



QU'EST-CE QUE LE NEUROFEEDBACK?: UNE MISE À JOUR

D. Corydon Hammond

Physical Medicine & Rehabilitation, University of Utah School of Medicine, Salt Lake City, Utah, USA -

INTRODUCTION

À la fin des années 1960 et 1970, nous avons appris qu'il était possible de re-conditionner et de modifier les ondes cérébrales (131; 229). Ces études ont débuté avec le renforcement des ondes alpha dans le but d'augmenter la relaxation, alors que d'autres travaux, provenant de l'Université de Californie à Los Angeles, étaient axés d'abord sur la recherche animale et humaine afin d'aider le patient atteint d'épilepsie non contrôlée. L'entraînement des ondes cérébrales est appelé biofeedback EEG ou neurofeedback. Avant d'entrer dans les détails, l'auteur passe en revue certaines des informations préliminaires sur l'activité cérébrale. Les ondes cérébrales se produisent à des fréquences différentes.

Certaines sont rapides et certaines sont assez lentes. Les noms classiques de ces bandes EEG sont delta, thêta, alpha, bêta et gamma. Elles sont mesurées en cycles par seconde ou Hertz (Hz). Les définitions suivantes, bien que manquant de rigueur scientifique, vont fournir au lecteur, en général, une certaine conception de l'activité associée à différentes bandes de fréquences.

Les ondes gamma sont une activité EEG très rapide, au-dessus 30Hz. Bien que des recherches supplémentaires sont nécessaires sur ces fréquences, nous savons que certaines parties de cette activité sont associées avec une attention/focus intense et aide le cerveau à traiter et lier des informations provenant de différentes zones du cerveau. Les ondes cérébrales bêta sont de plus petites ondes cérébrales, relativement rapides (ci-dessus 13-30Hz) associées à un état d'activité intellectuelle important et de focus ouvert. C'est essentiellement un état de vigilance. L'activité de la section inférieure de cette bande de fréquences (par exemple, le rythme sensorimoteur ou SMR 12-15 Hz) est associée avec une attention détendue. Les ondes cérébrales alpha (8-12Hz) sont plus lentes et plus larges. Elles sont généralement associées à un état de relaxation. L'activité dans la moitié inférieure de cette échelle représente la capacité du cerveau à passer d'un état à un autre, en étant détendu, légèrement désengagé et en attendant de répondre en cas de besoin. Si les gens ferment simplement les yeux et commencent à imaginer quelque chose de paisible, en moins d'une demi-minute, il commence à y avoir une augmentation d'ondes alpha. Ces ondes cérébrales sont particulièrement importantes dans le tiers arrière de la tête.

Le Thêta (4-8Hz) représente généralement un état d'esprit plus hypnagogique, associé à une inefficacité mentale. À des niveaux très lents, le thêta est un état très détendu, représentant la zone de repos profond, entre la veille et le sommeil. Les ondes cérébrales Delta (.5- 3,5 Hz) sont très lentes, de grande amplitude et sont présentes durant le sommeil profond et réparateur.

En général, les différents états de conscience sont associés avec les ondes cérébrales dominantes.

Il devrait être noté, cependant, que chacun de nous avons toujours une certaine quantité de chacune de ces ondes dans différentes parties de notre cerveau.

Les ondes Delta vont également se produire, par exemple, lorsqu'il y a une présence de troubles d'apprentissage. Si quelqu'un devient somnolent, il y a plus d'ondes lentes de type delta et thêta et, si les gens sont un peu inattentifs aux éléments extérieurs et que leur esprits erre, il y aura plus de présence d'ondes thêta. Si quelqu'un est exceptionnellement anxieux et tendu, une fréquence trop élevée d'onde bêta peut être présente dans les différentes parties du cerveau, mais dans d'autres cas, cela peut être associé à un excès d'activité d'alpha inefficace dans les zones frontales qui sont associées à la maîtrise des émotions.

Les personnes avec un déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA ou TDAH), une commotion cérébrale, un accident vasculaire cérébral, de l'épilepsie, des troubles du développement, un syndrome de fatigue chronique et de la fibromyalgie ont tendance à avoir une présence d'ondes lentes excessives (généralement thêta et parfois alpha).

Quand une quantité excessive d'ondes lentes est présente dans les parties frontales du cerveau, il devient difficile de contrôler l'attention, le comportement, et/ou les émotions. Ces personnes ont généralement des problèmes de concentration, de mémoire, de contrôle de leurs pulsions et humeurs et/ou d'hyperactivité. Ils ont des problèmes de focalisation et sont plus enclins à présenter une diminution de l'efficacité intellectuelle.

Comme le lecteur peut le constater, le fonctionnement du cerveau peut être bien complexe. La recherche (101) a constaté qu'il existe une hétérogénéité dans les modèles d'EEG associés aux différentes conditions de diagnostic tels

que TDA/TDAH, l'anxiété ou les troubles obsessionnels compulsifs.

Par exemple, la recherche scientifique a identifié **un minimum de trois grands sous-types de TDA/TDAH**, dont aucun ne peut être diagnostiqué seulement à partir d'une observation du comportement de la personne et dont chacun nécessite un protocole de traitement différent. L'image peut devenir encore plus compliquée par le fait qu'il y a parfois d'autres problèmes actuels de comorbidité et pas simplement un TDA/TDAH.

Par conséquent, **une évaluation appropriée est importante avant de commencer à faire du neurofeedback** afin de déterminer quelles fréquences EEG sont en excès ou inefficaces ou s'il y a des problèmes dans la vitesse de traitement ou de cohérence et ce dans quelles parties du cerveau.

Une évaluation adéquate permet un traitement individualisé et adapté au patient.

L'entraînement en Neurofeedback est une forme EEG du biofeedback. Pendant un entraînement typique, une ou plusieurs électrodes sont placées sur le cuir chevelu et une ou deux sont habituellement mises sur les oreilles. Ensuite, un équipement de haute technologie fournit, en temps réel, une rétroaction instantanée (habituellement auditive et visuelle) de votre activité cérébrale. Les électrodes permettent de mesurer les schémas électriques provenant du cerveau un peu comme un médecin qui écoute votre cœur à la surface de votre peau. Aucun courant électrique n'est envoyé dans votre cerveau. L'activité électrique de votre cerveau est simplement relayée à l'ordinateur et enregistrée.

Habituellement, les patients ne peuvent pas influencer de façon fiable leurs ondes cérébrales parce qu'ils n'en prennent que très peu conscience. Cependant, quand ils peuvent voir leurs ondes cérébrales sur un écran d'ordinateur en quelques millièmes de seconde après qu'ils se produisent, on leur

donne la capacité de les influencer et les changer progressivement. **Le mécanisme d'action est généralement considéré comme le conditionnement opérant.** Nous sommes littéralement en train de re-conditionner et réentraîner le cerveau. Au début, les changements sont de courte durée, mais deviennent progressivement plus durables, plus on les renforce. Avec un feedback continu, un coaching et la pratique, des schémas d'ondes cérébrales peuvent généralement être ré-entraînés chez la plupart des personnes. Comme cela est démontré plus loin dans l'article, la plupart des recherches suggèrent qu'une **amélioration significative semble se produire dans 75% à 80% du temps.** Le processus est un peu comme l'exercice ou la thérapie physique avec le cerveau, améliorant la flexibilité cognitive et le contrôle. Ainsi, si les symptômes proviennent d'un TDA/TDAH, d'un trouble d'apprentissage, d'un accident vasculaire cérébral, d'un traumatisme crânien, de déficits post neurochirurgie, d'une épilepsie non contrôlée, de dysfonctionnement cognitif associé au vieillissement, de dépression, d'anxiété, de troubles obsessionnels compulsifs, d'autisme ou d'autres conditions liées au cerveau, l'entraînement neurofeedback offre des possibilités supplémentaires afin de ré-entraîner directement des schémas électriques du cerveau. La chose la plus intéressante est que même pour les problèmes de nature biologique, il y a maintenant une autre alternative de traitement plutôt que la médication uniquement.

Le neurofeedback est également utilisé de plus en plus afin d'augmenter la performance optimale (Peak performance) chez des individus considérés comme "normaux" tel que des cadres d'entreprise ou des athlètes.

Il y a plus d'une décennie, Frank H. Duffy, MD, professeur et neurologue pédiatrique à Harvard Medical School, a déclaré dans le journal *Clinical Electroencephalography* que la littérature scientifique avait déjà suggéré que le neurofeedback "devrait jouer un rôle thérapeutique majeur dans de nombreuses sphères difficiles.

« À mon avis, si une médication avait démontré un tel spectre d'efficacité, il serait déjà universellement acceptée et largement utilisée (67). C'est un domaine qui devrait être pris sérieusement par tous » (p. Vii).

Beaucoup de recherches ont été publiées depuis cette époque. Cet article, écrit pour sensibiliser les professionnels et le grand public sur le champ du neurofeedback, donne un aperçu de cette littérature sans chercher à citer toutes les publications avec tous leurs détails méthodologiques.

L'ÉVALUATION INITIALE EN NEUROFEEDBACK

Certaines personnes souhaitent pouvoir tout simplement acheter leur propre équipement de neurofeedback et s'entraîner eux-mêmes ou leurs enfants. Tel qu'expliqué plus loin dans l'article, cela représente un danger potentiel ou cela sera inefficace. Pour être fait correctement, le neurofeedback doit être mené ou supervisé par quelqu'un possédant une expertise du fonctionnement cérébral et qui connaît beaucoup plus que simplement le fonctionnement du matériel et du logiciel. En effet, pour un entraînement efficace et exempt d'effets secondaires, il est d'une importance vitale d'effectuer un entraînement individualisé en suivant les schémas d'ondes cérébrales et les symptômes présents chez la personne. Tout le monde ne bénéficierait pas d'un entraînement aux mêmes endroits et la recherche a démontré que les ondes cérébrales d'une personne ne peuvent simplement pas être distinguées que par l'observation des symptômes comportementaux de la personne. Par conséquent, avant de débiter un entraînement en neurofeedback, les cliniciens autorisés voudront poser des questions sur l'histoire clinique du client ou patient. De temps en temps, dans les cas plus sérieux, ils peuvent suggérer ou faire des tests neuropsychologiques ou psychologiques. Les cliniciens compétents (103) procéderont également à une évaluation minutieuse et à l'examen des schémas d'ondes cérébrales. Certains praticiens peuvent faire

une évaluation en plaçant une ou deux électrodes sur le cuir chevelu et en mesurant les ondes cérébrales dans un nombre limité de domaines. D'autres cliniciens effectuent une évaluation plus complète en faisant **un** électroencéphalogramme quantitatif (EEGq) avec 19 ou plusieurs électrodes placées sur le cuir chevelu.

Un EEGq est un outil d'évaluation qui permet d'évaluer objectivement et scientifiquement les fonctions associées aux ondes cérébrales d'une personne. La procédure prend généralement environ 60 à 75 minutes et consiste à placer un casque ajusté sur la tête, qui contient de petites électrodes pour mesurer l'activité électrique provenant du cerveau. Cela se fait alors que le client se repose tranquillement avec ses yeux fermés, les yeux ouverts et parfois au cours d'une tâche. Par la suite, un processus minutieux de sélections est utilisé pour éliminer le plus possible les artefacts qui ont eu lieu lorsque qu'il y avait un clignement ou un mouvement des yeux, un mouvement du corps ou de tension dans la mâchoire, du cou ou du front. Les données, qui ont été recueillies, sont alors statistiquement comparées à une base de données normative complexe et vaste qui fournit des informations objectives sur la façon dont le cerveau devrait fonctionner à l'âge du client. Cette procédure d'évaluation permet au professionnel de déterminer ensuite de manière objective si les ondes cérébrales d'un client sont significativement différentes de la normale, et si oui, comment et où elles diffèrent.

Depuis les années 1970 et 1980, il y a eu un grand nombre de recherches avec l'EEGq et pour un large éventail de problèmes. Des preuves abondantes, résumées par Thatcher (247), ont vérifié la fiabilité de l'évaluation EEGq et des centaines d'études scientifiques ont été publiées en utilisant des évaluations EEGq. Ces études ont montré que l'EEGq avait la capacité d'aider à l'évaluation des conditions telles que le traumatisme cranio-cérébral léger (TC et commotions liées au sport), le TDA/TDAH, les troubles d'apprentissages, la dépression, les troubles obsessionnels

compulsifs, l'anxiété, le trouble panique, la toxicomanie, l'autisme, et une variété d'autres conditions (y compris la schizophrénie, accident vasculaire cérébral, l'épilepsie et la démence) (1; 2; 18; 41; 42; 111; 117; 124; 181; 247; 248). L'EEGq a même été en mesure de prédire les résultats du traitement des conditions telles qu'un TDA/TDAH (234), de l'alcoolisme et de la toxicomanie (19; 20; 194; 195; 277). L'American Psychological Association a également approuvé l'EEGq comme étant dans le champ de pratique des psychologues formés de manière appropriée et la Société internationale pour Neurofeedback et la recherche (ISNR) a de même approuvé son utilisation par des professionnels qualifiés en soins de santé, eux aussi formés de manière appropriée (94) et à créer des normes pour l'utilisation de l'EEGq en neurofeedback. Les personnes qui sont certifiées peuvent être identifiées soit par l'EEGq & Clinical Neuroscience Society (<http://www.Ecnsweb.com/provider-directory.html>) ou le Conseil de Certification électroencéphalographie quantitative (<http://www.qeegboard.org>).

L'ENTRAÎNEMENT EN NEUROFEEDBACK

Une fois que l'évaluation est terminée et que les objectifs de traitement ont été établis, une ou plusieurs électrodes sont placée(s) sur le cuir chevelu et une ou plusieurs sur les lobes d'oreilles pour les sessions. Le client regarde habituellement un écran d'ordinateur avec une vidéo et écoute une musique, parfois tout en faisant une tâche comme la lecture. Ces sessions d'entraînement sont conçues pour aider la personne à changer progressivement et ré-entraîner leurs schémas d'ondes cérébrales. Par exemple, certaines personnes peuvent avoir besoin d'apprendre à augmenter la vitesse ou la taille des ondes cérébrales dans des zones spécifiques du cerveau tandis que d'autres personnes ont besoin d'entraînement pour diminuer la vitesse et l'amplitude de leurs ondes cérébrales. Habituellement, les premières améliorations commencent à être visibles dans les **cinq premières à 10 séances. La durée du traitement peut être de 15 à 20**

séances pour l'anxiété ou l'insomnie. Avec d'autres conditions telles que le TDA/TDAH ou des troubles d'apprentissage, cela implique généralement 30 à 50 séances en fonction de la gravité du problème. Chaque séance dure environ 20 à 25 minutes une fois l'équipement positionné. Dans le traitement des conditions très complexes ou lorsque des troubles ou des diagnostics multiples sont présents, un clinicien ne peut pas toujours prévoir à l'avance combien de séances de traitement peuvent être nécessaires.

TYPES SPÉCIALISÉS DE NEUROFEEDBACK

Il y a aussi plusieurs formes innovantes de neurofeedback qui devrait être davantage considérées. Elles diffèrent toutes de l'entraînement traditionnel présenté, chacune à leur façon, mais sont tout autant des techniques fascinantes et innovatrices qui permettent de faire avancer la technologie.

L'entraînement des potentiels corticaux lents (SCP)

De façon plus technique, les potentiels corticaux lents sont les polarisations positives ou négatives de l'EEG dans la gamme de fréquence très lente à partir de 0.3Hz habituellement à environ 1,5 Hz. Ils peuvent être considérés comme la base de référence de courant continu sur laquelle voyage l'activité EEG. Il y a généralement un décalage négatif visible dans le courant continu pendant le traitement cognitif (pour créer des effets excitateurs des potentiels d'actions) et les potentiels corticaux lents positifs se produisent pendant l'inhibition des réseaux corticaux. Pendant et avant une crise d'épilepsie, par exemple, le cortex est électronégatif, et ce même genre d'hyper-excitabilité tend à être vu avant de nombreuses migraines. Après une crise, lorsque le cortex est fatigué, il a tendance à être électropositif. L'entraînement des potentiels corticaux lents a pu être réalisé (139; 140; 232), en particulier en Europe, pour des troubles tel que l'épilepsie ou le TDAH. Ce type de neurofeedback peut également être efficace pour le traitement des migraines (145). Dans cet entraînement, une électrode est placée dans le centre de la

partie supérieure de la tête et une derrière chaque oreille tandis que le client est axé sur la modification d'un affichage visuel de l'ordinateur (231).

Le neurofeedback Low Energy system (LENS)

Le système Low Energy Neurofeedback (LENS; 99; 152; 182) est une forme unique et passive de neurofeedback qui produit ses effets grâce à la rétroaction qui implique un minuscule domaine électromagnétique, qui ne dispose que d'une intensité de champ de 10^{-18} watts/cm². Cette rétroaction est si petite qu'il est l'équivalent de seulement 1/400 th de la force d'un input que nous recevons de la simple présence d'un téléphone cellulaire ordinaire à l'oreille et un output équivalent à une pile de montre. Il donne un intervalle de 1-s down electrode wires alors que le patient reste relativement immobile, souvent les yeux fermés. Cette rétroaction est ajustée 16 fois par seconde pour rester un certain nombre de cycles par seconde, plus rapide que la fréquence des ondes cérébrales dominantes. La plupart des recherches préliminaires et l'expérience clinique sont encourageantes compte tenu des articles publiés sur le traitement de LENS avec des conditions telles que les traumatismes cranio-cérébral (102; 216), la fibromyalgie (62; 179), la colère (100), le syndrome des jambes sans repos (Hammond, sous presse), le TDA/TDAH, l'anxiété, la dépression, l'insomnie et d'autres conditions (150; 151). Le LENS a même été utilisé dans le traitement de problème de comportement chez les animaux (152). Les avantages de l'approche LENS sont, entre autres, qu'il semble souvent produire des résultats plus rapidement que le neurofeedback traditionnel et il peut être utilisé avec de très jeunes enfants ou des individus moins motivés et qui n'ont pas de contrôle des impulsions ou d'endurance, nécessaire à d'autres approches de neurofeedback.

Hémoencephalographie

Il y a deux systèmes différents d'hémo-encephalographie (HEG) fournissant du feedback qui sont censés influencer la circulation sanguine cérébrale (257). Des recherches préliminaires constituées d'histoires de cas sur les applications HEG semblent encourageantes (39; 46; 68; 75; 172; 219; 258), surtout en ce qui concerne le traitement des migraines.

Entraînement en neurofeedback avec les Z-Score

L'entraînement en Z-score est la plus récente innovation et utilise généralement 2, 4 ou plusieurs électrodes sur la tête. L'enregistrement compare la façon dont le cerveau fonctionne sur différentes variables (par exemple, le pouvoir, les asymétries, le retard de phase, la cohérence) à une base de données normatives.

Le feedback est alors basé sur ces comparaisons statistiques à chaque moment avec des normes pour le groupe d'âge approximatif du patient. Comme avec d'autres méthodes de neurofeedback, l'entraînement est conçu afin de guider le cerveau vers un fonctionnement normalisé. Le feedback consiste souvent à l'observation d'un DVD où l'image devient sombre et est interrompue momentanément lorsque la personne ne fait pas comme désiré et devient plus clair et lumineuse lorsque son cerveau fonctionne selon la norme. À ce stade, la plupart des articles publiés sur cette approche sont des histoires de cas (47, 48, 49; 50; 51), à l'exception d'une nouvelle étude contrôlée montrant des résultats positifs avec l'insomnie (81). Par contre, ces résultats préliminaires, comprenant des résultats de l'ÉEGq avant et après traitement, sont très encourageants. En ce moment même, une extension de cette approche est devenue disponible en utilisant un casque avec 19 électrodes pour l'entraînement.

LORETA Neurofeedback

Le LORETA est une tomographie électromagnétique à basse résolution. C'est une sorte d'analyse EEGq qui fournit une estimation de la localisation des générateurs sous-jacents (par exemple, le cortex cingulaire antérieur, gyrus fusiforme) de l'activité EEG du patient à l'intérieur d'une bande de fréquence.

Des recherches très préliminaires (33; 35; 36; 52) ont été publiées sur cette approche. Elle nécessite plus de travail et un casque à 19 électrodes doit être appliqué à chaque séance. On croit que cette approche présente un bon potentiel d'amélioration des résultats dans les cas difficiles et/ou de raccourcir la durée du traitement et un rapport préliminaire (34) suggère que les changements peuvent être durables.

L'IRM fonctionnelle -Neurofeedback

L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) est un type très sophistiqué de neuroimagerie qui examine l'activation du cerveau afin d'évaluer le fonctionnement du cerveau (contrairement à l'IRM qui examine la structure du cerveau). Un avancement scientifique fascinant depuis les dernières années a été l'utilisation de l'IRMf pour le neurofeedback (38; 57; 58; 59; 88; 129; 208; 272; 273; 281). Un avantage du neurofeedback avec l'IRMf est qu'il peut examiner le fonctionnement dans les zones sous-corticales du cerveau. Cependant, le plus grand inconvénient pratique de l'IRMf neurofeedback est qu'il est incroyablement cher. L'équipement coûte environ 1 million de dollars ou plus ainsi que les dépenses liées à l'exploitation quotidienne d'un tel équipement. Cette approche ne semble pas être une approche clinique réaliste dans un avenir rapproché.

DOMAINES D'APPLICATION DU NEUROFEEDBACK: TDA/TDAH

Depuis la fin des années 1970, le neurofeedback a été testé et raffiné, en lien avec le TDA/TDAH et les troubles d'apprentissage. Le travail clinique effectué par Dr. Joel Lubar et ses collègues (161) à l'Université du Tennessee, entre autres, a démontré à maintes reprises qu'il est possible de ré-entraîner le cerveau. En fait, une étude, randomisée et contrôlée (157), documentée avec de la neuroimagerie IRMf démontrent des changements positifs dans le fonctionnement du cerveau chez les enfants atteints de TDAH qui reflétaient des changements de comportement après le traitement neurofeedback. Celle-ci ainsi que la prochaine recherche présentée fournissent un appui solide démontrant l'efficacité du neurofeedback dans le traitement TDA/TDAH. Considérant que les études avec suivi pour une médication sont de 3 semaines uniquement et que seulement quatre d'entre elles avaient des suivis à long terme de 14 mois ou plus, Lubar (161) a publié certains cas qui ont bénéficié d'un suivi de 10 ans et a constaté que, dans environ 80% des cas, le neurofeedback a pu améliorer grandement les symptômes de TDA et TDAH et que ces changements sont maintenus dans le temps. Rossiter et Lavaque (207) ont constaté que 20 séances de neurofeedback suffisent pour produire des améliorations sur l'attention et la concentration, comparables à la prise du Ritalin. Fuchs et al. (77) et Rossiter (206) ont également démontré que le neurofeedback produit des améliorations comparables à ce médicament. Drechsler et al. (65) ont démontré qu'un entraînement des potentiels corticaux lents (SCP) donnerait de meilleurs résultats qu'une thérapie de groupe avec les enfants TDAH. Le neurofeedback aurait aussi des meilleurs résultats comparativement au biofeedback avec un EMG selon une étude randomisée. (16). Lors d'une étude comprenant un groupe contrôle et un suivi de 1 an, Monastra, Monastra, et George (174) ont constaté que le neurofeedback produit des améliorations supérieures au Ritalin, permettant ainsi l'arrêt

de la médication. Dans une étude randomisée et contrôlée, Leins et al. (156) ont démontré que 30 sessions d'entraînement des potentiels corticaux lents (SCP) ou de neurofeedback traditionnelle étaient à la fois efficace pour la cognition, l'attention, le comportement et comporte des améliorations du QI, ce qui est resté stable 6 mois après le traitement.

Gevensleben et al. (81), dans une étude randomisée et contrôlée, a documenté la supériorité d'un entraînement en neurofeedback (taille d'effet=.60) par rapport à un entraînement informatisé des capacités d'attention (ce qui aurait des caractéristiques d'un placebo). Les améliorations comportementales et attentionnelles présentées ont été stables pendant les 6 mois de suivi dans les études de recherche rapportées par Strehl et al. (232) et Gevensleben et al. (79) et ce dernier a constaté que l'entraînement en neurofeedback produit des meilleurs résultats à un entraînement informatisé des capacités d'attention, de même que Holtmann et al. (121).

Deux études randomisées, en double aveugle avec des groupes placebos (56; 60) ont documenté l'efficacité du neurofeedback sur le TDAH. D'autres études récentes, randomisées et contrôlées (80; 280) devraient également nous permettre de dissiper les inquiétudes, celles-ci sont souvent relatives au fait que l'amélioration dues au neurofeedback reflète simplement les effets placebos non spécifiques. Ces études ont démontré des changements électrophysiologiques spécifiques au protocole utilisé, visibles à travers l'EEG et d'autres mesures sophistiqués reliées aux actions reproduisant certaines conclusions antérieures (114) et montrant les mécanismes neuronaux impliqués dans différentes techniques d'entraînement. Avec un suivi de 2 ans (78), la recherche de Heinrich a constaté que, non seulement les améliorations de l'attention et du comportement sont stables, mais aussi que certaines évaluations parentales avaient montré une amélioration continue au cours de ces deux années. Une amélioration continue sur 6 semaines et 12

semaines ont également été trouvées après la fin du traitement de LENS chez les adultes TDA/TDAH par De Niet (60) dans une étude randomisée comprenant un placebo, en double aveugle et contrôlée. Ainsi, des évaluations de suivi allant de 3 mois à 10 ans après le traitement (78; 114; 161; 174; 232) appuient solidement le fait que les améliorations du neurofeedback sur le TDA/TDAH devraient être durables, à moins bien sûr qu'un événement/comportement comme un traumatisme crânien ou l'abus de drogues viendraient à troubler le fonctionnement cérébral.

Une récente méta-analyse (6) a conclu que le traitement de neurofeedback sur le TDA/TDAH répond aux critères pour être classé comme un traitement efficace et spécifique - le plus haut niveau de la validation scientifique (154). En comparaison avec le neurofeedback, une méta-analyse (212) des études, contrôlées et randomisées sur le traitement médicamenteux pour un TDA/TDAH, a conclu que les études étaient de mauvaises qualités, avec un biais de publication élevé (ce qui signifie qu'une société pharmaceutique a financé les études et lorsque ces dernières échouent à soutenir l'efficacité de leurs produits, elles ont tendance à ne jamais être soumises pour publication) et souvent produit des effets secondaires. Ils ont en outre indiqué que les effets à long terme de la dite médication (au-delà de l'effet placebo) pendant plus d'une période de suivi de 4 semaines n'ont pu être démontrés.

Une récente révision exhaustive du traitement médicamenteux pour les TDA/TDAH (Drug Project efficacité de l'examen, 2005) a conclu qu'il n'y avait pas de preuve de l'innocuité à long terme des médicaments utilisés dans le traitement du TDA/TDAH et que les preuves de bonne qualité manquent, que le traitement médicamenteux améliore le rendement scolaire ou alors favorise les comportements à risque à long terme chez les enfants, les adolescents ou les adultes. Ces dernières conclusions ont

également été maintenues par Joughin et Zwi (130). La plus grande étude randomisée compare le traitement médicamenteux, " les soins communautaires de routine " (routine community care) et la thérapie comportementale. Les évaluateurs n'avaient pas de condition à l'aveugle, de biais, et la plupart des sujets de la communauté étaient également sous médication. À 14 mois de suivi (Cooperative Group MTA, 1999), tous les groupes ont montré des améliorations et les médicaments produisaient de meilleures améliorations sur l'attention et l'hyperactivité (uniquement selon les évaluations des parents), mais pas en ce qui concernait l'agression, les compétences sociales, les notes scolaires et/ou la relation parent-enfant. Les évaluations fournies par le seul évaluateur à l'aveugle (un observateur de la classe) n'ont cependant montré aucune différence entre les différents groupes et, selon le suivi après 3 ans (240), il n'y avait pas de différence dans les résultats entre les groupes. Ces dites conclusions ont été confirmées après un suivi de 8 ans (173). Des études (240) ont confirmé les différents effets secondaires de la médication comportant une perte d'appétit et un arrêt de croissance ainsi que d'autres effets secondaires tels que l'augmentation du rythme cardiaque et de la pression artérielle, l'insomnie, la perte de la réactivité émotionnelle, des étourdissements et maux de tête et d'estomac. Dans l'étude MTA, 64% des enfants ont rapporté des effets secondaires dont 11% d'entre eux modéré à sévère et 3% sévère. Les effets secondaires associés aux médicaments TDA/TDAH sont également si communs que moins de 50% des enfants maintiennent les doses prescrites pendant plus de 6 mois (115).

À la lumière de ces conclusions, le neurofeedback semble bien validé, offrant un traitement alternatif relativement sans effet secondaire et non invasif pour le TDA/TDAH. À long terme, il est également très rentable. Certaines personnes se disent préoccupés par le coût de neurofeedback, étant supérieur à la dépense impliquée pour une médication. La

recherche démontre, cependant, que les coûts associés à la médication sont en fait très importants.

Par exemple, une étude (166) sur six médicaments différents pour le traitement du TDA/TDAH nous a permis de constater que le coût moyen par patient d'âge scolaire était de 1678 \$ chaque année. Une autre étude (241) a examiné les coûts des soins de santé dans plus de 100.000 familles. Ils ont constaté que dans les familles où un membre avait un TDAH, les coûts directs de dépense pour les soins de santé ainsi que les coûts indirects (tels que la perte de travail) revenaient en moyenne à 1288 \$ par an de plus que les autres membres de la famille (n'ayant pas été diagnostiqués comme ayant un TDA/TDAH). Cela signifie que le coût des médicaments présenté, combiné avec les coûts indirects chaque année pour une famille avec deux enfants, dont l'un avait le TDAH, serait de 5542 \$.

Le Neurofeedback pour les TDA/TDAH est communément associé à une diminution de l'impulsivité / hyperactivité, une stabilité accrue de l'humeur, une amélioration du sommeil, une augmentation de la durée de l'attention et de la concentration, une meilleure performance académique, une augmentation de la rétention et de la mémoire et un taux beaucoup plus faible d'effets secondaires. **Il est fascinant de constater que des études sur les difficultés d'apprentissage ayant évalué le QI avant et après le traitement ont généralement trouvé des augmentations du QI subséquent au neurofeedback.** Ces améliorations ont varié d'une moyenne de 9 points de QI dans une étude (159), à une amélioration moyenne de 12 points dans une étude de L. Thompson et Thompson (249), à une moyenne de 19 points dans une autre étude (246) et même jusqu'à une augmentation moyenne de 23 points du QI dans une étude réalisée par Othmer, Othmer, et Kaiser (185).

DIFFICULTÉS D'APPRENTISSAGE ET TROUBLES DU DÉVELOPPEMENT

En ce qui concerne les troubles d'apprentissage, Fernandez et al. (72) ont démontré dans une étude contrôlée par placebo que le neurofeedback est un traitement efficace ayant des améliorations continues sur 2 ans de suivi (23). Un rapport supplémentaire par Fernandez (73) sur 16 enfants atteints de troubles d'apprentissage a documenté un changement visible sur l'EEG 2 mois après le neurofeedback, par rapport à un groupe témoin placebo où il n'y avait pas de modification de l'EEG. 10 des 11 enfants dans le groupe de neurofeedback ont montré des changements objectifs dans le rendement scolaire comparativement à un sur cinq enfants dans le groupe placebo.

D'autres articles ont également été publiés sur l'intérêt du neurofeedback chez les personnes ayant des troubles d'apprentissage (184; 245; 253). Une étude randomisée et contrôlée avec des enfants atteints de dyslexie (29) a documenté l'amélioration significative de l'orthographe et Walker (266; 270) a constaté des progrès significatifs dans la capacité de lecture dans 41 cas de dyslexie. Dans les 12 premiers cas analysés par Walker (270), après 30 à 35 séances, tous les enfants s'étaient améliorés d'au moins de deux niveaux dans leur capacité de lecture. Barnea, Rassis et Zaidel (17) ont identifiés des améliorations **dans la capacité de lecture des enfants avec des troubles d'apprentissage après seulement 20 séances.**

Bien qu'une recherche avec groupe contrôle n'ait pas été faite, Surmeli et Ertem (235) ont évalué que le neurofeedback pourrait être utile chez les enfants trisomiques. Tous les huit enfants qui ont terminé après 60 séances (un enfant a abandonné après seulement huit) ont montré une amélioration significative de leurs capacités d'attention, de concentration et d'impulsivité, présentaient moins de problèmes de comportement, de la parole et de vocabulaire et possédaient une différence dans les mesures EEGq avant/

après traitement. Surmeli et Ertem (237) ont traités 23 enfants diagnostiqués avec un retard mental léger à modéré avec 80 à 160 séances de neurofeedback. 22 des 23 ont montré une amélioration clinique sur le Developmental Behaviour Checklist, et 19 des 23 ont montré une amélioration sur le Wechsler Intelligence Scale for Children (WISC – échelle de QI) et un test d'attention informatisé.

L'AMÉLIORATION DES CAPACITÉS COGNITIVES ET DE MÉMOIRE

Le Neurofeedback a aussi permis de documenter des résultats de recherche qui démontrent les résultats d'amélioration cognitive et de la mémoire chez des individus normaux (4; 27; 69; 71; 76; 85; 110; 116; 133; 200; 263; 282). L'utilisation du Neurofeedback afin d'améliorer le fonctionnement cognitif **et contrer les effets du vieillissement** a été dénommée "brainbrightening" (30). Ros, Munneke, Ruge, Gruzelier et Rothwell (204) ont produit des preuves que le neurofeedback avec des personnes dites "normales" peut améliorer la neuroplasticité.

L'ÉPILEPSIE IN CONTRÔLÉE

Le traitement médicamenteux de l'épilepsie est un succès seulement chez deux tiers des patients, permettant de contrôler complètement les crises chez ceux-ci (125) et l'utilisation à long terme de nombreux médicaments anti-épileptiques peuvent avoir des risques pour la santé. Lorsque le traitement médicamenteux ne réussit pas, la neurochirurgie est souvent recommandée, mais le succès est limité (278). En outre, de nombreux patients atteints d'épilepsie sont également des femmes qui souhaitent avoir des enfants, mais qui craignent les effets des médicaments sur le fœtus. Par conséquent, une alternative de traitement autre que les médicaments et la chirurgie serait souhaitable. La recherche a montré que, lorsque le médicament est

insuffisant pour contrôler la survenue de crises, le neurofeedback peut offrir une modalité supplémentaire ayant le potentiel d'aider à contrôler les crises, permettant aussi la réduction des doses de médicaments galéniques et aidant à éviter la chirurgie invasive du cerveau.

La recherche dans ce domaine, commencée au début des années 1970, est approfondie, rigoureuse et comprend des groupes en aveugle, placebo et cross-over (examinés dans Serman (227) et dans une méta-analyse par Tan et al. (242)). Les échantillons des études, qui ont été faites, sont généralement constitués des patients les plus sévères, hors de contrôle et résistants aux médicaments. Cependant, même dans ce groupe de patients les plus atteints, la recherche a révélé que le neurofeedback produit en moyenne une réduction de 70% des crises. Dans ces cas sévères d'épilepsie médicalement intraitables, le neurofeedback a été en mesure de faciliter la maîtrise des crises chez 82% des patients, réduisant souvent le niveau de médicament nécessaire, ce qui peut être très positif compte tenu des effets négatifs à long terme de certains médicaments. Beaucoup de patients, cependant, peuvent encore avoir besoin de rester à un certain niveau de médicament suite au neurofeedback.

Plus récemment, Walker et Kozlowski (269) ont rapporté 10 cas consécutifs et 90% étaient sans crises après le neurofeedback, bien que seulement 20% d'entre eux ont pu cesser de prendre des médicaments. Dans un autre groupe de 25 patients épileptiques non contrôlés (265), tous sont devenus exempts de crises (100%) et 76% ne nécessitaient plus d'anticonvulsivants pour le contrôle des crises selon un suivi moyennant 5,1 années. Walker (267) a rapporté une vingtaine de patients supplémentaires présentant une épilepsie réfractaire, dont 18 étaient exempts de crise suite au neurofeedback, tandis que les deux autres ont continué à avoir des crises occasionnelles. Deux des 18 patients ont maintenu la prise d'un anticonvulsivant par la suite. La durée moyenne de suivi dans ces cas était de 4 ans. Dans ce même rapport, Walker a indiqué qu'il avait vu neuf femmes qui

souhaitaient arrêter de prendre des anticonvulsivants afin devenir enceinte et toutes sont restées sans crise pendant environ 6 ans.

TBI (lésion cérébrale traumatiques) et AVC (accident vasculaire cérébral)

Les traumatismes crâniens et les blessures à la tête qui causent des troubles émotionnels, cognitifs, des maladies et des problèmes de comportement sont le résultat de beaucoup d'événements tel que les accidents de véhicules, la guerre (260), et des sports (170; 171), y compris le football (2), soccer (261), et la boxe (205).

Les études sur les résultats du neurofeedback sur les traumatismes crâniens fermés et ouverts ont été publiées (9; 10; 13; 27; 28; 32; 98; 99; 102; 118; 119; 120; 134; 146; 216; 252; 255), ainsi que sur les accidents vasculaire cérébral (8; 11; 12; 13; 21; 37; 63; 197; 210; 264; 276), mais des recherches de haute qualité doivent être réalisées. Un article (99) a signalé un cas de modérée de traumatisme crânien traitée avec le LENS, ce qui a entraîné le renversement complet d'anosmie post-traumatique (perte totale de l'odorat) d'une durée de 9 ½ ans, qui était auparavant inconnu, tel que les améliorations cliniques significatives post-commotion cérébrale.

Une analyse d'une récente recherche (254) suggère notamment que le neurofeedback serait supérieur aux stratégies de réadaptation neurocognitive et un traitement médicamenteux dans la réhabilitation des TBI.

Traditionnellement, les médecins et médecins en réadaptation affirment que les patients atteints de lésions de la tête qu'un an et demi après un TCC (traumatisme craniocérébral) ne peuvent pas espérer voir une amélioration et doivent simplement s'adapter à leurs déficits. L'expérience clinique et de recherche indiquent clairement que jusqu'ici le neurofeedback peut souvent produire des améliorations significatives, même plusieurs années après une blessure à la tête.

L'accumulation de preuves indique que le neurofeedback offre un traitement supplémentaire précieux dans la réhabilitation de blessures à la tête et **chez les athlètes qui ont subi des commotions cérébrales.**

L'ALCOOLISME ET LES TOXICOMANIES

L'investigation à partir des EEG chez des alcooliques (et les enfants d'alcooliques) ont démontré que, même après de longues périodes d'abstinence, ils ont souvent des niveaux inférieurs d'alpha et thêta, et un excès de l'activité du haut bêta. Ceci suggère que les alcooliques et leurs enfants ont tendance à être "câblés" différemment des autres personnes ce qui rend difficile pour eux de se détendre. Après une consommation d'alcool, cependant, les niveaux d'alpha et thêta augmentent. Ainsi, les personnes ayant une prédisposition biologique à développer l'alcoolisme (et leurs enfants) sont particulièrement vulnérables aux effets de l'alcool parce que, sans le savoir, les alcooliques semblent essayer l'automédication dans un effort pour traiter leur propre pathologie du cerveau. L'état de détente qui se produit après la consommation d'alcool est fortement renforcé par leur mode d'activité cérébrale sous-jacent. Plusieurs études montrent maintenant que le meilleur prédicteur de la récurrence est la quantité de bêta excessif qui est présent chez les alcooliques et les cocaïnomanes (19; 20; 194; 195; 277).

Récemment, l'entraînement en neurofeedback chez les alcooliques dans le but de réduire le stress et d'encourager les états de détente profonde à travers l'augmentation d'alpha et de thêta et la réduction du haut bêta a démontré un potentiel prometteur en tant que complément au traitement de l'alcoolisme. Peniston et Kulkosky (188) ont utilisé un tel entraînement dans une étude avec des alcooliques chroniques par rapport à un groupe témoin non alcoolique et un groupe contrôle d'alcooliques recevant un traitement traditionnel. Les alcooliques recevant 30 sessions d'entraînement en neurofeedback ont démontré des augmentations significatives dans les pourcentages d'alpha et de thêta, et

l'augmentation des amplitudes de rythme alpha dans leur EEG. Le groupe de neurofeedback a également démontré de fortes réductions de la dépression par rapport aux groupes témoins. Les alcooliques dans le traitement standard (traditionnel) ont montré une élévation significative des niveaux de sérum bêta-endorphine (un indice de stress et un stimulant d'apport calorique [par exemple l'éthanol]), alors que ceux avec l'entraînement en neurofeedback ajouté à leur traitement n'ont pas montré cette augmentation des niveaux de bêta-endorphine. Sur 4 ans de suivi (189), seulement 20% du groupe traité traditionnellement des alcooliques sont restés sobres, comparativement à 80% du groupe expérimental ayant reçu un entraînement en neurofeedback. En outre, le groupe expérimental a montré une amélioration dans l'adaptation psychologique sur 13 échelles de Millon Clinical Multiaxial Inventaire par rapport aux alcooliques traités traditionnellement, qui ont montré une hausse dans seulement deux échelles et se sont détériorés dans une autre. Sur l'inventaire de personnalité 16-PF, le groupe d'entraînement en neurofeedback a démontré une amélioration sur sept échelles, par rapport à une seule échelle dans le groupe de traitement traditionnel. Des résultats positifs similaires avec 92% de sobriété sur 21 mois de suivi ont été rapportés par Saxby et Peniston (211) chez 14 alcooliques dépressifs, et des résultats encourageants ont été signalés sur 3 ans suivis dans un programme de traitement chez les autochtones(135).

Scott, Kaiser, Othmer, et Sideroff (218) a mené une étude randomisée et contrôlée avec 121 personnes dans un programme d'abus de substances en milieu hospitalier. Les patients ont reçu 40 à 50 séances de traitement. Les personnes qui avaient du neurofeedback ajouté à leur traitement sont restées dans la thérapie significativement plus longtemps, un facteur important dans le traitement de la toxicomanie. Sur 1 an de suivi, 77% des patients recevant le neurofeedback sont restés sobres, contre seulement 44% des patients de traitement traditionnel. Des différences

significatives ont été trouvées dans les mesures d'attention et dans les sept échelles du Minnesota Multiphasic Personality Inventory-2 par rapport à une amélioration d'une seule échelle chez ceux recevant le traitement traditionnel. Les résultats d'un programme de traitement similaire (31) avec 270 sans-abri toxicomanes consommant du crack ont montré que l'ajout du neurofeedback à un traitement a plus que triplé la durée du séjour dans le centre de récupération. Sur 1 an de suivi, des 94 patients qui ont terminé le traitement, 95,7% avaient maintenant une résidence, 93,6% avaient un emploi ou étaient à l'école, 88,3% n'ont plus eu d'arrestations et 53,2% étaient sobres d'alcool et de drogue pendant cette année tandis qu'un autre 23,4% avaient consommé de l'alcool ou des drogues, de une à trois reprises, corroborées par l'analyse d'urine. Arani, Rostami, et Nostratabadi (2010) ont comparé les résultats de 30 séances de neurofeedback chez des patients dépendants aux opiacés qui suivent un traitement sans vivre dans un centre (traitement à la méthadone ou Buprenorphine), comparativement à un groupe témoin qui a reçu un traitement seul. Les patients recevant du neurofeedback ont montré beaucoup plus d'amélioration de la mesure des résultats (par exemple de l'hypocondrie, l'obsession, la sensibilité interpersonnelle, l'agression, la psychose, la prévision de résultat positif et le désir d'utiliser des médicaments) et sur les QEEGs. Des recherches préliminaires (122) ont suggéré que le neurofeedback peut également avoir le potentiel de réduire les envies de consommer de la drogue chez les cocaïnomanes.

Les données examinées valident l'immense potentiel du neurofeedback, étant susceptibles de doubler, voire tripler les résultats du traitement de l'alcoolisme et de la toxicomanie, lorsqu'il est ajouté à un programme de traitement complet (224). Il peut donc présenter un réel potentiel, non seulement comme traitement, mais aussi par l'amélioration de certains dommages graves au cerveau qui se sont produits à travers l'abus de drogues (par 1; 194; 233).

PERSONALITÉ ANTISOCIALE ET JUSTICE PÉNALE

Quirk (198) ont rapporté une réduction du taux de récurrence en utilisant une combinaison de neurofeedback et de biofeedback de réponse galvanique de la peau. Smith et Sams (223) ont montré des améliorations sur l'attention et le comportement d'un groupe de jeunes délinquants. Une étude dans le projet Boys Totem Town chez sept criminels juvéniles (167) dénote des améliorations sur une variété de mesures. Plus récemment, Surmeli et Ertem (236) ont présenté une série de 13 patients qui ont reçu de 80 à 100 séances de neurofeedback. Les résultats ont été mesurés avec l'inventaire de personnalité multiphasique du Minnesota, un test d'attention, les résultats EEG et des entrevues avec des membres de la famille. Douze des 13 patients ont démontré une amélioration significative qui a été maintenue pendant le suivi de 2 ans. La surreprésentation de troubles d'apprentissage, de TDAH, de traumatismes crâniens, d'abus à l'enfance, d'alcoolisme et de toxicomanie chez une population de délinquants incarcérés (274; 275) ; d'alcoolisme et toxicomanie dans la violence domestique (158) suggèrent un potentiel considérable d'utilisation du neurofeedback, en particulier étant donné les taux élevés de récurrence, qui démontre l'efficacité limitée des psychothérapies traditionnelles et du traitement pharmacologique. Ce serait un autre domaine encourageant afin de poursuivre les recherches.

TROUBLE DE STRESS POST-TRAUMATIQUE

Peniston et Kulkosky (190) ont ajouté trente séances de 30 minutes d'entraînement d'alpha/thêta au traitement traditionnel donné à l'hôpital fourni à un groupe d'anciens combattants du Vietnam ayant un syndrome de stress post-traumatique, puis ils l'ont comparé à 30 mois post-traitement avec un groupe contrôle qui a reçu seulement le traitement traditionnel. Durant les suivis, l'ensemble des 14 patients du

traitement traditionnel avait rechuté et a été réadmis, alors que seulement trois des 15 patients suivis en neurofeedback avaient rechuté. Bien que tous les 14 patients, qui étaient sur médication et suivis en neurofeedback, avaient diminué leur médication lors des suivis, un seul patient, parmi les patients recevant le traitement traditionnel, a diminué sa médication, deux n'ont signalé aucun changement et 10 ont requis une augmentation. Sur l'inventaire de personnalité multiphasique du Minnesota, les patients du groupe avec neurofeedback avaient amélioré significativement sur toutes les 10 échelles cliniques de façon spectaculaire pour un grand nombre -, alors qu'il y avait aucune amélioration significative sur les mêmes dans le groupe de traitement traditionnel. Une étude (123) a également rapporté des améliorations positives chez 20 enfants adoptés ayant des antécédents d'abus et/ou de négligence. Des améliorations ont été notées dans l'extériorisation et l'intériorisation des problèmes personnels, des problèmes sociaux, des comportements agressifs et délinquants, anxieux/dépression, les problèmes de pensées et les problèmes d'attention. Le neurofeedback semble très prometteur chez les gens ayant un trouble de stress post-traumatique, mais la recherche le corroborant est, tout de même, davantage nécessaire.

L'AUTISME ET LE SYNDROME D'ASPERGER

Il y a une quantité assez significative de recherche qui est apparue sur l'utilisation du neurofeedback pour l'autisme et le syndrome d'Asperger (44; 45; 127; 138; 141; 142; 143; 192; 193; 217; 220).

L. Thompson, Thompson, et Reid (250) ont rapporté une série de 150 patients atteints du syndrome d'Asperger et neuf patients atteints de troubles du spectre autistique qui ont reçu 40 à 60 séances, souvent associé avec du biofeedback. Ils ont constaté des améliorations statistiquement très significatives dans les mesures de l'attention auditive et visuelle, de l'impulsivité, dans la lecture, l'orthographe, l'arithmétique, visible sur l'EEG, ainsi qu'un gain moyen de 9

points sur l'échelle de QI. Certaines des études contenaient un groupe contrôle. L'une d'entre elles a également été contrôlée à l'aide d'un groupe placebo (193), d'autres avec un suivi après 6 mois (143) et 1 an (141) afin de documenter l'évolution des résultats positifs. Une revue du neurofeedback quant au spectre autistique, qui comprend un examen des documents inédits présentés comme des réunions de scientifiques, a été publié par Coben, Linden, et Myers (44). Dans une étude non encore publiée citée par les auteurs, utilisant le neurofeedback et l'HEG, Coben a vu une réduction de 42% des symptômes autistiques globaux, y compris une diminution de 55% dans les déficits d'interaction sociale, en plus des améliorations de la communication et dans les contacts interpersonnels de 55% et 52% respectivement. Dans l'ensemble, le neurofeedback est soutenu positivement par la recherche comme un traitement bénéfique des problèmes du spectre autistique avec des changements positifs dans le fonctionnement du cerveau, de l'attention, du QI, de l'impulsivité et chez l'évaluation des parents sur d'autres problématiques comportementales tels que la communication, les comportements stéréotypés et répétitifs, les interactions sociales réciproques et de la sociabilité. Bien que le neurofeedback ne soit certainement pas un remède à ces conditions, il semble produire généralement des améliorations significatives chez ces conditions chroniques.

ANXIÉTÉ ET DÉPRESSION

Une recherche préliminaire encourageante a été publiée sur l'efficacité du neurofeedback pour traiter l'anxiété à l'aide de 10 études contrôlées identifiées (97; 177). Parmi elles, huit études de l'anxiété ont été examinées et sept ont trouvé des changements positifs. Une autre étude (187) a présenté l'utilisation d'uniquement 10 heures de neurofeedback avec des alcooliques anxieux et constaté des améliorations très significatives dans leur état et par rapport à leur anxiété en comparaison au groupe de contrôle, avec des résultats soutenus sur 18 mois de suivi. Une étude contrôlée

randomisée à l'aveugle (69) a été faite pour de l'anxiété de performance au London's Royal College of Music. Ils ont évalué la capacité de l'entraînement en alpha/thêta afin d'améliorer la performance musicale des musiciens de haut niveau lorsqu'ils jouaient dans des conditions stressantes ou lors d'évaluation de leur performance. En comparaison avec les groupes ayant des traitements alternatifs (l'exercice physique, l'entraînement des compétences mentales, la technique d'Alexander et deux autres protocoles de neurofeedback sur l'amélioration de la concentration), seul le groupe de neurofeedback entraîné en alpha/thêta a abouti à une amélioration de la performance musicale réelle en situation de stress. D'autres études similaires randomisées et contrôlées sur la réduction de l'anxiété de performance ont été menées sur les performances musicales (69), les spectacles de danse sociales (202), et la performance en chant (137; 155). Dans une étude randomisée et contrôlée via placebo chez des étudiants en médecine (202), le neurofeedback a pu améliorer l'humeur, la confiance et le sentiment d'avoir de l'énergie.

L'entraînement en neurofeedback a également pu démontrer une amélioration des symptômes de la dépression à l'aide de mesures objectives (15; 91; 96; 105). Le degré auquel les patients déprimés ont pu normaliser leur activité EEG au cours du neurofeedback a été trouvé significatif en corrélation avec l'amélioration des symptômes dépressifs (186). Une étude contrôlée avec un groupe placebo et à l'aveugle (40) a démontré la supériorité du neurofeedback sur un traitement placebo afin de réduire les symptômes de dépression tout en améliorant les fonctions exécutives. Cependant, plus de recherches sont nécessaires sur l'utilisation de neurofeedback en lien avec la dépression.

L'INSOMNIE

Une étude randomisée et contrôlée (116) a démontré que seulement 10 séances de neurofeedback axées sur le renforcement du SMR ont abouti à une amélioration des fuseaux de sommeil et réduit la durée de l'endormissement.

Puisque la consolidation de la mémoire se produit durant le sommeil, cette étude a également documentée l'amélioration de la mémoire chez les sujets. Cette étude reproduit des conclusions de certaines études antérieures (24; 228). Hammer et al. (81) ont publié une étude contrôlée et randomisée en simple aveugle qui documente l'efficacité d'un entraînement de 20 sessions en Z-score comme traitement de l'insomnie. Le neurofeedback a également été démontré, à l'aide d'études ayant un groupe contrôle effectuées par Hauri, (112; 113) pour avoir des effets de longue durée avec les patients ayant de l'insomnie. Une récente étude randomisée et contrôlée (53) sur des patients avec de l'insomnie primaire a permis de trouver qu'une moyenne de 18 sessions d'entraînement en neurofeedback, effectuées à la maison grâce à internet, produit une amélioration significative du temps nécessaire pour s'endormir et une amélioration significative du temps de sommeil total mesuré dans un laboratoire du sommeil par rapport au groupe témoin. Même trois patients schizophrènes ou schizoaffectifs avec un sommeil perturbé ont démontré une amélioration de la qualité du sommeil en comparaison avec un groupe témoin (54).

MAUX DE TÊTE ET MIGRAINES

Walker (268) a fait un rapport sur 71 cas de migraines récurrentes ayant consulté un neurologue. Quarante-six des patients ont consenti au neurofeedback tandis que 25 ont choisi un traitement médicamenteux. Dans tous les cas, un excès de bêta était présent. Après 1 an de suivi, 54% du groupe neurofeedback a constaté un arrêt complet des migraines comparativement à aucun dans le groupe de traitement de médicaments. Aussi, dans le groupe de neurofeedback, 39% ont présenté une réduction de plus de 50% du nombre de migraine (contre 8% avec un traitement médicamenteux) et une réduction de moins de 50% n'a été trouvée que chez 4% des patients (par rapport à 20% avec un traitement médicamenteux). 68% du groupe avec traitement médicamenteux n'ont rapporté aucun changement dans la

fréquence des maux de tête, alors que seulement un patient (2%) recevant du neurofeedback n'a rapporté aucune réduction dans la fréquence. Siniatchkin, Hierundar, Kropp, Gerber, et Stephani (222) ont constaté une réduction significative du nombre de jour mensuel de migraine chez les enfants en entraînement des potentiels corticaux lents contre un groupe de contrôle sur la liste d'attente. Carmen (2004) a rapporté une amélioration de plus de 90% chez les personnes souffrant de migraine ayant complété au moins six séances d'entraînement en HEG. Pour Stokes et Lappin (230), 70% des patients ayant des migraines ont connu au moins une réduction de 50% de leur fréquence suite à un suivi de plus d'un an suite à une combinaison de 40 séances de neurofeedback et de HEG. Tansey (245) a publié quatre histoires de cas. Bien que les résultats soient encourageants, d'autres recherches contrôlées sont nécessaires.

L'amélioration des performances ou Peak Performance

Le neurofeedback est également utilisé dans l'entraînement des performances optimales (262). Par exemple, dans une étude randomisée, contrôlée et à l'aveugle (69), le neurofeedback a significativement amélioré la performance musicale et une étude de conception similaire (201) a documenté des améliorations significatives dans des spectacles de danse de salon. Ces résultats ont également été rapportés avec le golf (7), le tir à l'arc (148), l'amélioration des temps de réaction et les capacités visuospatiales (qui a un intérêt à la performance sportive; 64; 70), l'amélioration des performances de chant (137; 155), la performance d'acteur (87), et l'amélioration dans les tâches de surveillance visuelle (22).

Une étude fascinante (203) sur l'augmentation du SMR ou alpha et thêta chez des microchirurgiens ophtalmiques en formation, par rapport à ceux dans une liste d'attente (sans traitement). En seulement huit sessions de renforcement du SMR, les étudiants ont démontré des améliorations significatives dans

leurs compétences chirurgicales, une diminution de l'anxiété et une réduction de 26% du temps de travail chirurgical. Des recherches documentent des améliorations de la performance cognitive et la mémoire a déjà été examinée plus tôt. Le potentiel des applications du neurofeedback pour une performance optimale sera très fructueux pour de plus amples recherches.

AUTRES APPLICATIONS CLINIQUES DU NEUROFEEDBACK

Des rapports préliminaires ont également été publiés sur l'utilisation du neurofeedback **avec le syndrome de fatigue chronique (92; 243), de Gilles de la Tourette**, du trouble obsessionnel-compulsif (93; 94; 238), les tremblements dû au Parkinson (251), des acouphènes (55; 61; 82; 214; 271), la douleur (126; 128; 221), l'équilibre physique, la déglutition, bâillonnement et l'incontinence (95), les enfants ayant des antécédents de violence et de négligence ou de trouble de l'attachement (74; 123), la paralysie cérébrale (14), le syndrome des jambes sans repos et le trouble de mouvements périodiques des membres (104), des symptômes physiques et émotionnels associés au diabète de type I (176), des tremblements essentiels et les anomalies cognitives post-chimiothérapie (199; 213).

Des résultats mitigés ont été trouvés avec la fibromyalgie. En effet, un essai non-contrôlé (179), avec 30 patients atteints de fibromyalgie (en utilisant une version antérieure du LENS), a constaté des progrès significatifs sur l'humeur, la clarté d'esprit et le sommeil. C. C. S. Donaldson et al. (62) ont utilisé une version antérieure de LENS (et une petite quantité de biofeedback EMG) et ont rapporté une amélioration significative dans 77% des suivi à long terme des patients, mais encore une fois, ce fut une série de cas sans groupe contrôle. En revanche, ces résultats ne sont pas confirmés par Kravitz, Esty, Katz et Fawcett (144) dans une étude contrôlée par placebo et double aveugle et Nelson et al. (180) a constaté des améliorations au niveau de la douleur, de

la fatigue et pour les troubles cognitifs ainsi qu'une activité accrue en comparaison à un groupe contrôle placebo, mais les effets ne sont pas durables. D'autre part, Kayiran, Dursan, Dursun, Ermutlu et Karamursel (132), dans une étude à l'aveugle, randomisée et avec un groupe témoin, ont permis de comparer 20 séances de neurofeedback au traitement avec le Lexapro et ont constaté que les deux traitements ont produit des améliorations symptomatiques significatives, mais ceux-ci étaient significativement supérieurs dans le groupe de neurofeedback.

La recherche a montré qu'il est possible pour une population diagnostiquée avec la schizophrénie de faire du neurofeedback (83; 86; 215) et une étude clinique avec des schizophrènes chroniques (25; 53, 62; 239) fournit des encouragements concernant cette alternative de traitement supplémentaire ayant un bon potentiel.

PLUS DE RECHERCHES NÉCESSAIRES SUR L'EFFET PLACEBO

Malgré les études considérables citées dans cet article, il existe de nombreux domaines où la recherche de résultats mieux contrôlée serait encore nécessaire dans l'application du neurofeedback à diverses problématiques. Des études qui contrôlent l'effet placebo sont souvent considérées comme de plus haut niveau scientifiquement. **On peut supposer que les résultats positifs du neurofeedback sont dues à une combinaison de l'espérance d'effets (placebo) et des effets spécifiques du traitement (103; 191), puisque les effets placebo apparaissent comme étant un ingrédient actif dans pratiquement toutes les modalités thérapeutiques.** Nous savons, cependant, qu'il y a des améliorations très spécifiques qui sont possibles grâce au neurofeedback en raison de la multitude d'études contrôlées, mesurant l'effet placebo, ayant démontrées l'efficacité de façon significative. Ainsi, l'entraînement en neurofeedback va au-delà de l'effet placebo avec diverses

populations tel que les troubles d'apprentissages (202; 23; 72), le TDA/TDAH (56; 60; 202), l'anxiété, l'épilepsie (162), la latence du sommeil et l'apprentissage déclarative (116), l'amélioration cognitive chez les personnes âgées (4), l'autisme (193) et la dépression (40), même si une étude préliminaire n'a pas démontré de tels effets (149). Certes, les études animales (226; 152) suggèrent également que le neurofeedback a des effets thérapeutiques indépendants des effets placebo. Il ne serait pas possible que les chats aient moins de crises épileptiques simplement parce que l'expérimentateur met des électrodes sur leurs têtes. En dépit des études qui contrôlent l'effet placebo, certains chercheurs universitaires (160), les compagnies d'assurance et les partisans du traitement médicamenteux se sont plaints qu'il devrait y avoir plus de recherche contrôlée par placebo sur le neurofeedback, même si les responsables médicaux en éthique (3; 165; 209), les défenseurs du neurofeedback (153) et la Déclaration d'Helsinki (Association médicale mondiale, 2000) ont exprimé leur avis étant que le fait d'exiger d'autres études contrôlant l'effet placebo alors que le traitement en neurofeedback a déjà été démontré comme étant efficace ne serait pas éthique. Le bénéfice primaire des études contrôlant l'effet placebo est qu'ils clarifient les mécanismes d'action par lequel un traitement fonctionne, mais pas nécessaires pour déterminer l'efficacité d'un traitement (par exemple, le degré d'amélioration de l'attention et du comportement dans le TDA/TDAH en comparaison avec des médicaments stimulants).

Lorsque l'on considère la façon dont les traitements médicaux et psychiatriques communs sont validés en réalité, il est intéressant d'apprendre que seulement 11% des 2 711 recommandations de traitement en cardiologie médicale sont basées sur plusieurs études randomisées contrôlées (259) et seulement 41% sont basées sur des preuves d'un seul essai randomisé ou d'études non randomisées, tandis que 48% sont tout simplement basées sur " l'opinion d'experts " ou des études de cas. Un autre exemple : le public n'est

généralement pas au courant du fait que les études (136; 175) du traitement de médicamenteux de la dépression ont conclu qu'ils ne sont que modérément (18%) plus efficace qu'un placebo (et encore fréquemment associée à des effets secondaires et un syndrome de sevrage). En dépit de ces faits, les compagnies d'assurance acceptent un traitement médicamenteux pour la dépression et une grande proportion de traitements médicaux comme étant bien établis et efficaces. Ces faits ne signifient pas que davantage d'études sur les résultats du neurofeedback sont souhaitables et nécessaires, mais il crée une perspective importante qu'une grande partie de la pratique médicale et psychiatrique ne reposent pas sur des preuves scientifiques comme on le pense généralement.

Les effets indésirables et secondaires et l'entraînement à la maison

De légers effets secondaires peuvent parfois se produire lors d'un entraînement en neurofeedback. Par exemple, quelqu'un peut parfois se sentir fatigué, étourdi ou anxieux; un mal de tête; avoir de la difficulté à s'endormir; ou se sentir agité/irritable. Parfois, ces effets secondaires peuvent se produire après un entraînement trop long (168; 169; 183). Beaucoup de ces effets passent après un court laps de temps suite à l'entraînement. Si les clients en parlent à leur thérapeute, ils peuvent modifier les protocoles d'entraînement en conséquence et généralement éliminer rapidement ces effets secondaires bénins.

La sélection d'un praticien qualifié

Il est possible, cependant, que plus d'effets négatifs se produisent (107; 108; 256), si l'entraînement n'est pas effectué adéquatement ou supervisé par un thérapeute compétant et certifié ([http:// www.bcia.org](http://www.bcia.org)). Sans aucun doute, une approche "taille unique" n'étant pas adapté à l'individu posera un plus grand risque pour le patient que ce soit pour l'efficacité ou la production d'effets indésirables. En raison de l'hétérogénéité de l'activité d'ondes cérébrales (41; 101) et des

différents diagnostics possibles (par exemple : TDA/TDAH, blessures à la tête, dépression, autisme, ou trouble obsessionnelcompulsif), le traitement nécessite une individualisation du traitement et la recherche démontre de plus en plus que les différents protocoles de traitement ont des effets tout aussi différents (196; 4; 85; 80; 81; 112; 113; 114; 204; 280).

Ainsi, tout le monde n'a pas besoin du même traitement et que si l'entraînement n'est pas adapté à la personne, le risque est plus grand que cet entraînement soit inefficace, voire nuisible dans de rares occasions. Par exemple, Lubar et al. (162) a publié une étude contrôlée et en double aveugle sur l'épilepsie, documentant que les problèmes de crises épileptiques pouvaient être améliorés en neurofeedback, mais ils pourraient aussi s'aggraver si le mauvais type d'entraînement était fait. De même, Lubar et Shouse (163; 164) ont documenté que les symptômes du TDA/TDAH pouvaient être améliorés, mais aussi être aggravés si l'entraînement était inapproprié. Autre exemple sur le traitement du TDA/TDAH, il a été constaté que lorsqu'une approche non individualisée est utilisée (225) avec une électrode intégrée dans un casque comparé à un entraînement informatisé de l'attention, de modestes résultats équivalents ont été trouvés. En revanche, lorsque le neurofeedback individualisé est comparé à un entraînement informatisé de l'attention (79; 80; 81; 121), le neurofeedback était significativement plus efficace qu'une formation sur les dites compétences.

Par conséquent, la recherche d'un professionnel qualifié et certifié qui fera une évaluation complète préalable (par exemple, avec un ÉEGq ou un Mini-Q) est d'une importance vitale. Si le praticien indique qu'ils font un " scanner du cerveau " ou ÉEGq, il est important de déterminer si les données de l'EEG sont effectivement statistiquement comparées à une base de données normative plutôt que d'être simplement mesurés.

Si vous cherchez de l'aide pour un problème psychologique, psychiatrique ou médical comme ceux discutés dans cet article, l'ISNR (106) recommande que vous déterminiez que le praticien que vous choisissez est non seulement certifié, mais aussi sous licence ou certifiée comme un professionnel de la santé mental ou de la santé dans votre état ou province. Un nombre croissant de personnes non-certifiées ou non qualifiées parviennent à obtenir de l'équipement de neurofeedback et cherchent essentiellement à pratiquer de la psychothérapie et de l'aide médicale sans permis.

À cet égard, certaines personnes tentent de louer du matériel d'entraînement pour l'utilisation à domicile. Il est fortement recommandé que l'entraînement avec un équipement à la maison soit fait sous la consultation régulière et la supervision professionnelle certifiée et formée légitimement et de préférence un entraînement à la maison devrait suivre une formation supervisée dans un centre officiel pendant une certaine période de temps (106). Il est important de mettre en garde le public que si cela ne se fait pas de cette façon, certains effets négatifs pourraient survenir (et une probabilité plus élevée de résultats inefficaces). Il est aussi important de rappeler que le succès impressionnant documenté dans la plupart des recherches sur le neurofeedback est basée sur un travail mené par des professionnels qualifiés, après évaluations individualisées et avec les sessions étant supervisées par un thérapeute compétent plutôt que des sessions sans surveillance dans un bureau ou à la maison. **Des entraînements supervisés, où le patient est encouragé et formé à contrôler ses résultats, ont démontré significativement des meilleurs résultats que les sessions sans surveillance** (90). Références (Voir article en anglais)

