

# biofeedback électromyographique : principes et indications

G. de Bisschop, E. de Bisschop, R. Nundlall - de Bisschop, J.L. Gouget

## Considérations générales

Lorsque Norbert Wiener donna naissance à la cybernétique, le mot feedback apparaissait pour la première fois et concernait la manière de bien commander un ensemble en le renseignant constamment sur les résultats des actions en cours. On relevait ainsi la différence qui existait entre les résultats et ce qui était désiré à priori. Puis on a commencé à utiliser le mot biofeedback pour désigner l'application au vivant de ce principe général. Dans les deux cas il existe un dominateur commun, le phénomène par lequel un système est susceptible de se modifier selon les informations qui lui parviennent.

Par rapport aux États-Unis où le biofeedback est considéré comme une véritable révolution de la thérapeutique moderne, cette technique a été négligée en France ; les publications la concernant sont rares, voire exceptionnelles.

Du point de vue pratique, on cherche à rendre conscientes un certain nombre d'activités physiologiques qui étaient normalement inconscientes, dans le but que le patient puisse ainsi modifier et régulariser les fonctions déficientes. Ceci s'adresse principalement au système autonome et au système neuromusculaire.

On dispose actuellement de capteurs de signaux biologiques qui permettent de détecter des variations de la température, de la résistance électrique cutanée (qui reflète le fonctionnement du système orthosympathique), de l'activité électrique du cœur, des paramètres respiratoires, des angulations articulaires, des pressions cavitaires, de l'activité électrique musculaire et de l'électroencéphalographie. Dans ce dernier cas, les travaux actuels démontrent que le sujet capable de modifier ainsi, de lui-même et de régulariser la fréquence des rythmes cérébraux (A. Rémond). Il est alors possible d'effectuer un entraînement à la concentration et à la détente, de traiter une hyperactivité avec ou sans troubles de l'attention, de participer au traitement de la crise épileptique et de lutter contre l'insomnie et les troubles du sommeil. Rappelons qu'Antoine Rémond a participé, au moyen de cette méthode, à la sélection des astronautes pour la mission Apollo.

Dans le cas présent nous considérerons le biofeedback-EMG (EMGBF) qui consiste à recueillir l'activité musculaire par électromyographie globale, à l'aide d'électrodes de contact. Cette activité électrique est amplifiée et intégrée. La contraction musculaire est alors rendue consciente au patient, soit d'une manière visuelle par animation de colonnes lumineuses, soit par des dispositifs auditifs fournissant au patient l'activité musculaire sous forme de clics, de fréquence plus ou moins rapide, soit, ce qui nous paraît le plus important, sous la forme d'une courbe sur un moniteur vidéo dont l'amplitude reflète l'activité musculaire et ses modulations éventuelles. L'appareillage est conçu avec une mise en mémoire qui permet au sujet et au thérapeute d'adapter, de corriger, et de juger des progrès. De plus, la fixation sur l'écran de la courbe idéale à atteindre permet au patient de tendre progressivement ses efforts pour atteindre le but final. Une mémorisation permet à chaque séance de revisualiser les performances obtenues lors des séances précédentes. Le sujet et le thérapeute peuvent ainsi apprécier la qualité et la nature des progrès.

## Rappel physiologique

Nous nous bornerons uniquement au rappel de quelques notions nécessaires à la compréhension du biofeedback-EMG (EMGBF).

Le principe du biofeedback repose sur la conception des activités en chaîne fermée par rapport à celles en chaîne ouverte. L'arc réflexe fonctionne en chaîne ouverte, c'est à dire qu'une action fait suite à une information, mais aucun renseignement ne suit l'action. Ce serait le cas d'un missile lancé uniquement à partir de données préalables au lancement. Il s'agit d'un contrôle en boucle ouverte (feed forward ou open loop). La boucle feedback est capable de s'autoréguler, le résultat venant modifier l'émission. Un exemple simple est donné par le thermostat réglant le fonctionnement d'une chaudière : d'après une valeur de référence fixée à l'avance, la source de chaleur augmente ou diminue pour corriger des variations de température. Il en est de même pour un missile dont la trajectoire est sans cesse normalisée par le but à atteindre. (feed back ou closed loop).

Cet exemple peut être superposé aux fonctions du système neuromusculaire. Le niveau zéro du motoneurone n'est pas un zéro absolu, car dans ce que nous ressentons habituellement comme étant un état de repos le potentiel musculaire est variable selon les sujets.

Les états de veille se traduisent par une augmentation de ce potentiel, et les états de repos par une diminution. Dans le muscle l'état de repos est déterminé par la tension permanente des fuseaux neuro-musculaires dont la résultante peut s'extérioriser et se mesurer par l'électromyographie (EMG) telle qu'elle apparaît sur les courbes de l'EMGBF lorsque les appareils sont suffisamment sensibles.

Le concept d'autorégulation postule que l'organisme ne répond pas passivement aux stimuli, mais le fait par l'intermédiaire de circuits fermés permettant de sélectionner, différencier les stimuli en fonction de la réponse, qui sera adaptée. Nous pouvons considérer que la volonté peut intervenir pour augmenter ou diminuer l'état de réactivité. Ceci permet de comprendre que l'inhibition n'est pas un phénomène passif, mais actif.

En termes de cybernétique le système neuromusculaire constitue un servomécanisme, c'est à dire un système asservi à une information extérieure permettant de maintenir l'équilibre réponse-commande malgré les modifications du milieu. La boucle feedback peut être considérée comme un servomécanisme. Au schéma anatomique, nous pouvons superposer un schéma cybernétique. Le biofeedback utilisé en rééducation fonctionnelle se propose, à l'aide de renseignements auditifs et/ou visuels d'amener les patients à constater leur état physiologique habituel. Cet apport ne représente qu'une première étape durant laquelle, utilisant ces informations, ils apprennent par le jeu des essais et des erreurs à modifier leur état physiologique. L'enfant qui apprend à marcher, le sujet qui apprend à monter en bicyclette, le fait par une succession d'essais et d'erreurs. L'homéostasie est basée sur de tels dispositifs de feed back, ayant un rôle de régulateurs ou de servomécanismes. Mais si la valeur de référence est perturbée, la fonction contrôlée devient pathologique (fièvre par dérèglement du thermostat biologique, hypertonie musculaire de base par dérèglement d'un centre réticulaire). Inversement, le biofeedback cherche à agir sur les centres de commande pour réguler une activité dérégulée.

Le servomécanisme qui règle l'activité tonique de base du fonctionnement neuromusculaire est régulé à son tour par les centres nerveux supérieurs, notamment le cervelet et la formation réticulaire. Le cervelet reçoit les informations proprioceptives par la voie du tractus spinocérébelleux et est en relation avec le cortex moteur. Cette transmission est plus rapide que celle des voies longues du névraxe au cortex.

Les impulsions motrices sont transmises du cortex vers les muscles par le tractus cortico-spinal. Des collatérales sont envoyées au cervelet. Le muscle et les structures cérébelleuses reçoivent ainsi les informations motrices d'une manière concurrente. Le cervelet sert de comparateur entre la commande motrice corticale et le fonctionnement musculaire. Des erreurs entre la commande et le fonctionnement sont détectées par le cervelet, de telle manière que les corrections nécessaires puissent être faites.

On comprend ainsi qu'une atteinte pathologique des voies de transmission a des répercussions sur l'équilibre neuromusculaire. Les connexions des voies visuelles et auditives, ayant des liaisons avec le cortex moteur, le cortex cérébelleux et la formation réticulaire, peuvent ainsi suppléer au déficit neurologique. C'est le but du biofeedback. De plus, il existe un contrôle rétroactif sensoriel des fonctions motrices qu'il faut prendre en considération :

Lorsqu'un sujet apprend un comportement moteur, il expérimente les effets de ce comportement dans ses aires corticales somatosensorielles à chaque fois qu'il accomplit cette activité. Le souvenir des différentes programmations du mouvement constitue un modèle qui est alors enregistré. Ces modèles portent le nom d'engrammes sensoriels des différents mouvements. Dès qu'un engramme somesthésique est établi dans le cortex sensoriel, le sujet peut faire appel à cet engramme pour le faire reproduire dans le cortex moteur. Si le système moteur n'arrive pas à suivre le modèle, l'information sensorielle est transmise au cortex somatosensoriel pour l'informer de cet échec. Les signaux appropriés de correction sont alors transmis aux muscles.

De plus, les activités proprioceptives ou extéroceptives sont capables d'activer des engrammes, directement ou à travers des relais cérébelleux. Des signaux sensoriels autres que les informations somesthésiques, particulièrement visuels, peuvent participer à ce contrôle moteur.

Le système moteur agit comme un servomécanisme qui utilise les muscles disponibles pour suivre le modèle, l'engramme sensoriel. Si certains muscles ne répondent pas, d'autres muscles leur sont automatiquement substitués. Le feedback EMG devient effectif par la fourniture immédiate d'informations sensorielles et par la mise en jeu des systèmes visuels et auditifs qui viennent compenser la proprioception. On sait que ces systèmes se projettent au niveau du cervelet et du cortex moteur.

Il existe dans l'organisme des synapses inactives et des circuits dormants ou inhibés d'une manière physiologique, qui peuvent ainsi être mis en activité pour compenser un déficit fonctionnel.

Il faut signaler qu'un engramme se renforce à chaque usage. Les synapses peuvent également mémoriser des informations. Chaque fois que certains types de signaux sensoriels franchissent les synapses d'un circuit de neurones, celles-ci développent de plus en plus d'aptitude à transmettre les mêmes types de signaux, c'est le processus de facilitation. Si les mêmes signaux traversent la synapse de nombreuses fois, la facilitation devient de plus en plus opérante et, même en l'absence de signaux extérieurs, les centres cérébraux peuvent déclencher la transmission d'influx à travers les mêmes chaînes de synapses. C'est ainsi que la répétition de l'information de l'activité musculaire, court-circuitant par les voies visuelles ou auditives, facilitera la mise en activité de nouvelles connexions nerveuses, créant ou renforçant des engrammes et aboutissant à une activité musculaire qui était impossible ou limitée auparavant.

### **Electromyographie**

L'électromyographie (EMG) consiste à capter les potentiels électriques émis par l'activité musculaire, à les amplifier, à les rendre audibles et à les visualiser sur un moniteur. On distingue :

L'EMG analytique qui enregistre les potentiels musculaires en vue de les analyser individuellement. Elle s'effectue à l'aide d'une aiguille-électrode insérée dans le muscle. Cette technique sort du cadre de cet exposé.

L'EMG globale qui enregistre l'ensemble de l'activité électrique du muscle au moyen d'électrodes externes fixées sur la peau. Elle est utilisée dans le BFEMG et les études kinésiologiques.

### **Le signal EMG**

Lorsque la corne ventrale de la moelle envoie vers les muscles des influx nerveux sous une influence supraspinale, la contraction musculaire dépend de :

La fréquence de l'influx nerveux, dont l'accélération est fonction de la force musculaire (sommation temporelle – rate coding).

Le nombre d'unités motrices en activité. Au fur et à mesure de l'augmentation de la force développée, le nombre d'unités motrices en activité augmente progressivement (sommation spatiale – recruitment). Inversement, le relâchement musculaire est caractérisé par une réduction des décharges électriques des UM. Ces phénomènes électriques sont mesurés en microvolts ( $\mu\text{V}$ ). Il faut insister sur le fait que la corne ventrale de la moelle ne mobilise pas toutes les UM de son pool, même pour une contraction musculaire maximale. 60% environ sont actives, le reste est en attente pour relayer celles qui fonctionnent (rotation des UM).

Rappelons que : l'unité motrice (UM) est l'ensemble constitué par la cellule motrice de la corne ventrale, l'axone, les ramifications axonales distales, les synapses et les fibres musculaires. Le taux d'innervation d'une UM définit le nombre de fibres musculaires lui appartenant. Les muscles devant fournir un effort grossier (gastrocnémus) ont des UM à taux d'innervation élevé, alors que les muscles devant assurer une activité fine et discriminative (face, main) ont un nombre d'UM plus élevé, mais dont chacune d'elle a un faible taux d'innervation.

L'EMG globale, de surface, telle qu'elle est enregistrée en EMGBF fournit une mesure indirecte de l'activité des muscles striés sous-jacents.

## Détection du signal EMG

La détection est effectuée au moyen de trois électrodes : deux électrodes actives et une électrode de référence (ground). Une grande partie de la qualité de l'enregistrement des signaux dépend étroitement de la nature des électrodes et de la préparation de la peau.

### Préparation de la peau

Lorsque l'on utilise des électrodes de surface, la résistance électrique, l'impédance des tissus joue un grand rôle. Si elle est élevée, comme cela se rencontre au niveau des tissus adipeux, des peaux grasses et sales, d'une kératinisation cutanée ou d'une peau sénile, elle atténue le signal et accroît le niveau des bruits parasites. Préalablement à la pose des électrodes, il faut éliminer l'imprégnation graisseuse éventuelle de la peau, les cellules desquamées et une pilosité anormalement élevée. De plus, il faut écarter tout ce qui peut produire un champ statique, et éventuellement utiliser des sprays antistatiques. Les techniques de réduction de l'impédance cutanée peuvent être de trois ordres :

Rubéfaction à l'alcool.

Frottement avec une pâte abrasive. Mais il faut faire attention à bien éliminer les restes éventuels de pâte. Nous utilisons simplement une toile abrasive. Nettoyage des peaux sèches dans le sens de la direction de la croissance des poils.

Toutefois, le problème de l'impédance excessive a été résolu en partie dans les appareils modernes dont l'impédance d'entrée est comparée à celle de la peau. Ce qui n'empêche pas d'apporter un soin particulier à la préparation de la peau. Pour visualiser un signal de bonne qualité, il importe de :

Parfaitement préparer la peau.

Placer les électrodes sur le muscle dans le sens des fibres musculaires.

Régler l'amplification (gain) de l'appareillage d'EMG de manière à obtenir le maximum d'activité électrique.

## Les électrodes

### Types

Elles sont en général de type autocollant, analogues à celles utilisées en monitoring cardiaque. Renfermant une gelée conductrice, elles sont jetables et prêtes à l'application. Toutefois, il faut toujours vérifier avant l'application que la peau est dégraissée, non imprégnée de sudation et que l'électrode n'est pas sèche. Il existe des électrodes en forme de cupule, en argent chloruré, que l'on remplit de gel conducteur. La fixation se fait par un anneau autocollant qui la rend solidaire de la peau. Certaines ont un faible diamètre (4 mm) et sont adaptées aux petits muscles (face, main).

Pour des applications localisées, on peut coller sur une mince feuille de matière plastique malléable deux petites feuilles d'or reliées à l'appareil par de minces soudures (de Bisschop – Holzer). Pour l'application, on étale avec la pulpe de l'index un film de gel conducteur ; la contention est assurée par un ruban micropore. On peut aussi découper du papier aluminium pour usage alimentaire, enduire une face de gel conducteur et fixer avec une bande adhésive. La liaison est faite par une mini-pince crocodile (alligator). La fixation des électrodes à la peau doit être parfaite, car le moindre déplacement sous l'action de la contraction musculaire engendre des potentiels parasites.

### Placement des électrodes

Il est préférable de placer les électrodes parallèlement à l'orientation des fibres musculaires.

Nous avons l'habitude de les placer de part et d'autre du point moteur. Le plus grand effet du signal détecté provient des fibres musculaires les plus proches des électrodes. Il en est de même pour une détection sélective. Les électrodes doivent être fixées, lorsque cela est possible, par rapport à la position que le muscle aura durant sa phase de contraction, qui ne coïncide pas forcément avec la position de repos. La distance inter électrodes doit être calculée de telle manière que le volume-conducteur (volume de tissus capté par les électrodes) ne fasse pas intervenir des muscles étrangers au but recherché. En effet, une distance trop grande augmente le volume-conducteur.

En règle générale, les électrodes détectent des signaux mesurables jusqu'à une profondeur égale à celle de la distance inter électrodes. Plus la distance entre les deux électrodes augmente, plus les signaux captés proviennent de la profondeur des tissus. Des électrodes rapprochées ont un effet superficiel, sélectif.

Du point de vue clinique, on peut jouer sur le caractère du volume conducteur en fonction du but recherché. A titre d'exemples : Au cours d'un entraînement à la relaxation d'un groupe musculaire spastique, la distance inter électrodes sera d'abord étroite. Puis cette distance sera progressivement augmentée afin de dériver un nombre plus important de structures musculaires. Inversement, s'il s'agit de la rééducation de muscles parétiques, la distance inter électrodes sera grande afin de détecter une activité électrique étendue, puis elle sera progressivement réduite pour devenir plus spécifique.

### **Traitement de l'information**

Les potentiels musculaires ont un voltage de très faible amplitude. Ils sont d'abord traités par un amplificateur. Ils peuvent alors être visualisés sur un oscillographe cathodique.

Les tracés ont une certaine fréquence intrinsèque. On ne garde qu'une plage qui élimine les fréquences basses, responsables de fluctuations lentes nuisant à la stabilité de l'enregistrement, et les fréquences hautes qui sont inutiles en EMG de surface. Toutefois, il faut éviter les appareillages ne fonctionnant que dans une bande étroite (32 à 200 Hz). Une plage située entre 20 et 1000 Hz est souhaitable en EMG kinésiologique. En réalité, les signaux EMG ont une morphologie triphasique dont les constituants sont situés de part et d'autre de la ligne zéro. Afin de disposer de l'ensemble de ces constituants, on redresse toutes les alternances situées d'un côté de la ligne zéro : courbe EMG redressée (full-wave rectification). Puis, la surface globale des potentiels redressés est automatiquement calculée, et donne naissance à une courbe dont l'amplitude quantifie le degré d'activité du muscle. Cette étape caractérise l'intégration du signal.

### **Présentation de l'information**

Tous les dispositifs peuvent être utilisés. Du point de vue pratique ce sont les voies acoustiques et visuelles qui sont à retenir :

#### **EMGBF acoustique**

La présentation la plus simple est sous la forme d'un buzzer. On peut faire appel à un ton dont la hauteur varie en fonction de l'amplitude de l'EMG intégrée. L'extériorisation de l'information sous forme de clics dont la fréquence augmente parallèlement à l'activité musculaire est aisée pour des appareillages portatifs. Nos études électrophysiologiques nous ont montré la supériorité d'une telle modalité par rapport à la précédente. Les techniques de fonctionnement à seuil utilisent un buzzer monotone dont le son ne se déclenche que lorsque le sujet atteint un certain seuil préfixé par le thérapeute. Pour un muscle parétique, on choisit un seuil bas. Puis au fur et à mesure que ce seuil est atteint, on élève le niveau (shaping up). Pour un muscle spastique, on joue sur le niveau d'une manière inverse (shaping down).

#### **EMGBF optique**

Les présentations sont variables, allant du plus simple au plus sophistiqué : La déviation de l'aiguille d'un cadran donne au patient une vision analogique de l'activité musculaire, en continu. Les échelles lumineuses comportent une série d'ampoules lumineuses dont le nombre s'illumine parallèlement à l'activité musculaire. Suivant le but recherché, ces dispositifs peuvent être utilisés en modalité shaping up pour les muscles parétiques, et shaping down pour les muscles spastiques. Les méthodes les plus modernes sont basées sur l'utilisation d'un micro-ordinateur connecté à un moniteur vidéo.

Il existe des appareillages de types différents utilisant des échelles de sensibilité et de mesures relatives différentes. Il est donc difficile de suivre les progrès d'un patient sur des appareils de marque différente. Les éléments comparatifs peuvent être faussés. En conséquence, le patient doit être traité et suivi au moyen du même appareil.

Quatre modes de biofeedback intégrant les signaux sous forme graphique ou numérique sont aujourd'hui possibles :

- Biofeedback électromyographique
- Biofeedback manométrique. Des mesures de pression sont enregistrées au niveau de capteurs manométriques (sondes vaginales et anales, poires) ;
- Biofeedback dynamométrique. Des mesures de force sont enregistrées par des capteurs spécifiques ;
- Biofeedback thermique.

Ces systèmes permettent d'afficher, sur le même écran et de façon synchrone, les courbes issues de modes de biofeedback différents (EMG + manométrie, EMG + force etc).

Les performances et la faculté de s'adapter aux besoins de chaque traitement reposent sur le réglage de l'amortissement (lissage des courbes visualisées) et au calibrage. De plus, l'adaptabilité est renforcée par la possibilité de tracer à l'écran un profil d'activité incitatif dans lequel le patient doit inscrire la courbe enregistrée. Le calibrage peut être effectué d'une manière automatique ou manuelle :

Dans le calibrage automatique, lors d'un pré-test avec le patient, l'appareil mémorise les valeurs minimales et maximales enregistrées, quelque soit le mode de biofeedback. On définit ainsi automatiquement une échelle basée sur les valeurs extrêmes, ce qui permet d'obtenir à l'écran une lisibilité optimale tant pour le patient que pour le thérapeute.

Dans le calibrage manuel, le patient choisit lui-même une plage de valeurs dans laquelle devront se situer les courbes d'enregistrement. Dans l'amortissement, le thérapeute a la faculté de choisir un niveau de lissage parmi cinq des courbes affichées. On peut ainsi intégrer une secousse musculaire de 150-200  $\mu$ s. La combinaison stimulation + biofeedback est possible. On enchaîne d'une façon automatique des séquences de stimulation avec des séquences de biofeedback. La mémorisation de la séance a lieu sur une fiche informatisée enregistrant toutes les courbes de biofeedback au cours d'une séance. Cette pratique permet des contrôles comparatifs et une impression des résultats obtenus de séance à séance.

### **Indications thérapeutiques**

L'EMGBF présente de nombreuses indications thérapeutiques concernant les déficits neuro-musculaires et les états spastiques.

Sujet normal

Il s'agit de sujets ne présentant pas de lésions des nerfs périphériques, mais dont les muscles ont une diminution fonctionnelle. La commande fine et sélective a été démontrée par Basmajian dont les travaux ont montré la possibilité de commander la mise en activité d'une seule unité motrice. On peut ainsi commander l'activité d'un muscle normalement peu utilisé (abductor hallucis par exemple) ; De nombreuses situations aboutissent à des amyotrophies, sans lésions nerveuses (inaction, inhibition réflexe, immobilisation post-traumatique...). La commande volontaire du muscle ne fait contracter qu'un nombre limité de fibres musculaires. L'EMGBF augmente le recrutement des unités motrices et la mise en jeu d'un certain nombre d'entre elles qui étaient inopérantes au sein du pool de la corne ventrale ;

On peut différencier les réponses musculaires entre deux muscles ayant la même fonction et la même innervation. A titre d'exemple, le muscle quadriceps femoris présente en général une amyotrophie à la suite d'un traumatisme du genou ou d'une arthroscopie. On peut alors arriver à faire contracter individuellement et séparément le muscle vastus medianus et le muscle vastus lateralis.

Cette méthode permet l'apprentissage moteur chez des individus indemnes de lésion nerveuse ou musculaire.

## **Médecine du sport**

Cet effet sélectif musculaire est intéressant durant l'entraînement. La répétition du geste intégré au niveau central facilite la formation des engrammes somesthésiques et des mémoires synaptiques. Au cours de l'acte sportif, la réalisation de l'activité aura un temps de latence plus rapide et une efficacité plus grande. De plus, le sujet prend conscience de sa motilité et lui donne une plus grande confiance en lui-même.

## **Pathologie lombaire**

Les muscles paraspinaux jouent un grand rôle dans la pathologie lombaire. Les atteintes radiculaires, qu'elles soient frustrées et infra-cliniques, post-chirurgicales, mécaniques, arthrosiques ou bien inhérentes à une évolution normale (âge), ont des répercussions segmentaires sur la musculature paraspinale caractérisées par des signes de dénervation d'évolution lente et par des atteintes des fibres musculaires (constatations électromyographiques personnelles). Cela se traduit par une diminution de la force d'extension. Le placement judicieux des électrodes détectrices sur la musculature paraspinale L3-L4-L5 permet de faire travailler en extension un sujet allongé sur le ventre. Cette technique a de plus un effet bénéfique sur les douleurs lombaires chroniques. Un traitement plus général concernant les douleurs lombaires consiste à réaliser un double feedback. On utilise dans ce but deux paires d'électrodes. Deux sont placées symétriquement, à une distance respective de 3 cm de la ligne des épineuses au niveau L3 – L4 intéressant le muscle longissimus, et deux au niveau L4 – L5 intéressant les muscles multifidus et longissimus erector spinae. Le traitement a lieu :

- Au repos ;
- Durant une flexion antérieure ;
- Durant une flexion du tronc et au-delà ;
- Durant une extension du tronc à partir d'une flexion complète ;
- Durant une rotation à droite et à gauche alors que le patient est debout avec le bassin stabilisé.

Mais les douleurs lombaires (lumbago) sont en général associées à une contracture des muscles paraspinaux. L'EMGBF cherchera, au repos, à diminuer le seuil de l'hyperactivité électrique. Au cours des scolioses non neurogènes, on agira sur la musculature de la convexité.

## **Céphalées de tension**

Il s'agit d'une grande réussite de l'EMGBF au cours des états de stress et d'anxiété.

Il a été mis en évidence le fait que ces sujets présentent une hypertonie anormale des muscles frontaux. A l'aide de deux électrodes

fixées sur les muscles frontaux, on arrive à abaisser le tonus de repos, anormalement élevé, avec des résultats bénéfiques.

## **Paralysies faciales**

Dans la paralysie faciale idiopathique la phase aiguë dure 12 jours environ au cours desquels l'EMGBF n'a aucune utilité. Puis, durant le mois qui suit les fibres nerveuses qui étaient en état de bloc réversible vont se libérer. L'EMGBF n'a aucune utilité. Enfin, les fibres musculaires dénervées mettront 2 ou 3 mois pour être réinnervées. Dans ce dernier cas, l'EMGBF peut être instituée. Ce type de rééducation est plus logique que les nombreux massages prescrits dont on peut s'interroger sur l'efficacité, et que les traitements électriques, contre-indiqués à ce stade, qui risquent de conduire à l'hémispasme.

Si la récupération tarde, l'EMGBF trouve une indication majeure. En effet, il existe une perte relative de la somatotopie nucléaire qui peut conduire à des syncinésies et l'hémispasme. Il est nécessaire de fournir au patient une conscience analytique de sa paralysie. Dans ce but, on place une paire d'électrodes sur un muscle innervé par la branche temporo-faciale et une autre sur la branche cervico-faciale. On demande au patient de maintenir relâchée l'activité de l'une des branches lorsque l'on cherche à faire contracter les muscles de l'autre branche, et vice-versa.

Les rééducateurs ont l'habitude de demander au patient de contracter les muscles de la face devant un miroir, ce qui est une forme de feedback. Or, l'activité synchrone de la musculature de la face n'est pas indiquée. Il faut le faire d'une manière analytique à l'aide d'un petit miroir, de type laryngologique.

Les interventions au cours d'un neurinome de l'acoustique sont parfois suivies d'une paralysie faciale post-chirurgicale. Ce type de paralysie est en général de longue durée et peut aboutir à un hémispasme. L'EMGBF analytique est alors nettement indiqué. Lorsque le nerf facial est jugé irrécupérable, on effectue une anastomose avec un autre nerf, en général le nerf hypoglosse, réalisant une anastomose hypoglosso-faciale. C'est à dire que les centres cérébraux qui commandent la langue vont innerver les muscles faciaux de l'expression et de l'émotion. L'EMGBF va faciliter la formation de nouvelles voies motrices au niveau du tronc cérébral.

Nous avons indiqué plus haut l'intérêt de l'EMGBF pour éviter l'apparition de syncinésies, par suite de la perte provisoire de la somatotopie nucléaire. Mais dans les paralysies faciales graves, anciennes, ces syncinésies sont dues à des réinnervations aberrantes, anarchiques, le tronc facial réinnervant les muscles de la face sans respecter la topographie originale. Il s'agit d'une affection pour laquelle l'EMGBF doit être tentée, mais sans beaucoup d'illusion.

### **Spasmes et contractures musculaires**

La contracture ou le spasme musculaire est caractérisé par une hyperactivité électromyographique au repos, que l'origine soit centrale ou périphérique. Le traitement peut s'adresser à un seul muscle ou à une série de muscles. On débute par un muscle, avec des électrodes rapprochées, c'est à dire n'explorant qu'un volume-conducteur limité. Au repos, on apprécie le seuil d'hypertonie électrique musculaire. Le patient doit chercher à réduire ce seuil. Au fur et à mesure de l'amélioration et de la progression du traitement, on augmente la distance inter électrodes. En conséquence, le patient est incité à décontracter des masses musculaires de plus en plus importantes.

On peut de plus faire effectuer des contractions musculaires des muscles antagonistes aux muscles contracturés.

### **Transpositions musculo-tendineuses**

De telles interventions obligent un muscle à changer de fonction, tant en ce qui concerne sa commande nerveuse que la répartition des fibres musculaires, cette dernière dépendant de la cellule motrice de la corne ventrale. Si on ne considère pas ces problèmes, on risque d'aboutir à des fatigabilités anormales du muscle transplanté. Ces considérations s'adressent à différents muscles, dont la suppléance du sphincter anal par le muscle gracilis est un exemple parmi d'autres.

Le traitement EMGBF visant à corticaliser la nouvelle fonction du muscle peut être associé à un feedback du muscle controlatéral qui normalement assure la même fonction. On cherche à réaliser de nouveaux circuits centraux adaptant la commande motrice au but recherché.

### **Déficits locomoteurs**

La stabilité de la hanche fait appel à la contraction du muscle gluteus medius. (les électrodes sont placées juste au-dessous de la crête iliaque), et du muscle sartorius (les électrodes sont placées au-dessous de l'épine iliaque antéro-supérieure). L'entretien du contrôle postural est effectué par la commande des muscles antérieurs et postérieurs du tronc. Les électrodes postérieures sont placées sur la musculature paraspinale ; les électrodes antérieures sont fixées sur l'origine du muscle rectus abdominis, juste distalement à l'apophyse xiphôïde. L'espace inter électrodes est étroit, les électrodes sont placées parallèlement à la direction des fibres musculaires, latéralement à la ligne moyenne du muscle. On peut ainsi avoir des informations sur l'activité musculaire durant l'acte de s'asseoir ou de se maintenir debout.

### **Séquelles d'accidents vasculaires cérébraux ou de traumatismes médullaires**

Les conséquences sont complexes. C'est ainsi que les méthodes d'EMGBF seront appliquées :

Dans un but de facilitation des muscles hypotoniques ;

Pour effectuer une inhibition de l'hypertonie spasmodique ;

Pour l'entraînement à la marche.

Plus spécialement dans les séquelles d'hémiplégie, ces techniques sont particulièrement utiles en :

Luttant contre le steppage au moyen d'électrodes fixées sur le muscle tibialis anterior ;

Luttant contre la luxation éventuelle de l'épaule qui peut avoir des répercussions sur des éléments du plexus brachial, comme nous l'avons démontré par l'électromyographie.

Du point de vue théorique, on peut estimer que dans la plupart des atteintes centrales, il peut exister des voies nerveuses intactes ou des voies de suppléance qui n'étaient pas utilisées auparavant ou bien qui étaient normalement inhibées d'une manière physiologique. La détection d'un potentiel musculaire, même minime, rendu conscient par les techniques d'EMGBF, paraît suffire pour rendre fonctionnels des circuits qui étaient inopérants. Les centres cérébraux détectent ainsi une voie d'action possible, qui deviendra efficace du point de vue pratique par la répétition. Pour adopter un langage informatique, on cherche par des afférences musculo-visuelles à rendre "enabled" ce qui était "disabled".

Du point de vue pratique, on détecte par l'EMG 3 ou 4 muscles dont les valeurs électriques, même très discrètes, à la limite de l'enregistrable, sont visualisés sur le moniteur. Le sujet, qui n'a aucune perception d'activité musculaire, celle-ci étant infra-clinique, cherchera à atteindre différents seuils fixés par le thérapeute, sans porter son attention sur son membre paralysé.

### **Muscles respiratoires**

Les potentiels des muscles inspiratoires sont captés au niveau de 2e espace intercostal, à 2 cm latéralement au bord du sternum. Les potentiels du diaphragme sont captés au niveau des 8e ou 9e espace intercostal. Les électrodes sont distantes de 3 cm, l'une d'elles étant placée sur la ligne axillaire. Sur le même moniteur on peut visualiser conjointement l'activité respiratoire détectée par un thermistance (thermistor) placé devant la bouche ou bien par une ceinture munie d'une jauge de contrainte (strength gauge belt).

### **Bruxisme**

Il s'agit d'une affection caractérisée par une dysfonction du système temporo-mandibulaire dominé par une hypertonie des muscles masticateurs, principalement le muscle masséter. Il s'inscrit dans le cadre du syndrome de l'articulation temporo-mandibulaire (TMJ). Il s'accompagne d'un grincement périodique des dents, de prédominance nocturne, aboutissant à une érosion des dents. Il semble exister un cercle vicieux : hypertonie des muscles temporaux et masséters – érosions dentaires – malocclusion – hypertonie des masséters, le tout sur un fond d'anxiété et de stress. Les différentes explorations électromyographique que nous avons effectuées au niveau des masséters, ainsi que les enregistrements réflexologiques nous ont montré des hypertonies de repos survenant d'une manière aléatoire, analogues aux enregistrements de tétanie, et des dysfonctionnements du nerf trijumeau moteur.

Il importe de rompre le cercle vicieux, d'une part par des traitements orthodontiques, d'autre part par EMGBF en modalité de relaxation des masséters. Une électrode est placée sous l'arcade zygomatique en avant de l'articulation temporo-mandibulaire, l'autre électrode au niveau de l'insertion du muscle sur la mandibule.

### **Dysgraphies**

Nous considérons principalement ici la «crampe des écrivains» (dystonic writer's cramp).

Cette affection est caractérisée par une impossibilité presque soudaine d'écrire par suite d'un spasme des muscles de la main, pouvant s'étendre à l'avant-bras, au bras et même à l'articulation de l'épaule, accompagnée souvent d'un tremblement.

On peut utiliser l'EMGBF en cherchant la relaxation durant le spasme, ceci implique de fixer les électrodes avant l'exercice d'écriture, et de donner conscience des muscles antagonistes entre les périodes d'écriture.

### **Applications uro-gynécologiques**

De nombreuses formes d'incontinence urinaire sont liées à l'activité des sphincters anal et vésical ainsi que des muscles du plancher pelvien. Il s'agit d'un problème de caractère universel affectant plus de 30% des populations au-dessus de 60 ans et présentant un coût social important.

L'innervation motrice est dévolue au nerf pudendus. Le nerf pudendus peut être soumis à des agressions tout au long de son trajet, car un certain nombre de zones à risque se trouvent sur son passage. Partis de la substance grise médullaire S2-S4, les axones cheminent jusqu'aux muscles du plancher pelvien en suivant la voie des racines ventrales de la moelle, les nerfs rachidiens, la queue de cheval, les trous sacrés, le nerf anatomiquement parlant.

Des processus lésionnels peuvent jalonner cette longue route : traumatismes, compressions, atteintes vasculaires médullaires, processus dégénératifs lombo-sacrés, hernies discales, dysfonctionnements vasculaires, hyperlordose lombaire, émergence des trous sacrés, traversée de la pince constituée par le ligament sacro-épineux et le ligament sacro-tubéral dans le canal infra-piriforme, parcours du canal d'Alcock, conséquences obstétricales. C'est ainsi que le nerf peut être comprimé, étiré, enflammé ou subir l'effet nocif d'altérations générales, comme le diabète par exemple. De plus, la musculature innervée (muscles du plancher pelvien, sphincters striés urétral et anal) peut devenir déficitaire sous l'influence de l'âge ou des traumatismes musculaires obstétricaux.

Du point de vue pratique on dérive l'activité électrique :

Du sphincter urétral chez la femme, à l'aide d'une électrode vaginale ;

Du sphincter anal, à l'aide d'une électrode anale.

Du muscle levator ani.

Le traitement s'adresse aux vessies instables, aux incontinences urinaires d'effort, à l'insuffisance du muscle levator ani, à la préparation périnéale à l'accouchement et aux suites du post-partum. L'écran du moniteur visualise :

Une dérivation cutanée abdominale provenant de la partie inférieure droite de l'abdomen ;

Une dérivation intra-vaginale chez la femme ;

Une dérivation intra-rectale.

On fait effectuer des poussées abdominales de 10 secondes. Lors de ces alternances de contractions et de relâchements, on cherche à faire dissocier par le sujet la contraction musculaire des muscles grands droits qui doivent être détendus. Mais la rééducation EMGBF peut être limitée par certains facteurs :

Le traitement est le plus souvent effectué en décubitus, ce qui, en règle générale, ne correspond pas à la position usuelle d'une personne active ; Une personne allongée sur une table de traitement ne peut concentrer son attention sur le moniteur ; La position de l'électrode, les fils la reliant à l'appareillage, constituent une entrave à des conditions idéales d'examen.

Le problème a été résolu par :

La réalisation d'une sonde d'un modèle spécifique pouvant rester en place durant les activités de la patiente, debout, accroupie, marchant...

Une télétransmission du signal EMG pouvant aller jusqu'à plusieurs centaines de mètres. [Biofeedback téléométrique]. Un matériel d'EMG adapté à ce système.

Ce système permet d'aborder une réadaptation rendue d'autant plus efficace que la patiente peut effectuer son traitement habillée, dans des conditions naturelles, sous contrôle feedback simultané.

Les traitements uro-gynécologiques de l'incontinence par EMGBF sont associés avec avantage avec une électrothérapie spécifique excito-motrice. "Electrical stimulation has great potentials but is much undervalued. It is simple and nondestructive and can be used in different types on incontinence. Its essential advantages are a potential curative effect, very few side effects, and low cost."

### **Applications ano-rectales**

Le biofeedback s'adresse particulièrement aux patients qui souffrent d'incontinence ano-rectale ou de constipation terminale. En effet, dans les deux cas, le patient a perdu la fonction de contenir les selles et celle de déféquer normalement. Deux techniques peuvent être utilisées conjointement : la manométrie ano-rectale et l'EMGBF.

### **Manométrie ano-rectale**

La technique consiste à placer une sonde ano-rectale comportant 3 capteurs de pression (un intrarectal, un à la partie haute du canal, un troisième à la partie basse du canal anal) et un ballonnet dans le rectum).

Le patient doit :

- Visualiser les pressions de repos,
- Comprendre les défauts de celles-ci,
- Apprendre à les corriger.

Dans l'incontinence, le patient a perdu soit la fonction résistive de son sphincter (tonus abaissé), soit la fonction capacitive (défaut de contention). Hypotonie de la musculature périnéale et sphinctérienne

Perte de la fonction résistive de l'appareil sphinctérien :

On peut débiter par une électrostimulation excito-motrice afin d'obtenir un tonus minimum qui aidera à améliorer les performances futures.

Premier temps : travailler l'amplitude des contractions anales pour augmenter le tonus, pendant 10 secondes, avec 20 minutes de repos.

Deuxième temps : augmenter la durée de contraction une fois que l'amplitude se normalise.

Rééducation proprioceptive : par une insufflation d'air (minimum 30 cc), le patient coordonne la reconnaissance d'un volume intrarectal à la fermeture de son sphincter. Il essaiera ensuite de travailler avec des volumes de plus en plus petits.

### **Constipation terminale**

Il peut s'agir :

Soit d'une perte de la sensation consciente du besoin d'exonérer (augmentation du volume maximal qui peut être supérieur à 300 cc), soit absence de relâchement du sphincter externe. On effectue une rééducation proprioceptive en commençant par des grands volumes qu'on insuffle intrarectalement pour aboutir à un volume proche du volume de perception.

Soit d'une absence de relâchement du sphincter externe. Dans ce cas, le patient ne relâche pas son sphincter lors de la poussée abdominale. Par un travail séparé le patient apprend à faire la distinction entre la contraction abdominale et la contraction sphinctérienne. Puis à l'aide de l'insufflation du ballonnet intrarectal, il essaie d'initier le relâchement du sphincter au repos par des manœuvres de Valsalva. Enfin, il coordonne une poussée abdominale dirigée en relâchant le sphincter pour déféquer.

### **EMGBF**

La dérivation EMG de l'activité électrique du sphincter strié anal est rendue facile au moyen d'électrodes de surface à usage unique ou d'électrodes en forme de diabolos.

On peut ainsi visualiser :

Le tonus de repos. Son état normal, l'atonie ou l'hypertonie.

L'activité lors des efforts de contraction volontaire.

Suivant l'état pathologique, on cherchera à augmenter l'importance de la contraction volontaire, et inversement, la relaxation d'une hypertonie. Une aide électrothérapeutique excito-motrice peut être effectuée lors des déficits moteurs en déterminant la contraction électrique de levator ani par une électrode endovaginale, en dehors des phases de contraction volontaire.

### **Couplage électrostimulation – EMGBF**

Le couplage de l'EMGBF et de l'électrostimulation striomotrice présente en général une augmentation des capacités du simple EMGFB. Toutefois, la stimulation doit répondre à un certain nombre de critères : On fait appel à des courants téтанisants constitués d'impulsions de courte durée (0,1 ou 0,3 ms), à polarité compensée, d'une fréquence de 70 Hz environ, ou bien à des courants alternatifs de moyenne fréquence (2 500 ou 3 000Hz), modulés en basse-fréquence (50, 100 Hz).

Lors de l'établissement du train d'impulsions, celui-ci doit présenter une rampe afin de ne pas procurer au patient une perception brusque. Le train d'impulsions peut être automatiquement déclenché sous deux modalités :

Lorsque l'amplitude de la courbe EMG atteint un certain seuil fixé par le thérapeute un peu au-dessous de l'amplitude maximale que le sujet peut atteindre. Au lieu des valeurs EMG, on peut utiliser un goniomètre appréciant l'amplitude articulaire maximale durant la contraction volontaire.

Entre deux phases d'EMGBF. Non seulement la stimulation fixe l'attention du patient sur le muscle, mais elle a un effet de facilitation sur l'activité volontaire de la phase suivante.

L'intensité du courant de stimulation doit être choisie avec discernement par le thérapeute afin de ne pas dépasser les capacités musculaires du patient. D'autre part la durée de la stimulation doit être courte, de l'ordre de 5 secondes afin de ne pas fatiguer le muscle.

### **Diagnostic EMG**

L'EMGBF ne concerne pas uniquement le patient. L'EMG fournit au thérapeute des renseignements sur le fonctionnement musculaire qui dépassent nettement en précision les conclusions cliniques basées sur la palpation, les mesures empiriques de force ou les évaluations subjectives. Ayant une information immédiate et précise sur le fonctionnement des muscles agonistes et antagonistes, le thérapeute peut moduler le traitement d'une manière plus effective, qu'il peut adapter dans une latence de quelques millisecondes. De plus, la mise en mémoire des enregistrements de l'EMGBF, et son impression autorisent des renseignements comparatifs, nécessaires à une adaptation dynamique des schèmes thérapeutiques.

Enfin, de tels enregistrements permettent aux organismes sociaux qui prennent en charge le patient de porter un jugement sur la réussite du traitement.

### **Conclusion**

Passionnantes et révolutionnaires, les méthodes de biofeedback dépassent les conceptions classiques de la thérapeutique. En ce qui concerne le biofeedback-EMG, on peut rétablir la normalité des rétroactions internes du mouvement ainsi que les représentations de celui-ci, développer l'activité musculaire normale ou pathologique, provoquer la relaxation musculaire des muscles normalement hypertoniques. Les applications uro-gynécologiques et anorectales constituent une alternative thérapeutique dans les incontinences qui, rappelons le, constituent un facteur social important. Enfin, elle fournit au thérapeute un moyen précis et comparatif d'une fonction déterminée. Dans l'EMGBF, l'activité musculaire « on line » est quantifiée, retournée au patient, évaluée par le thérapeute. Une grande partie de la réussite dans la minutie qui doit guider la pose des capteurs, les connaissances du thérapeute et, actuellement, la sophistication du matériel.