

Zavod za stomatološku protetiku
 Stomatološkog fakulteta, Zagreb
 predstojnik Zavoda doc. dr D. Nikšić
 Institut za elektroprivredu SR Hrvatske
 Laboratorij za slabu struju
 šef Laboratorija dr inž. A. Šantić
 Zavod za oralnu kirurgiju
 Stomatološkog fakulteta, Zagreb
 predstojnik Zavoda prof. dr I. Miše

Evaluiranje elektromiograma kod mastikatorne muskulature*

D. NIKŠIĆ, A. ŠANTIĆ i I. MIŠE

UVOD

Na prednosti elektromiografije kao kliničke metode, već je upozorio Miller¹. Naime, ona nam omogućuje da dobijemo na objektivan način podatke o određenim aktivnostima u muskulaturi, koje na drugi način ne možemo dobiti. Dvije od osnovnih disciplina u stomatološkoj nauci, stomatološka protetika i oralna kirurgija, u svojoj dijagnostici, kao i kontroli sanacijskog toka primijenjene terapije, nužno moraju primijeniti objektivne metode kontrole funkcije lokomotornog aparata. Kao što se na objektivni način dobivaju podaci rendgenološkom analizom koštanog dijela lokomotornog aparata o promjenama u koštanim strukturama, tako pomoću elektromiografije dobivamo uvid u funkcionalno stanje mišića. Danas se elektromiografijom ispituje električka aktivnost, koja nastaje tokom čitavog perifernog motoneurona, u skladu sa suvremenom koncepcijom motoričke jedinice (Buchthal²). Međutim, za stomatološku protetiku i oralnu kirurgiju od vitalne su važnosti ispitivanja električkih aktivnosti, koje nastaju u mastikatornoj muskulaturi, budući da ta muskulatura održava elementarnu funkciju mastikatornog aparata.

Akcioni potencijali nastaju u mastikatornoj muskulaturi na jednaki način kao i u svakoj živoj podražljivoj strukturi, radi promjena u permeabilnosti stanične membrane. Promatranje akcionih potencijala, zasebno svake miofibrile,

* Ovaj je rad finansirao Fond za naučni rad SR Hrvatske.

međutim, nije od interesa, ukoliko se ne želi ulaziti u dijagnostiku miopatija, već treba naglasiti potrebu promatranja sume akcionih potencijala, kao efekt mišićnih aktivnosti pojedinih grupacija mastikatorne muskulature (Nikšić³). Prvu elektromiografsku analizu simultanog djelovanja muskulature koja sudjeluje u mastikaciji, izvršio je Moyers^{4,5} 1950. godine. U prvom svom radu opisao je tehniku snimanja akcionih potencijala temporalnog mišića, a naknadnim istraživanjem je nedvojbeno dokazao, da pri određenoj kretnji mandibule, sudjeluje veći broj mišića. Nakon Moyersa mnogi su autori pristupili istraživanju mastikatorne aktivnosti pomoću elektromiografije. Tako je Neuman⁶ istraživao akcione potencijale žvačne muskulature, u želji da ustanovi korelaciju veličine akcionih potencijala i žvačnih sila, a Woelfel i suradnici⁷ su dokazali, da s pojačanim kontrakcijama mastikatorne muskulature proporcionalno raste i električka aktivnost. Carlsö⁸ i Eschler⁹ su se bavili pitanjem koordinacije žvačne muskulature, a Göpfert H. i Göpfert C.¹⁰ su istraživali funkcionalni odnos masetera i temporalisa. Još čitav niz autora (Greenfield i Wyke¹¹, Jarabak¹², Latif¹³, Mac Dougall i Andrew¹⁴, Perry i Harris¹⁵, Pruzansky i sur.¹⁶), kojih se rezultati ovdje neće iznositi, bavio se elektromiografskom analizom mišićne koordinacije kod mastikacije. U pogledu primjene aparature, većina istraživača u stomatologiji (Eschler¹⁷, Göpfert¹⁸, Greenfield¹⁹, Moyers^{4,5}, Ogle²⁰, Perry²¹, Woelfel i sur.⁷), koji su istraživali mastikatornu muskulaturu, primjenjivali su poligrafsku aparaturu, čime je već odlučena primjena površinskih ili kožnih elektroda. Izbor površinskih elektroda u potpunosti se poklapa s namjenom istraživanja u stomatološkim disciplinama, koje imaju za cilj restauraciju mastikatornog aparata, budući da se promatraju sume akcionih potencijala, a ne akcioni potencijali pojedinih miofibrila.

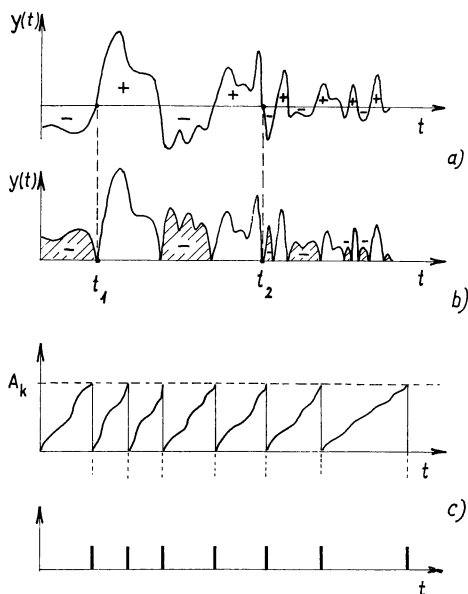
PROBLEM

U većini radova koji su ovdje navedeni, evaluacija elektromiograma bila je provedena u obliku vizuelne semikvantitativne analize. Premda vizuelna semikvantitativna analiza omogućuje grubu interpretaciju elektromiograma, autori su mišljenja, da u evaluaciji treba težiti za sigurnijim i objektivnijim metodama evaluiranja elektromiografskih podataka. Kod manjeg broja radova (Angelone i sur.²², Hickey i sur.²³ i Garret i sur.²⁴ vršen je pokušaj kvantitativnog evaluiranja podataka dobivenih pomoću registracije bioloških potencijala. Angelone i sur.²² su pomoću upotrebe katodnog osciloskopa, površinskih elektroda i 16 mm kamere snimali elektromiografske registracije iz područja lijevog masetera. Na tako dobivenim snimkama opisali su postupak kvantifikacije aktivnosti mišića u milivoltima. Primijenjena tehnika je komplicirana i svojom kompliciranošću i velikim utroškom vremena onemogućuje rutinsko evaluiranje elektromiografskih podataka. Hickey i sur.²³ su registrirali biološke potencijale pomoću poligrafa »GRASS model 5 P3«. Poligraf je bio opskrbljen integratorima, koji su iz svakog snimanog mišića sumirali potencijale i sumu potencijala grafički prikazivali u obliku blage krivulje. Površina između svake krivulje i nulte osovine prikazivala je sumu električkih aktivnosti iz područja, koje je opskrbljivalo određenu elektrodu. Mjerenje površina ispod krivulja elektromiograma vršeno je pomoću planimetra. I Garret i sur.²⁴ su prikazali jednu metodu kvantificiranja podataka, no

radi potrebe preračunavanja i nemogućnosti bržeg očitavanja dobivenih vrijednosti, ni Garretova se metoda ne može primijeniti u rutinskom radu. Autori su, u želji da primijene takve metode, naišli na suviše velike poteškoće u smanjivanju pogreške pri dobivanju podataka. Zbog toga se prišlo izradi digitalnih integratora, pomoću kojih se mogu dobiti integrirane vrijednosti suma akcionih potencijala mastikatorne muskulature, u obliku, u kojem se može postići jednostavno i brzo očitavanje dobivenih podataka.

INTEGRIRANJE BICLOŠKIH NAPONA

Električne biološke aktivnosti predstavljaju stohastičke fluktuacije napona. Svaki dio promatranih promjena napona nije naročito važan. Da bi se iz prikazanog biološkog napona moglo isključiti ono što je bitno, odnosno karakteristično za neku primjenu, treba ga kvantizirati. Jedna od veličina koje kvantiziraju snimljeni biološki napon predočen krivuljom $y(x)$ je površina A između te krivulje i apscise u zadanom intervalu $[a, b]$ tj. integral funkcije $y(x)$. Budući da je predočena krivulja napona funkcije vremena t , površina na papiru ima, ustvari, dimenziju volt-sekunde (Vs).



Sl. 1. a) Nakon biološke aktivnosti. b) »Ispravljeni« napon. c) Integral »ispravljenog« napona.

Kod određivanja integrala funkcije $y(x)$ nekog biološkog napona, treba uzeti u račun pozitivne i negativne dijelove funkcije, tj. apsolutne vrijednosti ordinata krivulje, bez obzira na predznak (sl. 1b). Da tome nije tako, tj. da se odbija »negativna« površina od »pozitivne«, integral bi u dužem intervalu davao vrijednost blisku nuli.

Integral miograma, koji predstavlja funkciju vremena $y(t)$ dat je izrazom

$$A = \int_{t_1}^{t_2} y(t)/dt \quad \dots (1)$$

Ovdje se veličina intervala vremena $[t_1, t_2]$ ne može uzeti po volji, jer bi veličina A poprimila prevelike iznose (zbog monotonog porasta), koje se ne bi mogle prikazati na tehnički prihvatljiv način. Zato se proces integracije povremeno prekida i veličina A vraća na nulu.

Tu postoje dvije metode: ili se vremenski interval $[t_1, t_2]$ drži konstantnim, a veličina A se u tom slučaju mijenja, ili se veličina A drži konstantnom, a interval $[t_1, t_2]$ mijenja. Ova posljednja metoda primijenjena je u našem slučaju.

Kod intenzivnije bioelektričke aktivnosti, veličina A će prije doseći kritičnu vrijednost A_k , odnosno vremenski interval $[t_1, t_2]$ bit će kraći i obrnuto. Ovo je vidljivo s dijagrama na sl. 1c. Kad se je dosegla kritična vrijednost A_k , proces integracije počinje iz početka, tj. od $A = 0$. Ova se nagla promjena od A_k na $A = 0$ pomoću deriviranja može predočiti kratkim impulsom.

Veća »površina« miograma bit će predočena kraćim razmacima impulsa, tako da je broj impulsa u jedinici vremena (frekvencija) direktna mjera veličine integrala. Na ovaj način rezultat se interpretira digitalno.

IZVEDBA DIGITALNOG INTEGRATORA

Napone mišića prije dovođenja na ulaz integratora treba pojačati više od 40 000 puta. Pojačani napon s jedne strane pojačava se dalje i dovodi pisaču, koji ga registrira na papiru, a s druge strane na integrator, koji daje veličinu integrala funkcije promatranog napona produktom $V \cdot s$. Blok shema jednog kanala sa integratorom dana je na sl. 2.

Sam integrator na svom ulazu ima jednostepeno diferencijalno pojačalo, koje asimetrični ulaz pretvara u simetrični izlaz, i napokon na ulazu pomoću regulacije P_1 , dovodi na određenu vrijednost. Zatim se pomoću tzv. »punovalnog« ispravljanja postiže da se i negativna i pozitivna polovina krivulje interpretiraju kao pozitivne, tj. dobiva se apsolutna vrijednost funkcije promatranog napona. Nakon »ispravljanja«, napon se dovodi stupnju za integraciju. Ovaj stupanj treba da zadovolji slijedeći uvjet

$$u_{iz} = A = K \int_{t_1}^{t_2} u_{ul} dt \quad \dots (2)$$

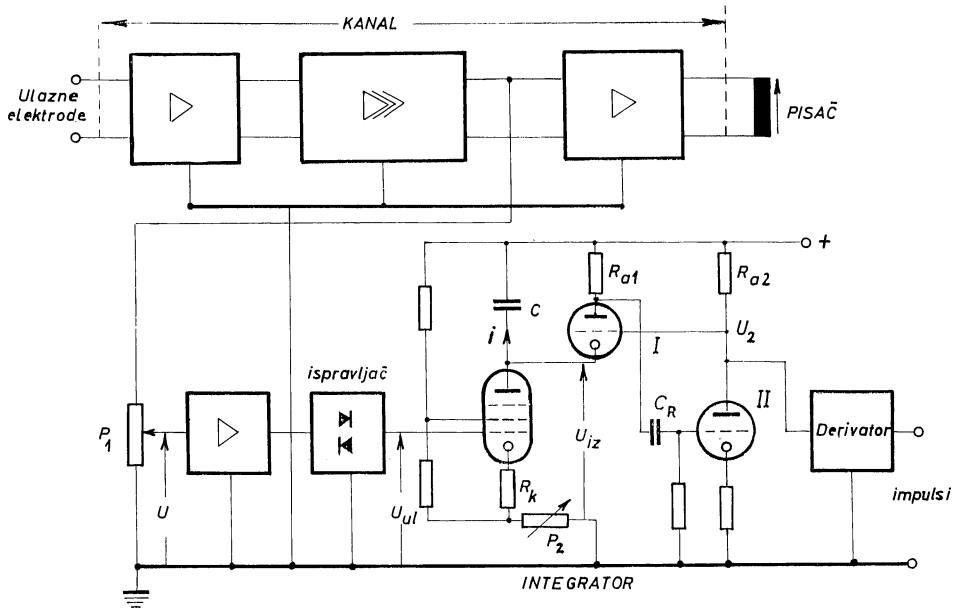
tj. napon na izlazu u_{iz} mora biti jednak integralu napona na ulazu u_{ul} . Odnos struje nabijanja »i« i napona u_{iz} na oblogama nekog kondenzatora C , dan je izrazom

$$u_{iz} = \frac{1}{C} \int_{t_1}^{t_2} i dt \quad \dots (3)$$

Ako se postigne još i to, da je struja »i« proporcionalna ulaznom naponu u_{ul} integratora $i = k_1 \cdot u_{ul}$ zadovoljen je uvjet jednadžbe (2)

$$u_{iz} = \frac{k_1}{C} \int_{t_1}^{t_2} u_{ul} dt \quad \dots (4)$$

Za postizavanje uvjeta $i = k_1 \cdot u_{ul}$ upotrebljava se pentoda u području zasićenja, kad se uz veliki katodni otpornik R_k može ostvariti dosta dobra linearnost odnosa između napona u_{ul} na rešetki i anodne struje i bez obzira na veličinu anodnog napona pentode. Ova linearnost predočena je na slici 3. Kad napon u_{iz} na kondenzatoru C, koji predstavlja integral napona u_{ul} na rešetki pentode, poraste na vrijednost blisku veličini anodnog napona U_2 druge triode,

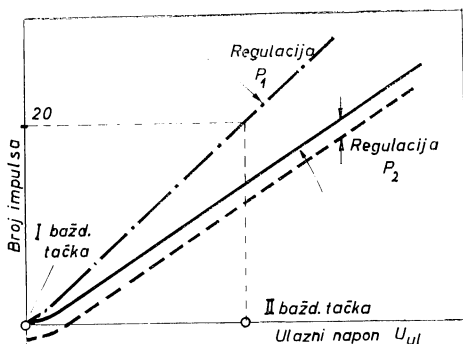


Sl. 2. Blok shema jednog kanala elektromiografa sa integratorom.

prva trioda provede (druga trioda ne vodi) i kondenzator C se isprazni. Pražnjenjem kondenzatora C_R , druga trioda provede, a prva prestane voditi, kondenzator C se ponovno nabija i proces teče ispočetka. Budući da druga trioda samo vrlo kratko vrijeme ne vodi, na njezinoj se anodi pojavljuje kratki pozitivni impuls, koji se preko sklopa za deriviranje privodi izlaznom pojačalu, koje pogoni pisač, a ovaj daje jedan vertikalni otklon, odnosno registrira jedan impuls.

Ovdje je dan opis samo jednog kanala sa integratorom, dok cijeli uređaj posjeduje četiri kanala s četiri integratora.

Budući da je odnos između broja impulsa i napona na ulazu u_{ul} u stupanj za integriranje linearan, odnosno pravac, za baždarenje je dovoljno odrediti dvije tačke (sl. 3). Prvu tačku određujemo kod napona na ulazu nula $u_{ul} = 0$ i baždarimo pomoću potenciometra P_2 da bude jedan impuls u dvije sekunde. Ovdje je tačnost integratora najlošija. Drugu tačku određujemo na taj način, što kod nekog poznatog napona na ulazu u_{ul} pomoću potenciometra P_1 postavimo željeni broj impulsa. Poznati napon dobivamo iz oscilatora, koji kod frekvencije od 15 Hz daje sinusni napon na ulaz pojačala.



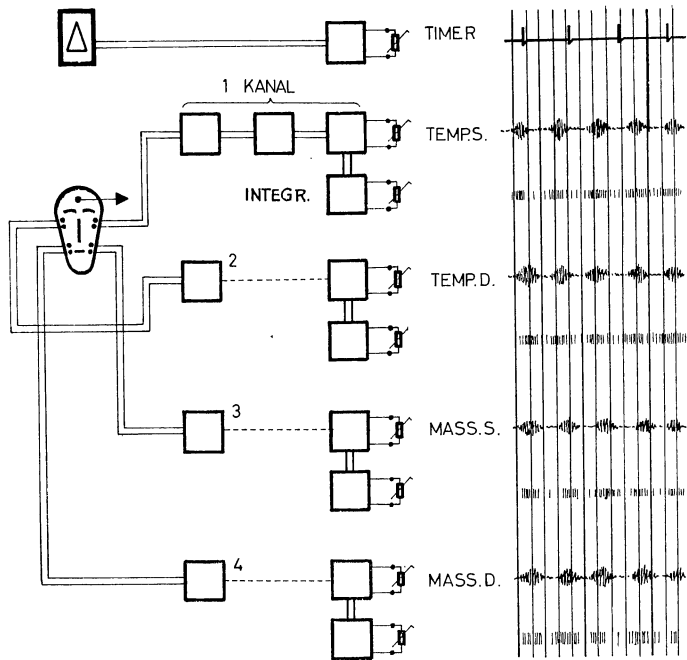
Sl. 3. Odnos broja impulsa prema ulaznom naponu. Analogno-digitalna konverzija.

Tjemena vrijednost sinusnog napona na ulazu pojačala može se po volji odabrati preklopnikom. Obično je $100 \mu V$. Druga baždarna tačka određuje se kod skoro maksimalnog broja impulsa. Tako je predviđeno da uz napon od $100 \mu V$ na ulazu i otklon pisača od 10 mm broj impulsa bude 20, što znači, da svaki impuls predstavlja $5 \mu Vs$. Ako je broj impulsa, recimo 15, to znači da je integral predočen sa $75 \mu Vs$. Tačnost mjerenja je bolja od 3% za maksimalni broj impulsa.

PRIMJENA I INTERPRETACIJA PODATAKA

Autori su primijenili digitalnu integraciju na poligrafskoj aparaturi, koju je izradio Institut za elektroprivrednu SR Hrvatske. Na shematskom crtežu aparature (sl. 4) prikazani su odvođi od elektroda do kanala i mehanički pisači s registracijom. Od 9 mehaničkih pisača, donjih 8 registrira impulse četiriju kanala i integratora koji im pripadaju, a prvi gornji mehanički pisač predstavlja timer (visoko precizan električki sat) kojeg se registracije nalaze u najgornjoj koloni. Ispod svake kolone koja predstavlja registraciju impulsa kanala, nalaze se i registrirani impulsi digitalnog integratora tog kanala.

Kao primjer primjene i interpretacije podataka iznosimo određivanje trajanja rehabilitacije nakon frakture mandibule. Na temelju kliničkog nalaza, može se sa sigurnošću utvrditi, da je fraktura sanirana, no koliki je vremenski spacijum potreban da se uspostavi funkcija mastifikacije, može se ustanoviti najpreciznije pomoću elektromiografije, ukoliko se primijeni objektivna evaluacija podataka.

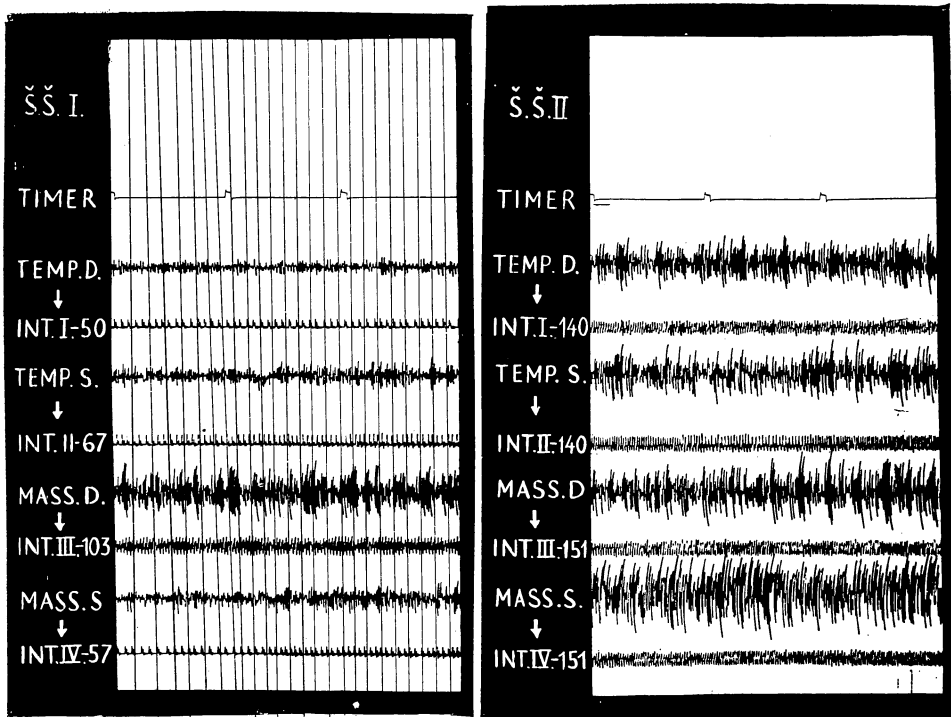


Sl. 4. Shematski prikaz aparature sa registracijom timera, elektromiograma obaju temporalisa i masetera, kao i registracijom integriranih vrijednosti akcionih potencijala svakog pojedinog kanala.

U našem slučaju pratili smo reformiranje mastikatorne funkcije nakon prekida imobilizacije. Pacijent Š. Š. (slika 5 i 6) je bio ispitan u dva navrata, prvog dana nakon prekida imobilizacije i četrnaest dana poslije prve registracije elektromiograma.

Integrirani podaci objektivno pokazuju, očito visok porast vrijednosti, dobiven simultanom bilateralnom kontrakcijom obaju temporalisa i masetera nakon 14 dana, na temelju čega se može smatrati da je funkcija uspostavljena.

No, u ovom slučaju za nas je od neobičnog interesa pojava nepotpunog paralelizma podataka dobivenih na temelju digitalnog integriranja elektromiografskih registracija, koje pripadaju pojedinom kanalu. Promatrajući registracije prikazane na slici 5 i 6, dobivamo dojam da se ukupne sume potencijala između temporalisa i masetera razlikuju, no samo ako se uzmu u obzir objektivni numerički podaci dobiveni putem integriranja akcionih potencijala.



Sl. 5. Fotostat elektromiograma obaju temporalisa i masetera sa numerički obrađenim vrijednostima digitalno integriranih suma akcionih potencijala svakog pojedinog mišića. Registracija je izvršena prvog dana nakon prekida imobilizacije. — Sl. 6. Fotostat elektromiograma kao i na slici 5, sa razlikom što je elektromiogram snimljen 14 dana nakon prve registracije.

ZAKLJUČCI

1. Vizualna semikvantitativna analiza omogućuje grubu interpretaciju elektromiograma, no u evaluaciji elektromiograma treba težiti sigurnijim i objektivnijim metodama.

2. Na temelju dobivenih rezultata, smatramo da je za dijagnostiku i kontrolu sanacijskog toka primijenjene terapije nužna primjena digitalnog integriranja elektromiografskih podataka.

3. Primijenjena aparatura smanjuje opasnost pogreške u podacima.

4. Način registracije integriranih vrijednosti omogućuje jednostavno i brzo očitavanje dobivenih podataka.

Sadržaj

Autori, nakon opsežnog uvoda, iznose problem objektivne i jednostavne evaluacije podataka. U radu se iznose podaci iz literature i navode autori, koji su se do sada bavili evaluacijom akcionih potencijala.

Donosi se rješenje integriranja akcionih potencijala, koje omogućava, načinom još neopisanim u svjetskoj stomatološkoj literaturi, jednostavno i brzo očitavanje dobivenih integriranih podataka akcionih potencijala mastikatorne muskulature. Integrator je izveden tako, da se porast krivulje, koja monotonno raste, a koja predstavlja integral promatranog napona, ograničava na jednu vrijednost. Kad se postigne ova vrijednost, proces počinje ispočetka, uz odvajanje jednog električkog impulsa. Za integraciju napona upotrijebljena je pentoda u zasićenom području. Broj impulsa u jedinici vremena daje vrijednost integrala promatrane krivulje napona, u ovom slučaju u volt-sekundama. Ovom se metodom mogućnost greške smanjuje na manje od 3%.

Autori predlažu upotrebu metode, naročito za integriranje suma akcionih potencijala skeletne muskulature.

Summary

THE EVALUATION OF THE ELECTROMYOGRAM FOR THE MASTIKATORY MUSCULATURE

After a detailed introduction the problem from the literature of the evaluation of the action potential authors listed a new solution for the integration of action potentials enabling simple and rapid recording of the obtained integrated data on action potentials of the mastikatory musculature in a manner not yet described in the world dental literature. The integrator operates in such a way that the monotonously rising curve, representing the integral of the voltage is restricted to one value only. When this value is achieved the process starts anew along with emitting of an electrical impulse. For the integration of the voltage a pentode is used in the saturated region. The number of impulses in the time unit gives the value of the integral of the voltage curve under observation, in volt seconds. The accuracy achieved with this method exceeds 3%. The authors suggests the use of this method especially for the integration of action potential sums for the skeletal musculature.

Zusammenfassung

DIE BEWERTUNG DER ELEKTROMYOGRAMME DER KAUMUSKULATUR

In der ausführlichen Einleitung werden die bisherigen Veröffentlichungen über die Bewertung der Aktionspotentiale angegeben und das Problem der objektiven und einfachen Bewertung der Angaben vorgebracht. Es wird eine neue Methode der Integrierung der Aktionspotentiale beschrieben, welche auf eine noch nicht beschriebene Weise, eine einfache und rasche Ablesung der integrierten Angaben von Aktionspotentialen der Kaumuskulatur ermöglicht.

Der Integrator ist so konstruiert dass der Verlauf der monoton steigenden Kurve, welche das Integral der beobachteten Spannung darstellt, auf einen Wert begrenzt wird. Wenn diese Wert erreicht ist beginnt der Prozess von Neuem, unter Freiwerden eines elektrischen Impulses. Für die Integrierung der Spannung wurde eine Penthode in gesättigtem Zustand verwendet. Die Anzahl der Impulse in der Zeiteinheit ergibt den Integrationswert der beobachteten Spannungskurve, in diesem Falle in Voltsekunden.

Diese Methode ermöglicht es das Fehlbereich unter 3% herabzusetzen.

Die Autoren befürworten die Anwendung dieser Methode, insbesondere für die Integrierung der Summe der Aktionspotentiale der Kaumuskulatur.

LITERATURA

1. MILLER, R. V. Jr.: Calif, Med., 89:250, 1958
2. BUCHTAHL, F.: Congr. Intern. Sci. Neurol., Bruxelles, 1957
3. NIKŠIĆ, D.: Neuromuskulturna adaptacija na mobilnu protezu, disertacija, Zagreb, 1965
4. MOYERS, R. E.: Am. J. Orthodont., 35:837, 1949
5. MOYERS, R. E.: Am. J. Orthodont., 36:481, 1950
6. NEUMAN, H. H.: J. D. Res., 29:463, 1950

1. WOELFER, J. B., HICHEY, J. C., STACY, R. W., RINEAR, L.: J. Pros. Dent., 10:688, 1960
2. CARLSÖÖ, B.: Acta odont. Scand., 10, suppl. 11, 9, 1952
3. ESCHLER, J.: Dtsch. zahnärztl. Z., 7:958, 1952, 7:1333, 1952, 10:1147, 1955, 10:1421, 1955, 11:259, 1956, 13:434, 1958, 14:39, 1959
4. GÖPFERT, H., GÖPFERT, C.: Dtsch. Zahnärztl. Z., 9:357, 1954
5. GREENFIELD, B. E., WYKE, B. D.: Brit. Dent. J., 100:129, 1956
6. JARABAK, J. K.: Angle orthodont., 26:170, 1956
7. LATIF, A.: Am. J. Orthodont., 43:577, 1957
8. Mac DOUGALL, J.D.E, Andrewm B. L.: Anat., 57:37, 1953
9. PERRY, H. T., HARRIS, S. C.: J. Am. Dent. Ass., 48:655, 1954
10. PRUZANSKY i sur.: Am. J. Orthodont., 37:147, 1951
11. ESCHLER, J.: Parodontologie, 15:509, 1961
12. GÖPFERT, C.: Dtsch. Zahnärztl. Z., 11:76, 1956
13. GREENFIELD, B. E.: Brit. Dend. J., 112:353, 1962
14. OGLE M. W.: J. Am. Dent. Ass., 62:687, 1961
15. PERRY, H. T., Jr.: J. Am. Dent. Ass., 54:645, 1957
16. ANGELONE, L., CLAYTON, J. A., BRANDHORST, W. S.: J. D. Res., 39:17, 1960
17. HICKEY, J. C., WOELFEL, J. B., ALLISON, M. I., BOUCHER, C. O. O.: J. Pros. Dent., 13:444, 1963
18. GARRETT, F. A., ANGELONE, L., ALLEN, W. J.: Am. Orthodont., 50:435, 1964