

Electromyografie bij stem- en spraakstoornissen

P.H. Dejonckere

Instituut voor Foniatrie, Rijksuniversiteit Utrecht

Neuromusculair onderzoek (in het bijzonder electromyografie en reflexmyografie) heeft uiterst relevante bijdragen geleverd tot de fysiologische kennis van stem- en spraakmechanismen, maar wordt in het algemeen nog relatief weinig op het gebied van de foniatische pathologie toegepast. Dit artikel geeft een summier overzicht van enkele mogelijkheden en beperkingen van deze technieken. Onderscheid wordt gemaakt tussen kinologische benadering en diagnostische exploratie van uitvalsverschijnselen. Vanuit de anatomie worden de begrippen centraal en perifeer toegelicht, waardoor de klinische indicaties duidelijker te verklaren zijn. Volgt een uitleg over enkele technische en praktische aspecten van het onderzoek. Vanuit een pathofysiologisch oogpunt worden de resultaten besproken. Relevantie van reëducatie met behulp van E.M.G.-biofeedback dient nog verder onderzocht te worden.

Inleiding

Motoriek (spieren spannen en ontspannen) is een fundamenteel aspect van de spraakproductie. Spiercontractie is een mechanisch fenomeen dat biochemisch bepaald wordt (interactie van actine en myosine) en waaraan een elektrische activiteit is verbonden (actiepotentialen). De spiercontractie wordt hoofdzakelijk door de efferente motorische zenuwvezels gecontroleerd. Met behulp van electromyografie (E.M.G.) is het mogelijk deze elektrische activiteit van spierweefsel te registreren, door het aanbrengen van elektroden, hetzij in de spiermassa zelf (extracellulair), hetzij in de directe nabijheid (oppervlakte-E.M.G.)

Electromyografie is dus een electrofysiologisch onderzoek van de neuromusculaire functie. In principe kunnen alle lichaamsspieren voor dergelijk onderzoek in aanmerking komen; wat betreft stem en spraak zijn dit de ademhalingspijpen, de extrinsieke en intrinsieke larynxspieren, en de spieren die bij de articulatie betrokken zijn. In de praktijk worden larynx en velo-farynx het meest onderzocht.

Electromyografie kan met een tweeledig oogmerk verricht worden:

1. De spier die men wil onderzoeken functioneert, maar men is geïnteresseerd in bepaalde aspecten van deze functie, bijv. de synchronisatie of de coördinatie met een andere parameter van de stem- of spraakfunctie, de relatieve maat van contractie voor een bepaalde taak... Het betreft dus een kinesologisch onderzoek, waarbij vaak verschillende spieren simultaan worden onderzocht. Het is van belang dat de fysiologische functie zo weinig mogelijk geremd wordt: daarom maakt men gebruik van soepele draadelectroden. Vaak is dan ook een middelingstechniek nuttig. Voorbeelden zijn het bestuderen van de contractie van bepaalde in- en extrinsieke larynxspieren (en van andere spieren) bij variatie in de toonhoogte (Hirano en Ohala, 1969), of bij produktie van vibrato of trillo (Niimi et al., 1987), of nog bij stotteraars (Thurmer et al, 1983). Deze benadering is van primordiaal belang bij het fysiologisch onderzoek.

2. De spier die men wil onderzoeken vertoont klinische verschijnselen van uitval, en men is geïnteresseerd in verdere differentiaaldiagnostische exploratie, c.q. prognostische informatie: plaats van de laesie, totale of partiële uitval, herstel... Hier gaat de belangstelling naar de aard, de vorm, de duur en het patroon van de actiepotentialen. Intra-musculaire naaldelectroden zij hiervoor het best geschikt. Meestal gaat het om larynx- of velumspieren, omdat deze nogal vaak gelaedeerd worden en aanleiding geven tot specifiek foniatrische klachten en symptomen. Tong- en gelaatspiieren komen ook soms in aanmerking. Er bestaat echter geen principieel verschil tussen denervatieverschijnselen in een musculus vocalis, levator veli palatini, orbicularis oris of intercostalis. In tegenstelling tot de interne mond-, farynx- en larynxspieren zijn de gelaatspiieren op eenvoudige wijze te onderzoeken. Daardoor bestaat er een uitgebreide literatuur in verband met de exploratie van nervus facialis, en zal hierop niet verder worden ingegaan. Overigens zijn de klachten dan meestal niet primair van foniatrische aard.

Anatomie en klinische correlaties

Op neuromusculair (en electromyografisch) vlak is de morfologische en functionele eenheid de "motorunit", samengesteld uit het perifeer motorisch neuron, met axon en vertakkingen, en de spiervezels welke door betrokken neuron worden geïnnerveerd.

De motorische kernen van de hersenzenuwen bevinden zich in de hersenstam. Het centraal motorisch neuron bevindt zich op corticaal niveau (voor wat de larynx betreft in de gyrus precentralis). Hier ontspringen de tracti corticobulbares welke grotendeels kruisen. Beide motorische kernen worden derhalve dubbelzijdig geïnnerveerd vanuit de cortex. Het cerebellum en het extrapyramidale systeem staan via aparte banen in verbinding met de hersenstamkernen.

Uit de zenuwkernen ontspringen de hersenzenuwen, met name de nervus vagus en de nervus glossopharyngeus (motorische innervatie van farynx en la-

ryn timer). Beiden verlaten de schedel via het foramen jugulare. Daaronder splitsen zich eerst van beide zenuwen de rami voor de plexus pharyngeus af (farynxspieren), vervolgens de nervus laryngeus superior (musculus cricothyroideus). De rechter nervus laryngeus inferior (recurrens) splitst zich af ter hoogte van de arteria subclavia, loopt hieromheen en verloopt weer craniaalwaarts. Meest caudaal reikt de zenuw tot de bovenste thoraxapertuur. Links treedt de nervus recurrens uit ter hoogte van de aortaboog, om zich in nauwe relatie tot trachea en oesophagus naar de larynx te begeven. De nervus recurrens verzorgt de motorische innervatie van de intrinsieke larynxspiertjes. Meestal krijgt de musculus interarytenoideus een bilaterale innervatie.

Onderzoek met behulp van tracers (bij proefdieren) wijst erop dat de motorische kernen van de verschillende intrinsieke larynxspieren in de nucleus ambiguus (zenuwkern van de nervus vagus) aparte groepen vormen en dus niet willekeurig door elkaar zouden liggen. De axonen van de adductor- en abductorneuronen zouden in het perifere verloop van de vagus wel willekeurig door elkaar lopen, om net voor de intrede in het larynxskelet weer aparte bundels te vormen (Gacek, 1977; Yoshida et al., 1982).

Hieruit volgt dus dat, bijv.

- een enkelzijdige motorische larynx- of farynxuitval niet kan berusten op een supranucleaire (cortico-bulbaire of corticale) laesie
 - een geïsoleerde laesie in de zenuwkern symptomatologisch en electromyografisch niet te onderscheiden is van een homolaterale laesie in het perifere verloop van de zenuw
 - het homolaterale arytenoid nog kan bewegen in geval van totale eenzijdige recurrensuitval
 - reïnnervatie soms op functioneel afwijkende wijze kan gebeuren (abductor-zenuwvezels naar adductoren en omgekeerd)
- (Tomita, 1967; Crumley, 1982; Dejonckere, 1987)

Klinische indicaties voor E.M.G. van larynx- en/of articulatiespieren

De indicatie voor een E.M.G. van larynx-, mond- of farynxspieren is dus in eerste instantie een bewegingsstoornis. E.M.G. geeft de meest relevante informatie in geval van specifieke bewegingsstoornissen – zoals bijv. een eenzijdige stemplooi parese, of een “signe du rideau”. Afwijkende functiepatronen – dyskinesen – kunnen ook met behulp van E.M.G. worden bestudeerd: het gaat dan om synchronisatie / coördinatieproblemen, bijv. tussen intrinsieke larynxspieren en verhemeltespieren bij steminzet van een orale klinker, of tussen de twee larynxhelften. Abnormale bewegingen, zoals myoclonieën of stemplooi nystagmus kunnen mooi met E.M.G. worden geregistreerd, maar aangezien de topografie van de laesie steeds supranucleair is, heeft deze registratie slechts een documentatiewaarde en geen differentiaaldiagnostische waarde. Onrijpe motoriek geeft geen specifiek E.M.G.-patroon.

De belangrijkste inbreng van klinische E.M.G. bestaat uit:

1. De differentiatiemogelijkheid tussen een perifeer neurogene laesie en alle niet perifeer neurogene pathologie, m.a.w. arthrogene, centraal neurogene, psychogene of myogene aandoeningen (met perifeer neurogeen wordt bedoeld: "van het perifeer motorisch neuron", dus zowel de motorische kern in de hersenstam als het axon).
2. De topografie van de laesie: b.v. nervus recurrens alleen, en/of ook nervus laryngeus superior, en/of ook nog plexus pharyngeus en nervus glossopharyngeus, unilateraal of bilateraal; mogelijk nog andere craniale zenuwen.
3. De kwantificering van de laesie: totaal/partieel.
4. De prognose: aan- of afwezigheid van aanwijzingen voor herstel (reinnervatie).

Technische aspecten

Electromyografen

Meestal wordt nu met digitale electromyografieapparatuur gewerkt, hetgeen de gebruiksvriendelijkheid bevordert, met name voor wat kwantitatieve analyse betreft.

Electroden

Een concentrische of coaxiale naaldelectrode bestaat uit een geïsoleerde dunne platina-, zilver- of roestvrijstalen draad, gelegen in een holle naald. De schuin afgeslepen draadpunt vormt de differente elektrode, terwijl de naaldschacht als indifferente elektrode wordt gebruikt, en men gaat ervan uit dat langs het grote oppervlak uitmiddeling van activiteit plaatsvindt. De dikte bedraagt 0.3 tot 0.5 mm, en de afleidoppervlakte 0.01 - 0.05 mm².

Soms gebruikt men bipolaire concentrische naaldelectroden, met twee gescheiden afleidpunten in de electrodepunt. De naaldschacht dient dan als aardelectrode. Door de kleine afstand tussen de afleidpunten is deze elektrode zeer selectief, b.v. om fibrillatie te registreren.

Met behulp van beide elektroden zijn theoretisch alle intrinsieke (en extrinsieke) larynxspieren via een externe benadering te bereiken (Fig. 1). Voor de posticus wordt een kromme naaldelectrode aanbevolen, maar deze spier is toch het beste via indirecte laryngoscopie te onderzoeken (lokale anesthesie). In de praktijk verkrijgt men vaak voldoende informatie uit de musculus cricothyroideus en de musculus vocalis beiderzijds. Selectiviteit, wat de intrinsieke larynxspieren betreft (met uitzondering van de cricothyroideus) is eigenlijk niet zo belangrijk: de vertakking van nervus recurrens is erg distaal, en men vindt praktisch nooit selectieve denervatie van één enkele intrinsieke larynxspier.

Men kan ook gebruik maken van intramusculaire draadelectroden uit roestvrijstaal, die tot aan de punt zijn geïsoleerd ("hooked-wires"). De draden worden met behulp van een injectienaald ingebracht, waarna de naald wordt teruggetrokken. Draadelectroden worden vooral toegepast bij fysiologisch (kinesiologisch) onderzoek. Geringe complicaties (stemplooioedeem; intracordaal hematoom)

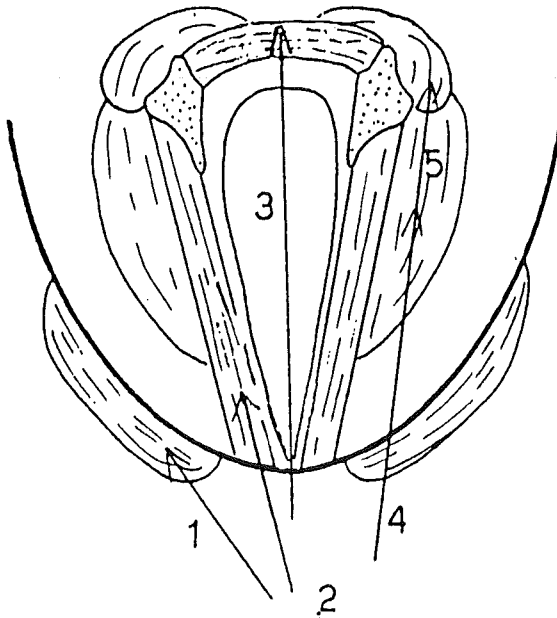


Fig. 1. Percutane benadering van intrinsieke larynxspieren met de naaldelectrode: 1: Musculus crico-thyroideus, 2: Musculus vocalis, 3: Musculus interarytenoideus, 4: Musculus crico-arytenoideus lateralis, 5: Musculus crico-arytenoideus posterior.

kunnen in 1-2 % der gevallen voorkomen, maar zijn op kort termijn reversibel. Meestal is dan het effect, in geval van parese, een tijdelijke kwaliteitsverbetering van de stem. E.M.G. van de larynx is niet geïndiceerd bij kinderen, evenals bij patiënten met adembenaauwdheid (bijv. door bilaterale parese) of oncologische larynxproblematiek (mogelijke uitzaaiing door elektrode).

Oppervlakte- of huidelectroden bestaan uit kleine ronde of rechthoekige plaatjes van zilver, tin, of roestvrij staal. Er wordt een separate aardelectrode gebruikt, bestaande uit een relatief grote, metalen plaat. Met deze elektroden kan slechts de globale activiteit uit een groot gebied worden gemeten. Oppervlakte-electroden vinden dus in het spieronderzoek weinig toepassing (Notermans et al., 1981). Wel kan deze benadering een indruk geven van bijv. de globale pre-laryngeale spierspanning, wanneer men verschillende vormen van stemgeving wil vergelijken bij een zelfde persoon.

Resultaten

De musculi vocales, crico-arytenoidei laterales en interarytenoidei tonen een specifieke activiteit bij steminzet met een typisch interferentiepatroon (de ac-

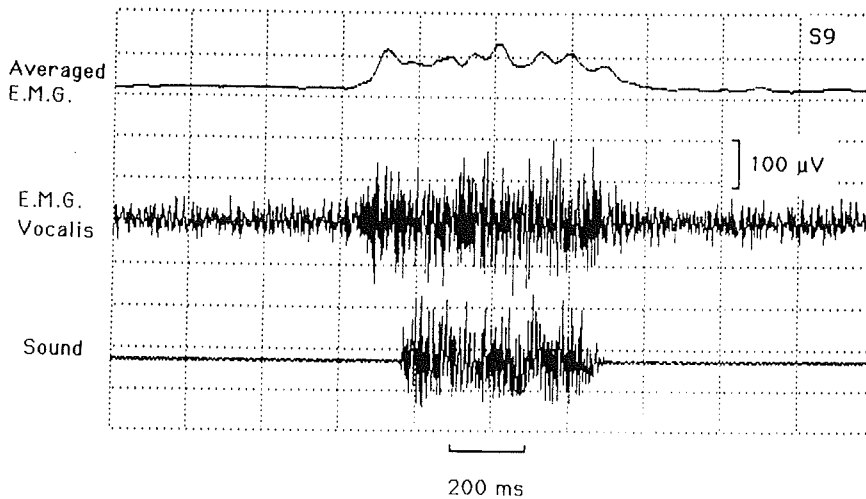


Fig. 2. Normale E.M.G.-activiteit in de musculus vocalis bij fonatie. Kanaal boven: averaged E.M.G., kanaal midden: electromyogram met behulp van naaldelectrode (interferentiepatroon), kanaal onder: microfonisch signaal.

tiepotentialen van de verschillende geactiveerde motor units zijn van elkaar niet meer te onderscheiden) (Fig. 2). Deze activiteit begint ongeveer 100 tot 400 ms voor geluid ontstaat en vermindert soms enigszins tijdens de stemgeving.

De musculus cricothyroideus is extra actief bij kop- of falsetstem. Daarnaast vertonen alle intrinsieke larynxspieren een permanente activiteit, ook bij rust dus, en deze spontane motorunit-activiteit wordt in zekere mate beïnvloed door de ademhalingscyclus (Faaborg-Andersen, 1957; Dejonckere en Lebacqz, 1983). Mond-, kaak- en farynxspieren vertonen een gecoördineerde activatie bij articulatiebewegingen.

Bij een totale zenuwuitval, verdwijnt deze activiteit en maakt plaats, na een tiental dagen, voor een geringe spontane activiteit met pathologische – duidelijk te herkennen – spierpotentialen: kleine, bijzonder korte (1-2 ms) fibrillatiepotentialen, en/of positieve scherpe golven (Fig. 3-4).

De precieze pathogenese van deze spontane activiteit is nog controversieel. Soms wordt een microfonisch effect waargenomen, door “passieve” trilling van een niet gespannen musculus vocalis. De frequentie van het E.M.G.-signaal is dan gelijk aan de grondtoon van de stemgeving. Als er geen herstel optreedt, blijft de spontane pathologische activiteit jarenlang aanwezig, en verdwijnt slechts met de complete atrofie/fibrose van de betrokken spier.

Is de uitval gedeeltelijk, dan is het aanspanningspatroon gereduceerd, en zijn de overblijvende motor unit potentialen vermengd met de pathologische fibrillatie en positieve scherpe golven. Vaak pulseren, bij poging tot een krachtige

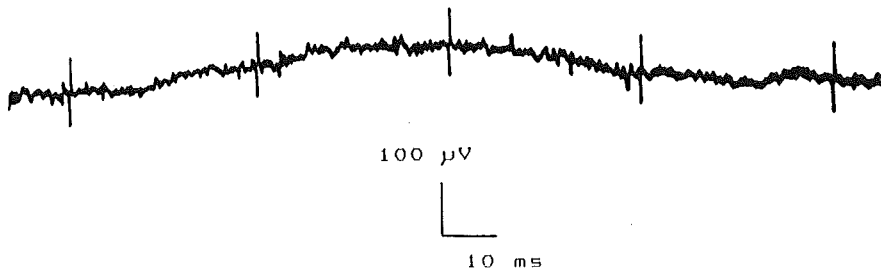


Fig. 3. Fibrillatiepotentialen bij totale denervatie van de musculus vocalis (recurrenslaesie bij strumectomie). Spontane spieractiviteit in rust.

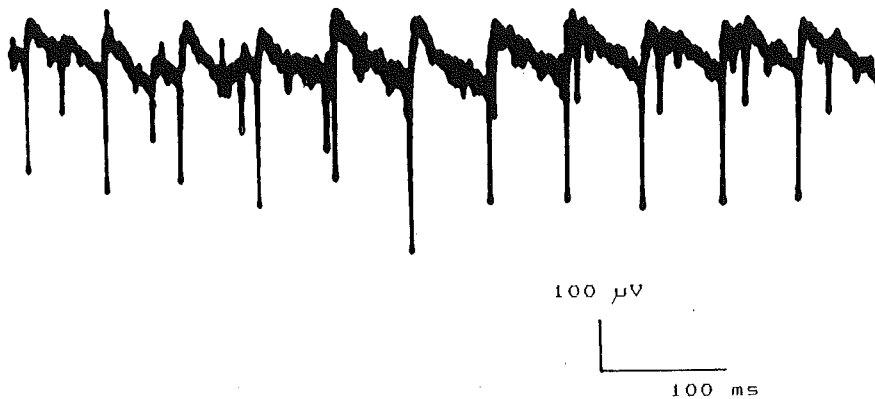


Fig. 4. Positieve scherpe golven en fibrillatie in een totaal gedenerveerde musculus vocalis (recurrenslaesie bij strumectomie). Spontane spieractiviteit in rust.

willekeurige spanning – fonatie op hoge toon –, de resterende motor units op abnormaal hoge frequentie (meer dan 25 per seconde), in plaats van het interferentiepatroon (Fig. 5).

Er kan sprake zijn van reïnnervatie: Dit kan in eerste instantie gebeuren via perifere uitgroei ("sprouting") vanuit naburige intact gebleven zenuwvezels. Dit uit zich in de vorm van polyfasische potentialen (Fig. 6). Polyfasische potentialen zijn potentialen met meer dan vier fasen (het aantal fasen wordt bepaald door het aantal malen dat de nullijn doorsneden is). De polyfasie vindt zijn oorsprong in een sterk verschil in geleidingssnelheid van de nieuw uitgegroeide perifere zenuwtakjes.

In tweede instantie kan ook, als axonen onderbroken zijn zonder dat er verlies is in de continuïteit van het omhullende bindweefsel, een regeneratie optreden

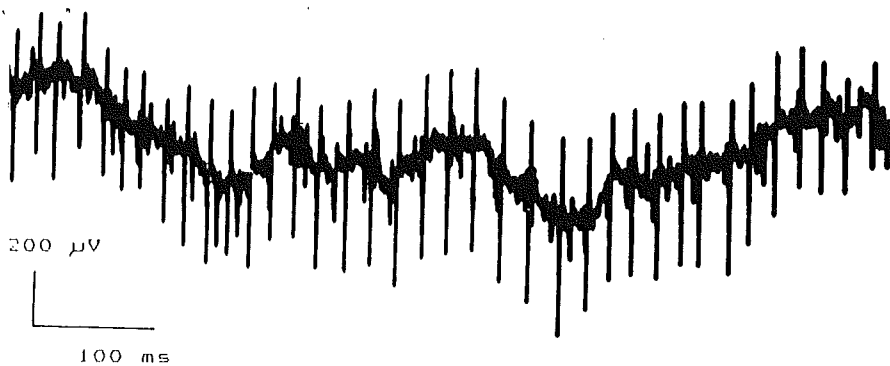


Fig. 5. Enkelvoudige motorunit die, bij poging tot activatie bij stemgeving, op hoge frequentie pulseert (40-50 potentialen per seconde). Musculus vocalis met ernstige partiële recurrensuitval (halstrauma).

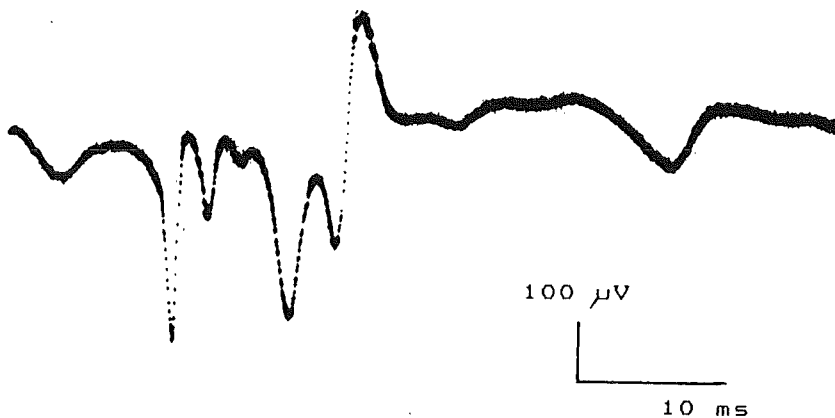


Fig. 6. Sterk polyfasisch motor unit potentiaal in de musculus vocalis. Partiële recurrensuitval na oesophagectomie.

ter hoogte van de proximale axonale stomp. Enkele van deze regenererende axonen kunnen dan uiteindelijk de spiervezels bereiken. Het is natuurlijk mogelijk dat regenererende zenuwvezels in verkeerde fascikels uitgroeien (dus paradoxale reïnnervatie), waardoor onder andere synkinesen kunnen ontstaan, zoals bekend bij letsels van nervus facialis. Synkinesen van abductoren en adductoren van de larynx zullen de beweeglijkheid verstoren. In het algemeen geleiden de nieuw gevormde zenuwvezeltjes aanvankelijk traag als gevolg van een geringe diameter en gebrekkige myelinisatie: De eerste potentialen die verschijnen zijn van

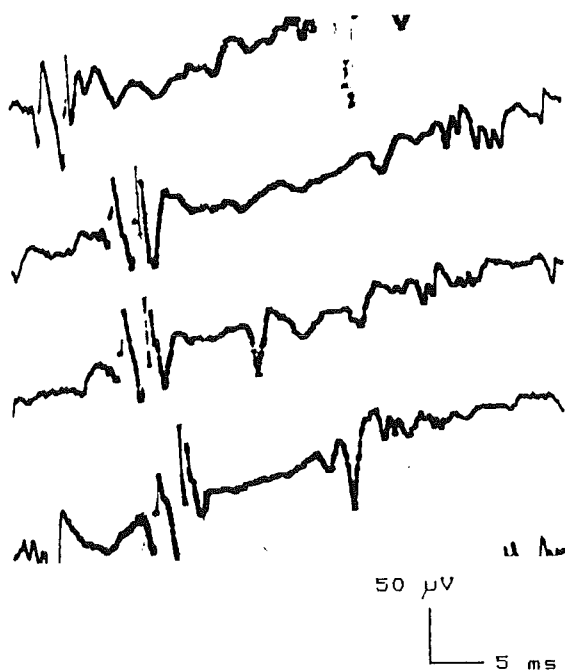


Fig. 7. Polyfasische "nascent motor units" in de musculus cricothyroideus, als eerste teken van reïnnervatie, na strumectomie.

zeer geringe amplitude (10 tot 15 microvolt) en polyfasisch: Men spreekt van "nascent motor units" (Fig. 7).

In geval van gunstig beloop ziet men enerzijds de denervatiepotentialen verdwijnen, anderzijds een verdichting van het aanspanningspatroon (Crumley, 1982).

Myopathieën (spierziekten) vertonen speciale E.M.G.-patronen, die in de meeste gevallen goed te herkennen zijn. Deze myogene aandoeningen zijn echter in het algemeen niet exclusief of specifiek aanwezig ter hoogte van stem- en spraakspieren.

Neuromyografie en reflexmyografie

Neuromyografie is het stimuleren van een bepaalde zenuw waarbij men de elektrische musculaire activiteit in de betrokken spier registreert. Reflexmyographie is het vastleggen van de – via een reflexboog – geprovoceerde musculaire potentialen bij stimulatie van een afferente zenuw. De nervus facialis wordt reeds geruime tijd op deze wijze onderzocht (Notermans et al., 1981).

Beide technieken kunnen ook toegepast worden op de larynxmusculatuur: bij reflexmyografie wordt de nervus laryngeus superior (sensibele vezels) gestimu-

leerd terwijl de registratie gebeurt respectievelijk in één van de intrinsieke larynxspieren en in de musculus cricothyroideus.

Er wordt gestimuleerd met behulp van twee dunne, monopolaire naaldelectroden, welke tot dicht bij de punt geïsoleerd zijn. De cathode (actieve electrode) wordt ongeveer 1 cm diep onder de cornu major van het os hyoideum geplaatst.

Er wordt gebruik gemaakt van elektrische impulsen met een duur van 0.5 - 1 ms (1 - 2 Hz). De amplitude varieert tussen 5 en 50 V, afhankelijk van de afstand tussen de tip van de electrode en de nervus laryngeus superior. Voor de registratie gebruikt men transcutane coaxiale naaldelectroden.

Met behulp van deze techniek kan de complexe polysynaptische reflexboog van de laryngeale innervatie electrofysiologisch bestudeerd worden. Voor klinisch gebruik geeft de reflexmyografie belangrijke informatie over de mate van beschadiging en van reïnnervatie, zeker als men vergelijkende onderzoeken op verschillende tijdstippen kan verrichten (Thumfart, 1986; Dejonckere et al., 1988).

Recentelijk werd ook transcraniale magnetische stimulatie gebruikt, waarbij dan geen stimulatieëlectroden meer hoeven gebruikt te worden (Ludlow et al., 1989).

Reëducatie met behulp van E.M.G.-feedback

Het zichtbaar (of hoorbaar) maken van de elektrische spieractiviteit in de pre-laryngeale regio door middel van oppervlakte-E.M.G. werd door enkele auteurs (Prosek et al., 1978; Stemple et al., 1980) gebruikt voor therapeutische doeleinden. De bedoeling is een patiënt met hyperkinetische dysfonie bewust te maken van het teveel aan spanning in zijn perilaryngeale musculatuur, zowel in rust als tijdens het foneren. De behandelingen bedroegen 8 of 14 sessies van 30 minuten, gespreid over enkele weken. Deze bewustmaking van de spierspanning bleek bij een deel van de patiënten (ongeveer 50%) efficiënt om relaxatie te bevorderen, om de larynxheffing beter onder controle te houden, en om harde steminzetten te leren vermijden. Resultaten waren volumevermindering van stemplooinoduli en betere stemkwaliteit. Ervaring en effectonderzoek op bredere schaal ontbreken echter nog, evenals resultaten op langer termijn.

Conclusie

Met behulp van electromyografie (E.M.G.) kan men de elektrische activiteit, die verbonden is aan de spiercontractie, registreren en analyseren. Deze techniek wordt gebruikt zowel bij kinesiologisch onderzoek van bewegingspatronen, als wanneer bepaalde spieren klinische verschijnselen vertonen van uitval. Wat betreft stem en spraak zijn het meestal de mond-, farynx- en larynxspieren. Klinische E.M.G. (met inbegrip van neuromyografie en reflexmyografie) maakt de differentiatie mogelijk tussen een perifeer neurogene laesie en alle niet perifeer neu-

rogene pathologie, zoals arthrogene, centraal neurogene, psychogene of myogene aandoeningen. De topografie en de graad van ernst van de laesie kunnen beter worden gedefinieerd. Door aan- of afwezigheid van aanwijzingen voor reïnnervatie wordt de functionele prognose ook duidelijker. Daarentegen is E.M.G. van weinig nut op het gebied van supranucleaire stoornissen. Als rekening gehouden wordt met contra-indicaties, is het risico voor complicaties uiterst gering.

Summary

Electromyography (E.M.G.) directly demonstrates muscular activity, by recording action potentials produced when the muscle fiber membrane depolarizes. This technique is useful for examining disorders of the motor units, as paresis or paralysis, but also for investigating the kinesiological pattern of a muscle or that of a set of muscles. In the field of speech pathology, laryngeal and articulatory muscles are primarily concerned, but the activity of respiratory muscles can also be analyzed. Clinical E.M.G. (including neuromyography and reflexmyography) is helpful in differentiating a peripheral neurogenic pathology from a mechanical fixation, from a central neurogenic disorder, or from a psychogenic problem. Myopathic disorders can also be identified. Furthermore E.M.G. gives information about the degree and the extent of the peripheral neurogenic lesion, and about possible reinnervation.

Literatuur

- Crumley, R.L. (1982). Experiments in laryngeal reinnervation. *Laryngoscope*, 92, suppl. 30, 1-27.
- Dejonckere, P.H. (1987). *E.M.G. of the Larynx*. Liège: Press Productions.
- Dejonckere, P.H., & Lebacqz, J. (1983). Determinism of the respiratory activity of the intrinsic laryngeal muscles. *Archives Internationales de Physiologie et de Biochimie*, 91, 50-52.
- Dejonckere, P.H., Knoop, J., & Lebacqz, J. (1988). Evoked muscular potentials in laryngeal muscles. *Acta Oto-rhino-laryngologica Belgica*, 42, 494-501.
- Faaborg-Andersen, K. (1957). Electromyographic investigation of intrinsic laryngeal muscles in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, 41, suppl. 140, 1-140.
- Gacek, R.R., Malmgren, L.T., & Lyon, M.J. (1977). Localization of adductor and abductor motor nerve fibers to the larynx. *Annals of Otolaryngology*, 86, 770-776.
- Hirano, M., & Ohala, J. (1969). Use of hooked-wire electrodes for electromyography of the intrinsic laryngeal muscles. *Journal of Speech and Hearing Research*, 12, 362-373.
- Ludlow, C.L., Cohen, G.C., Hallet, M., & Sedory, S.E. (1989). Bilateral intrinsic laryngeal muscle response to transcranial magnetic stimulation with left hemisphere dominance. *Neurology*, 39 (Suppl.1), 376.
- Niimi, S., Horiguchi, S., Kobayashi, N., & Yamada, M. (1987). Electromyographic study of vibrato and tremolo in singing. *Annual Bulletin Research Institute of Logopedics and Phoniatrics of the University of Tokyo*, 21, 153-164.
- Notermans, S.L.H. (et al.) (1981). *Klinische Electromyografie*. Alphen aan den Rijn/Brussel: Stafleu.
- Prosek, R.A., Montgomery, A.A., Walden B.E., & Schwartz, D.M. (1978). E.M.G. bio-feedback in the treatment of hyperfunctional voice disorders. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 43, 283-294.

- Stemple, J.C., Weiler, E., Whitehead, W., & Komray, R. (1980). Electromyographic bio-feedback training with patients exhibiting a hyperfunctional voice disorder. *Laryngoscope*, 90, 471-476.
- Thumfart, W.F. (1986). Electromyography of the larynx and related technics. *Acta Oto-rhino-laryngologica Belgica*, 40, 358-376.
- Thurmer, S., Thumfart, W.F., & Kittel, G. (1983). Electromyographische Untersuchungsbefunde bei Stotterern. *Sprache, Stimme, Gehör*, 7, 125-127.
- Tomita, H. (1967). An electromyographic study of recurrent laryngeal nerve paralysis. *Journal of Otolaryngology of Japan*, 70, 963-985.
- Yoshida, Y., Miyazaki, T., Hirano, M., Shin, T., & Kanaseki, T. (1982). Arrangement of motoneurons innervating the intrinsic laryngeal muscles of cat as demonstrated by horseradish peroxidase. *Acta Otolaryngologica (Stockholm)*, 94, 329-334.