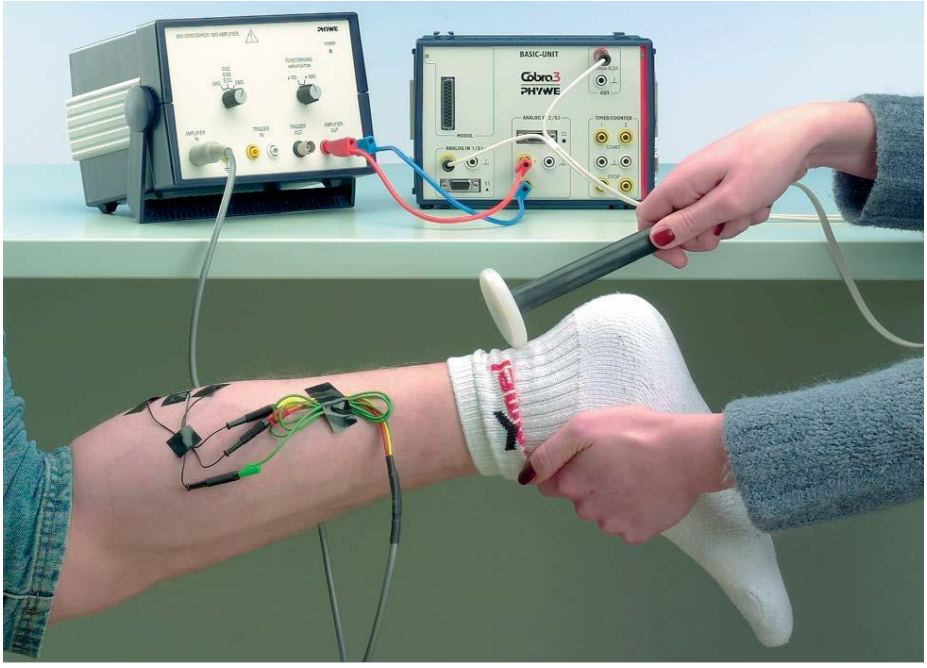


6.16.5 pav. Matavimo parametrų langas „Universal Writer“

12. Matavimo rezultatai išsaugomi. Meniu juostoje spragtelima ties „Measurement“ (liet. *Matavimas*) ⇨ „Export data“ (liet. *Perkelti duomenis*) ir atsivėrusiame lange pasirenkami pageidautini išsaugojimo parametrai: išsaugoti byloje („Save to file“, liet. *Išsaugoti byloje*), išsaugoti paveikslėlio pavidalu („Export as bitmap“, liet. *Perkelti kaip paveikslėlį*) arba metarinkmena („Export as metafile“, liet. *Perkelti kaip metarinkmeną*).
13. Apskaičiuojama EMG įtampos amplitudė U_m (6.16.1 pav.).
14. Apskaičiuojamas signalo periodas T: mygtuku ✛ pasirenkama impulsų sritis, kurioje momentinė įtampos vertė yra didesnė už U_{fonas} (6.16.1 pav.); įrankių juostoje pasirenkama „Analysis“ (liet. *Analizavimas*) ⇨ „Peak analysis“ (liet. *Smailės analizavimas*) ir, paspaudus mygtuką „Calculate“ (liet. *Skaičiuoti*), apskaičiuojamas periodas tarp įtampos maksimumų.
15. Apskaičiuojamas EMG dažnis ($\boldsymbol{v} = \frac{1}{\boldsymbol{T}}$).
16. Patariama matavimus pakartoti kelis kartus ir / arba su kito testuojamojo ranka, atliekant darbo eigos 9–15 punktus.

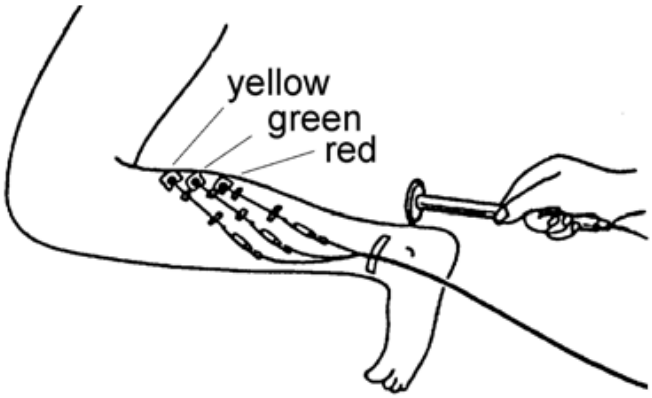
Potencialų matavimas blauzdoje

1. Paruošiamas elektrinių potencialų blauzdos raumenyse tyrimo stendas (6.16.6 pav.): bio-stiprintuvas AMPLIFIER OUT prijungiamas prie „Cobra3 Basic-Unit“ matavimo sistemos AMPLIFIER IN 2 jungties (raudonas laidas prie + , o mėlynas prie –).
2. Elektrodų kabelis prijungiamas prie biostiprintuvo jungties AMPLIFIER IN.
3. Vienas neurologinio plaktuko kištukas jungiamas prie geltonosios „Cobra3“ matavimo sistemos ANALOG IN 1 jungties, o kitas – prie sistemos įtampos išėjimo, raudonos OUT jungties (6.16.6 pav.).
4. Ant elektrodų užtepama šiek tiek elektrolitinio tepalo (gelio) ir lipnia juostele jie pritvirtinami prie blauzdos vidinės pusės, aukščiau dvilypio raumens, kaip parodyta 6.16.7 paveiksle.
5. Žaliasis, ilgiausias laidas atsargiai sulankstomas ir kartu su kitų spalvų laidais gerai pritvirtinamas prie rankos.
6. Biostiprintuve pasirenkamas stiprinimas 1000 kartų (rankenėle, esančia priekinio skydelio dešinėje pusėje), o rankenėlė, esanti kairėje pusėje, nustatoma į EMG padėtį.



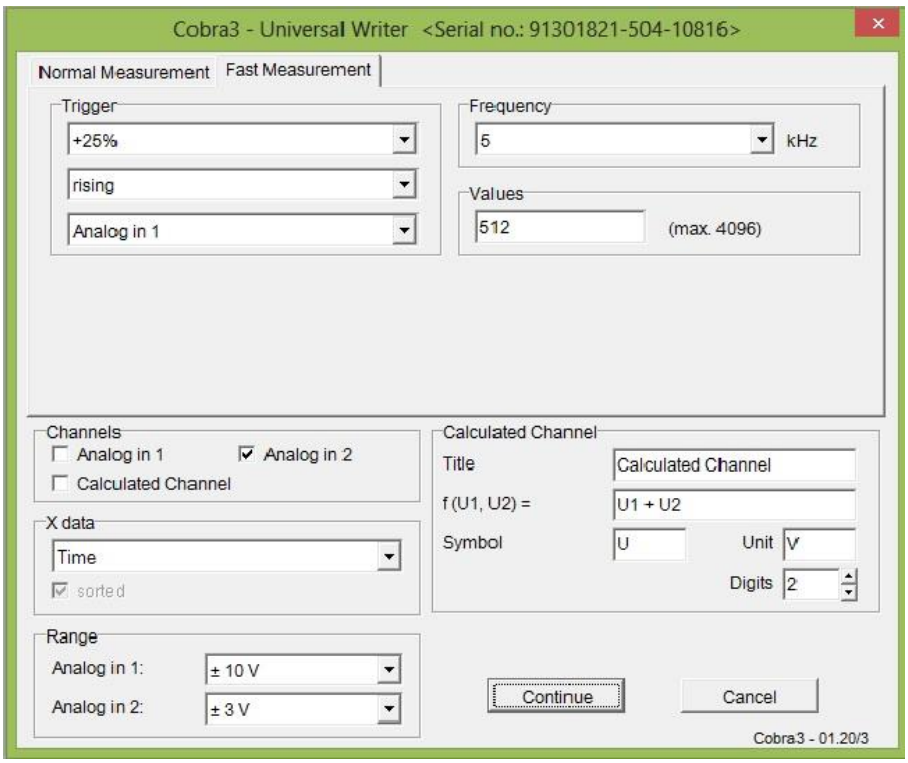
6.16.6 pav. EMG potencialų blauzdos raumenyse tyrimo stendas

7. Paleidžiama „measure Cobra3“ programa.



6.16.7 pav. Elektrodų tvirtinimo prie blauzdos schema

8. Programoje paleidžiamas naujas eksperimentas: meniu juostoje pasirenkama „File“ ⇨ „New measurement“ (liet. *Failas* ⇨ *Naujas matavimas*).
9. Atsivėrusiame lange „Universal Writer“ (liet. *Universalus įrašymas*) nustatomi matavimo parametrai, parodyti 6.16.8 paveiksle. Pasirenkamas matavimo būdas – „Fast measurement“ (liet. *Greitasis matavimas*).
10. Paspaudus mygtuką „Continue“ (liet. *Tęsti*) ir atsivėrus papildomam langeliui, spaudžiamas mygtukas „Start measurement“ (liet. *Pradėti matavimą*).
11. Testuojamo asmens sulenkta kairė koja prilaikoma ranka. Kojinės turi būti paliktos dėl geresnės izoliacijos; paprašoma kiek galima atpalaiduoti raumenis.
12. Neurologiniu plaktuku sudavus per Achilo sausgyslę (kaip parodyta 6.16.7 paveiksle), vienu metu sukeliamas raumenų tempimo refleksas ir atliekamas matavimas.
13. Matavimo rezultatai išsaugomi. Meniu juostoje pasirenkama „Measurement“ (liet. *Matavimas*) ⇨ „Export data“ (liet. *Perkelti duomenis*) ir atsivėrusiame lange pasirenkami pageidautini išsaugojimo parametrai: išsaugoti byloje („Save to file“, liet. *Išsaugoti byloje*), išsaugoti paveikslėlio pavidalu („Export as bitmap“, liet. *Perkelti kaip paveikslėlį*) arba metarinkmena („Export as metafile“, lt. *Perkelti kaip metarinkmeną*).
14. Užrašytas EMG suminis veikimo potencialas turėtų būti panašus į pavaizduotą 6.16.2 paveiksle.
15. Testuojamo asmens paprašoma įtempti rankos raumenis: tai padaroma sukabinus rankas ir stipriai traukiant jas vieną nuo kitos, siekiant atskirti. Pakartojamas veikimo potencialo matavimas, kaip aprašyta 8–14 punktuose.
16. Įvertinamos EMG: apskaičiuojama raumens suminio veikimo potencialo įtampos amplitudė U_m (6.16.2 pav.) esant atpalaiduotiems ir įtemptiems rankų raumenims.
17. Abiem atvejais įvertinama nervinio signalo vėlinimo (latentinė) trukmė T_L ir apskaičiuojamas nervinio signalo sklidimo greitis ($v = \frac{l}{T_{Lat}}$). Laikyti, kad nervinių kelių (Achilo sausgyslė – nugaros smegenys – raumuo) ilgis yra apie 2 m.
18. Patariama matavimus pakartoti kelis kartus ir / arba su kitu testuojamuoju, atliekant darbo eigos 8–17 punktus.



6.16.8 pav. Matavimo parametrų langas „Universal Writer“

Pastaba. ANALOG IN 1 jungtis reikalinga tik matavimui su neurologiniu plaktuku. Šis (žadinimo) kanalas gali būti pašalintas iš diagramos: reikia pakeisti ANALOG CHANNEL 2 į NO Y AXIS ir pakeisti ANALOG CHANNEL 1 į ANALOG CHANNEL 2.

Literatūra

1. J. Butrimaitė, A. Dementjev, G. Dikčius, R. Gadonas, J. Jasevičiūtė, V. Karenauskaitė, V. Sirutkaitis, V. Smilgevičius, Fizika biomedicinos ir fizinių mokslų studentams, 2 dalis, vadovėlis, Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla, 2004, 351 p. ISBN 9986-19-595-9.
2. Rüdiger Kramme, Klaus-Peter Hoffmann, Robert S. Pozos (Eds.). *Handbook of Medical technology*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011.
3. Arthur C. Guyton, John E. Hall, *Textbook of medical physiology*, Philadelphia Pa.: Saunders/Elsevier, 2011.
4. Irving P. Herman, *Physics of the human body*, Berlin; Heidelberg: Springer, 2007.