

Manfaat *neurofeedback* dalam terapi gangguan kognitif pasca cedera kepala

Neurofeedback's benefit in cognitive impairment therapy after traumatic brain injury

Sari Wahyu Ningrum*, Indarwati Setyaningsih**, Ahmad Asmedi**

*RSUD dr. Soekardjo, Tasikmalaya

**Bagian Neurologi, Fakultas Kedokteran UGM, Yogyakarta

ABSTRACT

Keywords:
neurofeedback,
traumatic brain injury,
cognitive impairment

Traumatic brain injury is the most cause of mortality and disability in young people. The survivors were facing disability problem, including cognitive impairment. At presents, conventional cognitive rehabilitation after brain injury had not showed a significant result. The aim of this critical analysis was to analyze and discuss research reports about neurofeedback's benefit in cognitive impairment after traumatic brain injury.

The literatures were searched by MEDLINE with key words neurofeedback, neurotherapy, quantitative electroencephalography (qEEG) biofeedback, traumatic brain injury (TBI), and cognitive impairment, which original text were publicated in English between 2000-2012. Critical analysis of these research articles using a rating scale for article on therapy.

Retrieved five articles that showed neurofeedback's benefits in improve cognitive function after TBI. Three articles used double blind randomized controlled trial method, one with controlled trial method, and one with trial method without control. Analysis result for all articles showed significant difference in cognitive function for group who received 20-25 sessions neurofeedback training, which each session lasted for 40-60 minutes. Neurofeedback was applicable for all classification of TBI, could be used in early phase after TBI, and played role to improved all domain of cognitive function. Side effects were minimal and temporary.

It concluded that neurofeedback was effective, save, and useful in cognitive impairment therapy after mild to severe TBI. Its use was recommended.

ABSTRAK

Kata kunci:
neurofeedback,
traumatic brain injury,
cognitive impairment

Cedera kepala merupakan salah satu penyebab kematian dan kecacatan utama pada kelompok usia produktif. Korban cedera kepala yang selamat dihadapkan pada permasalahan disabilitas salah satunya gangguan kognitif. Saat ini rehabilitasi kognitif konvensional pasca cedera kepala tidak menunjukkan hasil yang bermakna. Analisis kritis ini bertujuan untuk melakukan telaah dan pembahasan terhadap hasil penelitian mengenai manfaat neurofeedback dalam terapi gangguan kognitif pasca cedera kepala.

Pencarian literatur menggunakan jasa MEDLINE dengan kata kunci neurofeedback, neurotherapy, quantitative electroencephalography (qEEG) biofeedback, traumatic brain injury, dan cognitive impairment yang dipublikasikan dalam naskah asli bahasa Inggris antara tahun 2000-2012. Artikel yang memenuhi kriteria dianalisis dan dinilai kualitasnya dengan rating scale on therapy.

Diperoleh lima artikel yang menunjukkan manfaat neurofeedback dalam memperbaiki fungsi kognitif pasca cedera kepala. Tiga artikel menggunakan metode uji klinik acak buta ganda terkendali, satu dengan uji klinik terkendali, dan satu uji klinik tanpa kontrol. Hasil analisis dari kelima artikel menunjukkan perbedaan yang bermakna pada fungsi kognitif kelompok yang mendapatkan terapi neurofeedback setelah 20-25 sesi latihan selama 40-60 menit tiap sesinya. Neurofeedback dapat diterapkan pada semua klasifikasi cedera kepala dan diterapkan seawal mungkin pasca cedera, serta berperan dalam perbaikan seluruh domain fungsi kognitif. Efek samping yang ditimbulkan minimal dan bersifat sementara.

Neurofeedback efektif, aman, dan bermakna dalam terapi gangguan kognitif pasca cedera kepala ringan sampai berat, sehingga penggunaannya dapat direkomendasikan.

Correspondence:

Sari Wahyu Ningrum: sarysulastio@yahoo.co.id

PENDAHULUAN

Cedera kepala merupakan salah satu penyebab kematian dan kecacatan utama pada kelompok usia produktif.¹ Kejadian cedera kepala di Indonesia setiap tahunnya diperkirakan mencapai 500.000 kasus dan 70% korban kecelakaan lalu lintas adalah pengendara sepeda motor yang berusia produktif (15-55 tahun).² Kematian akibat cedera kepala diperkirakan meningkat dari 5,1 juta menjadi 8,4 juta dan menempati peringkat ketiga *disability adjusted life years* (DALYs) pada tahun 2020.³

Peningkatan kualitas penanganan rumah sakit dan diagnosis kegawatan dini telah menurunkan angka kematian, meskipun demikian korban cedera kepala yang selamat masih dihadapkan pada permasalahan disabilitas dengan manifestasi berbagai gejala sisanya. Sejumlah penelitian menyebutkan bahwa banyak pasien cedera kepala ringan (CKR) mengeluhkan mengenai gangguan kognitif pasca cedera kepala.^{4,5,6} Sigurdardottir *et al.*⁷ melaporkan penurunan fungsi kognitif berupa gangguan memori sebesar 60% pasca CKR, 50% pasca cedera kepala sedang (CKS), dan 20% pasca cedera kepala berat (CKB).

Rehabilitasi dirancang untuk memperbaiki gangguan fungsi kognitif pasca cedera kepala seperti memori, atensi, dan pemecahan masalah. Banyak penelitian melaporkan efektivitasnya yang bermakna secara statistik, namun ternyata tidak lebih efektif dari plasebo. Beberapa penelitian mengenai efektivitas *neurofeedback* dalam memperbaiki fungsi kognitif pasca cedera kepala menunjukkan hasil yang bermakna.^{8,9,10} Penulisan referat ini bertujuan melakukan analisis kritis dan telaah terhadap hasil penelitian mengenai manfaat *neurofeedback* dalam terapi gangguan kognitif pasca cedera kepala.

Pencarian literatur dilakukan dengan menggunakan jasa MEDLINE dengan kata kunci: *neurofeedback*, *neurotherapy*, *quantitative Electroencephalography* (qEEG) *biofeedback*, *traumatic brain injury*, dan *cognitive impairment*. Kriteria terpakai pada studi ini adalah: 1) semua penelitian tentang manfaat *neurofeedback* dalam terapi gangguan kognitif pasca cedera kepala, 2) naskah asli dalam bahasa Inggris, dan 3) dipublikasikan antara tahun 2000-2012. Kualitas artikel yang telah diperoleh dinilai dengan menggunakan *rating scale for article on therapy*.¹¹ Jurnal dikatakan berkualitas tinggi apabila jumlah skor berkisar antara 71-83, cukup apabila jumlah skor berkisar antara 40-56, dan rendah apabila jumlah skor berkisar antara 15-38.¹²

DISKUSI

Referat ini membahas tentang manfaat *neurofeedback* dalam terapi gangguan kognitif pasca cedera kepala.

Selama rentang waktu antara tahun 2000-2012 telah terkumpul 20 artikel yang membahas, dan hanya 5 artikel yang dapat dilakukan analisis kritis karena datanya yang lengkap terhadap hasil penelitiannya serta merupakan studi yang dipublikasikan dalam berbagai majalah ilmiah. Kelima artikel tersebut adalah: 1) Changes after EEG Biofeedback and cognitive retraining in Adults with mild traumatic brain injury and attention deficit hyperactivity disorder oleh Tinus & Tinus⁸ yang dipublikasikan pada Journal of Neurotherapy, 2000; Vol.4:2, 2) Neurofeedback therapy of attention deficits in patients with traumatic brain injury oleh Keller¹³ yang dipublikasikan pada Journal of Neurotherapy, 2001; Vol.5:1/2, 3) Flexyx neurotherapy system in the treatment of traumatic brain injury: an initial evaluation oleh Schoenberger *et al.*¹⁴ yang dipublikasikan pada Journal of Physical Medicine and Rehabilitation Professionals, 2001, 4) The effectiveness of EEG Biofeedback and cognitive rehabilitation as treatments for moderate to severe traumatic brain injury oleh Stephens¹⁵ yang dipublikasikan pada Journal of Clinical Neuropsychology, 2006, 5) QEEG, Brain rate, executive functions and neurofeedback training in patients with traumatic brain injury oleh Zorcec *et al.*¹⁶ yang dipublikasikan pada Journal of Acta Inform Med, 2011; Vol 19 (1): 23-28. Tabel 1 menunjukkan karakteristik artikel penelitian mengenai manfaat *neurofeedback* dalam terapi gangguan kognitif pasca cedera kepala.

Penilaian *rating scale for article on therapy* dari masing-masing artikel didapatkan penelitian Schoenberger *et al.*¹⁴ memiliki nilai 95,8%, Tinus & Tinus⁸ memiliki nilai 70%, Keller¹³ memiliki nilai 84,1%, Stephens¹⁵ memiliki nilai 91,3%, dan Zorcec *et al.*¹⁶ memiliki nilai 57,5%. Kesimpulannya *rating scale for article on therapy* dari keempat artikel pertama memiliki kualitas tinggi, dan satu jurnal dari Zorcec *et al.*¹⁶ dengan kualitas cukup.

Cedera kepala atau trauma kapitis adalah trauma mekanik terhadap kepala baik secara langsung ataupun tidak langsung yang menyebabkan gangguan fungsi neurologis baik gangguan fisik, kognitif, fungsi psikososial baik temporer maupun permanen.¹⁷ Cedera kepala merupakan hasil dari adanya benturan mekanik pada kepala yang akan memicu respons mekanik pada sel dan jaringan otak. Respons cedera kepala dapat primer maupun sekunder yang menimbulkan deformitas dan regangan serta berakibat kerusakan pada akson, pembuluh darah, *white matter* dan *gray matter*.¹⁸

Proses kerusakan sel yang terjadi pada cedera kepala terutama sirkuit fronto-subkortikal dapat menyebabkan gangguan kognitif, sosial, dan fungsi eksekutif pasca cedera kepala, serta juga menyebabkan gangguan psikiatri.^{19,20} Individu yang mengalami cedera kepala

Tabel 1. Karakteristik penelitian penggunaan *neurofeedback* pada terapi gangguan kognitif pasca cedera kepala

| No | Peneliti | Desain Penelitian | Karakteristik pasien | Tujuan penelitian | Intervensi | Alat Ukur | Jumlah sesi | Waktu penilaian |
|----|---|--|--|--|--|---|-------------|--|
| 1. | Schoenberger <i>et al.</i> , 2001 ¹⁴ | Uji klinik randomisasi dengan kontrol <i>wait-list group</i> | 12 pasien, usia 21-53 tahun, CKR, CKS, atau CKB | Menilai perbaikan fungsi kognitif dengan <i>neurotherapy</i> | qEEG <i>biofeedback</i> | – BDI, MFI, SCL-90-R, AVLT, PASAT, Rey-Osterrieth Complex Figure, TMT, <i>Controlled Oral Word Association, Digit Span, Digit Symbols</i> | 25 sesi | Sebelum & setelah terapi |
| 2. | Keller, 2000 ¹³ | Uji klinik randomisasi dengan kontrol | 12 pasien, usia rerata 31 tahun, CKS | Menilai efektivitas terapi <i>neurofeedback</i> dibanding <i>computer based attention training</i> | <i>Neurofeedback dan computer based attention training</i> | – <i>Cancellation task</i> – <i>Choice Reaction task</i> – <i>Sustained Attention task</i> | 10 sesi | Sebelum & setelah terapi |
| 3. | Tinius & Tinius, 2000 ⁸ | Uji klinik tanpa randomisasi, kontrol orang normal | 16 pasien, usia rerata 25 tahun, CKR | Menilai efektivitas EEG <i>Biofeedback</i> dalam terapi gangguan kognitif pasca CKR | EEG <i>Biofeedback</i> | IVA CPT, NIS, WAIS-R, WCST | 20 sesi | Sebelum & setelah terapi |
| 4. | Stephens, 2006 ¹⁵ | Uji klinik randomisasi dengan <i>cross over</i> | 6 pasien, usia rerata 49 tahun, CKS atau CKB | Menilai efektivitas qEEG <i>biofeedback</i> dalam perbaikan fungsi kognitif dan EEG | qEEG <i>biofeedback</i> dan rehabilitasi kognitif | – EEG, WAIS-III, NART-R, TOVA, PASAT, RAVLT, SCOLP, COWAT, TMT, BDI-II, STAI-II, STAXI-II | 20 sesi | Sebelum & setelah terapi, <i>follow up</i> 10 minggu |
| 5. | Zorcec <i>et al.</i> , 2011 ¹⁶ | Uji klinik tanpa randomisasi | 6 pasien, usia rerata 23 tahun, CKR, CKS, atau CKB | Menilai efektivitas terapi <i>neurofeedback</i> dalam perbaikan fungsi eksekutif dan qEEG | <i>Neurofeedback</i> | VCPT, ACPT, qEEG, WCST, <i>Stroop test</i> | 20 sesi | Sebelum & setelah terapi |

sering menunjukkan gangguan pada proses pengolahan informasi sehingga fungsi kognitif terganggu.²¹ Gangguan kognitif yang terjadi meliputi satu atau lebih fungsi kognitif, yaitu orientasi terhadap waktu, tempat dan orang, memori, kemampuan verbal, spasial dan kalkulasi, berpikir abstrak, atensi seperti kemampuan memusatkan perhatian dan kemampuan persepsi.²²

Rehabilitasi kognitif pasca cedera kepala telah banyak diterapkan, meliputi penggunaan komputer untuk mengerjakan tugas-tugas dalam rangka perbaikan fungsi kognitif, interaksi intensif dengan terapis, dan konseling yang bertujuan membantu pasien beradaptasi dengan kekurangannya. Rehabilitasi kognitif dapat membantu dalam memberikan dukungan psikologis, namun pelacakan literatur tidak menemukan adanya efektivitas rehabilitasi kognitif pasca cedera kepala.^{23,24,25}

Sebuah metaanalisis mengenai rehabilitasi kognitif pasca cedera kepala yang dipublikasikan tahun 1971 sampai 2008 menyimpulkan tidak ada rekomendasi yang mendukung perbaikan fungsi kognitif pasca cedera kepala dengan menggunakan rehabilitasi kognitif konvensional.²⁵ Penggunaan *neurofeedback* sebagai salah satu terapi pasca cedera kepala memberikan harapan

baru dalam perbaikan fungsi neuron dan memperbaiki gangguan yang diakibatkan disfungsi neuronal pasca cedera kepala, contohnya gangguan kognitif.²⁶

Neurofeedback atau sering disebut *neurotherapy* atau *quantitative EEG (qEEG) biofeedback* merupakan prosedur pengkondisian gelombang otak atau pelatihan gelombang otak oleh seorang individu dengan memodifikasi amplitudo, frekuensi atau koherensi dari dinamika neurofisiologis otak mereka sendiri.²⁷ Aktivitas gelombang otak yang terekam pada qEEG dipercaya sebagai manifestasi aktivitas elektrik pada neuron kortikal yang dikendalikan oleh generator subkortikal dari talamus, hipokampus, dan septum, di mana osilasi talamokortikal bertanggungjawab dalam inisiasi waktu dan penyaluran informasi antar berbagai struktur di otak.²⁸ Kerusakan *white* atau *gray matter*, perubahan koherensi atau korelasi pada korteks, atau pada area fungsional yang lebih jauh pasca cedera kepala menimbulkan beberapa gambaran pada EEG, meliputi perubahan *spectral power* sampai dengan perubahan konektivitas.²⁹

Disritme pada osilasi talamokortikal pasca cedera kepala dipercaya muncul akibat disregulasi sirkuit

subkortikal dan kortikokortikal yang menyebabkan munculnya gambaran EEG abnormal pada aktivitas irama dasar. Hal ini yang menjadi dasar teori *neurofeedback*. *Neurofeedback* dirancang untuk meregulasi ulang atau mengoptimalkan homeostasis, kemampuan neuron, dan konektivitas antar bagian di otak.^{30,31}

Akibat pasca cedera kepala berupa gangguan kognitif berhubungan dengan adanya gangguan neurofisiologi otak, terutama berlebihnya gelombang *theta*. Hal ini diakibatkan berkurangnya metabolisme serebral dan aliran darah otak yang menunjukkan terjadinya hipoksia dan iskemia, gangguan dari sintesis atau pengeluaran neurotransmitter, dan proses *patologis* lainnya.³²

Otak adalah satu-satunya organ tubuh manusia yang dapat belajar dengan memerlukan triliunan konektivitas antar neuron yang berkomunikasi melalui sinyal elektrik dan dapat diukur menggunakan qEEG. Ketidaktepatan sinyal tersebut menyebabkan otak tidak berfungsi dengan optimal. *Neurofeedback* bertujuan menghambat aktivitas gelombang *theta* yang berlebih, memperbaiki konektivitas di otak, dan mengembalikan fungsi dasar elektrofisiologis otak pada level normal.³³

Berbagai pendekatan qEEG *neurofeedback* pada gangguan kognitif pasca cedera kepala dalam pelaksanaannya terdiri dari: a) *Flexyx Neurotherapy* (saat ini dikenal sebagai *Low Energy Neurofeedback System/LENS*) merupakan modifikasi teknik EEG *biofeedback* yang mengkombinasikan qEEG *biofeedback* konvensional dan frekuensi rendah gelombang radio berdasar frekuensi dominan otak dalam usaha mencegah bentuk qEEG yang berhubungan dengan disfungsi kognitif, b) qEEG standar, c) qEEG dengan mata tertutup, dan d) aktivasi *database* qEEG.¹⁴

Neurofeedback standar bertujuan untuk meningkatkan kekuatan aktivitas beta (13-20 Hz) dan menurunkan aktivitas *theta* (4-8 Hz) melalui jalur sensorimotor yang berlokasi pada bagian sentral kepala (C3, Cz, dan C4). qEEG ditampilkan dalam komputer dan diberikan stimulus dalam bentuk audio visual.⁸

Artikel pertama pada referat ini berjudul *Flexyx neurotherapy system in the treatment of traumatic brain injury: an initial evaluation* oleh Schoenberger *et al.*¹⁴ dipublikasikan pada *Journal of Physical Medicine and Rehabilitation Professionals* tahun 2001. Artikel ini bertujuan menilai efektivitas *Flexyx Neurotherapy System* (FNS) pada terapi pasca cedera kepala dengan metode acak buta ganda.

Dua belas pasien dengan rentang usia 21 sampai 53 tahun dan mengalami gangguan kognitif yang mengganggu fungsi sehari-hari diikutsertakan dalam penelitian ini. Klasifikasi cedera kepala mulai dari CKR sampai CKB. Seluruh sampel mengalami cedera kepala

minimal 12 bulan sebelum ikut serta dalam penelitian dan mengalami gangguan kognitif pasca cedera kepala. Pasien dengan riwayat cedera kepala dengan luka tembus, penyalahgunaan narkotika, psikotropika, dan zat adiktif sebelumnya, riwayat psikotik, dan riwayat kejang sebelum dan pasca cedera kepala di eksklusi dari penelitian. Seluruh sampel menjalani pemeriksaan neuropsikologi dan qEEG. Sampel secara acak di bagi dalam 2 kelompok, yaitu kelompok 1 yang mendapatkan terapi *neurofeedback* sebanyak 25 sesi selama 5-8 minggu, dan kelompok 2 yang merupakan kontrol berada dalam daftar tunggu untuk menjalani terapi *neurofeedback* setelah 6-8 minggu kelompok 1 menyelesaikan sesinya.

Outcome yang dinilai pada penelitian ini diukur dengan menggunakan *Individualized Symptom Rating Scale*, *Beck Depression Inventory* (BDI), *Multidimensional Fatigue Inventory* (MFI), *Symptom Checklist 90 Revised* (SCL-90-R), *Auditory Verbal Learning Test* (AVLT), *Paced Auditory Serial Addition Test* (PASAT), *Rey-Osterrish Complex Figure*, *Trail Making Test*, *Controlled Oral Word Association*, *Digit Span Backwards*, dan *Digit Symbol*.

Kelompok 1 menunjukkan perbaikan yang bermakna dibanding kontrol pada *Digit Span Backwards* ($f=5,37$; $p < 0,05$), *the interference trial* ($f=5,54$; $p < 0,05$), *delayed recall trial* ($f=7,47$; $p < 0,03$), dan PASAT ($f=8,08$; $p < 0,02$). Tujuh dari 12 pasien melaporkan perbaikan dalam fungsi sehari-hari setelah menjalani terapi *neurofeedback*, di mana mereka dapat kembali bekerja secara profesional atau mengerjakan tugas akademisnya. Beberapa efek samping yang bersifat sementara dilaporkan pada penelitian ini. Efek samping tersebut muncul pada sesi 1 sampai 6 dan menghilang dalam beberapa hari, meliputi nyeri kepala, *dizziness*, *nausea*, dan kesemutan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa FNS dapat menjadi alternatif terapi baru yang menjanjikan dalam terapi pasca cedera kepala dengan efek samping minimal.

Flexyx neurotherapy system (FNS) adalah salah satu bentuk *neurofeedback* yang merupakan kombinasi dari konvensional EEG *biofeedback* dan stimulasi *photic*. Pasien menggunakan kacamata yang memiliki diode pancar cahaya (*light-emitting diode* atau LED), menempel pada lensa. Perekaman EEG dilakukan sebelum FNS. Gelombang otak yang didapat pada perekaman EEG dijadikan penunjuk dalam mengatur pancaran LED, yang juga akan mempengaruhi EEG. Stimulasi cahaya yang digunakan berada di bawah ambang batas dan tidak dapat dilihat oleh pasien. *Flexyx neurotherapy system* bersifat non invasif dan tidak menyakitkan.¹⁴ Efek positif sudah didapatkan pada sesi ke-3 atau 4. Gangguan kognitif yang kompleks mungkin

memerlukan 40 sesi atau lebih. Setiap sesi memerlukan waktu sekitar 30 menit.³⁴

Ochs³⁵ melaporkan penelitian mengenai efektivitas FNS pada pasca cedera kepala, di mana sebanyak 20 pasien rawat jalan pasca cedera kepala baik ringan sampai berat dengan rerata durasi gejala lebih kurang 3 tahun mendapat terapi FNS. Masing-masing pasien mendapat 16 sesi FNS selama 20 menit setiap sesinya. Sembilan belas dari 20 pasien melaporkan adanya perbaikan fungsi kognitif dan psikiatri. Perbaikan seluruh gejala sudah dapat dilihat setelah 6 sesi terapi FNS dan perbaikan fungsi kognitif keseluruhan terjadi setelah 16 sesi FNS. Nelson & Esty¹⁰ dalam penelitiannya menyimpulkan FNS dapat membantu mengurangi gejala yang muncul pasca cedera kepala pada tentara yang mengalami gangguan *neurobehaviour* dan *posttraumatic stress disorders*.

Penelitian mengenai manfaat terapi *neurofeedback* pada cedera kepala telah banyak dipublikasikan. Thornton & Carmody³⁶ menyimpulkan bahwa *neurofeedback* lebih unggul dibanding rehabilitasi neurokognitif dan terapi medikasi lainnya pada pasien dengan gangguan kognitif pasca cedera kepala.

Hoffman *et al.*³⁷ melaporkan perbaikan disfungsi pasca cedera kepala dengan menggunakan terapi *neurofeedback*. Rerata pasien memulai terapi minimal 6 bulan pasca cedera kepala dan mendapat terapi *neurofeedback* sekitar 40 sesi. Delapan puluh persen kasus mengalami perbaikan minimal 70%. Hasil klinis yang baik juga dilaporkan pada pasien yang telah mengalami cedera kepala beberapa tahun.

Gangguan atensi sebagai konsekuensi dari *diffuse axonal injury* (DAI) yang menyebabkan berkurangnya kecepatan dalam memproses informasi biasa terjadi pasca cedera kepala. *Neurofeedback* dapat digunakan untuk memperbaiki fungsi atensi seperti pada penelitian oleh Keller yang menunjukkan adanya penurunan yang bermakna pada *reaction time* ($p=0,006$).¹³

Keller¹³ dalam artikel kedua melakukan penelitian acak buta ganda terhadap 21 pasien pasca cedera kepala dengan gangguan atensi. Penelitian ini bertujuan untuk menilai efektivitas terapi *neurofeedback* pada pasien pasca cedera kepala dengan gangguan atensi dibanding kontrol yang mendapatkan latihan *computer-based attention*. Kriteria inklusi adalah subjek dengan gangguan atensi pasca CKS dan tidak terdapat riwayat gangguan kognitif sebelumnya. Rerata usia subjek adalah 31 tahun dan rerata waktu cedera kepala sampai dengan dilakukannya terapi *neurofeedback* adalah 3,8 bulan.

Sampel secara acak dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu 12 pasien menjalani terapi *neurofeedback* dan 9 pasien menjalani latihan perbaikan atensi berbasis

komputer (*computer based attention training*) sebagai kontrol. Sebanyak 10 sesi terapi *neurofeedback* dan *computer based attention training* diberikan dalam waktu 2 minggu, di mana setiap sesi berlangsung selama 30 menit.

Outcome utama yang diharapkan pada penelitian ini adalah perbaikan atensi yang diukur dengan *attention tasks*, terdiri dari *letter cancellation task*, *simple choice reaction task*, dan *sustained attention*. Analisis menggunakan Friedman *two-way analysis of variance* dan Wilcoxon *test*.

Kedua kelompok menunjukkan perbaikan atensi pasca terapi, namun hanya kelompok yang mendapatkan terapi *neurofeedback* menunjukkan penurunan jumlah kesalahan yang bermakna pada *cancellation tasks* ($p=0,032$), deteksi stimulus pada *cancellation task* dan *choice reaction task* ($p=0,009$ dan $p=0,013$), dan *reaction time* pada *sustained attention task* ($p=0,006$). Penelitian ini menyimpulkan *neurofeedback* merupakan metode terapi yang menjanjikan untuk terapi gangguan atensi pada pasien pasca cedera kepala dan dapat digunakan seawal mungkin pada fase rehabilitasi pasien pasca cedera kepala.

Beberapa penelitian mengenai *reaction time* pasca cedera kepala juga melaporkan adanya kelambatan proses informasi diakibatkan lemahnya hubungan antar sirkuit di otak yang ditunjukkan dengan dibutuhkan waktu lebih lama dalam mengerjakan tugas.^{38,39} Pernyataan ini didukung oleh Thatcher *et al.*⁴⁰ yang melaporkan bahwa kerusakan antar sirkuit menyebabkan gangguan atensi dan aktivitas otak. *Neurofeedback* merupakan metode yang tepat untuk memperbaiki rusaknya mekanisme yang bertanggung jawab dalam mengatur aktivitas ritme otak, sehingga penggunaannya seawal mungkin pasca cedera kepala sangat disarankan.

Hughes & John⁴¹ dalam penelitian mengenai qEEG melaporkan adanya persamaan pola defisit pada frontal antara cedera kepala dan ADHD. Keduanya menunjukkan hiperkoherensi prefrontal dan berlebihnya aktivitas gelombang lambat (*theta*) pada frontal, serta kesamaan dalam pola disfungsi parietal. Hal ini menunjukkan patomekanisme gangguan atensi pada cedera kepala. Penelitian ini didukung oleh Max *et al.*⁴² dalam penelitian prospektifnya yang melaporkan penurunan atensi dalam 2 tahun pasca cedera kepala. Gejala ini berhubungan secara signifikan dengan keparahan cedera kepala, dan konsisten dengan kerusakan otak.

Tinius & Tinius⁸ dalam artikel ketiga melakukan penelitian terhadap 16 pasien pasca CKR dan 13 pasien *attention deficits hyperactivity disorders* (ADHD) dibandingkan kelompok kontrol yang tidak mendapatkan terapi sebanyak 15 subjek. Tujuan dari penelitian ini untuk menilai efektivitas *electroencephalography*

(EEG) *biofeedback* dalam terapi fungsi kognitif pada pasien pasca cedera kepala. *Outcome* utama berupa fungsi kognitif diukur sebelum dan setelah terapi *neurofeedback*. Sesi terapi yang harus dijalani subjek adalah sebanyak 20 sesi selama 30-40 menit tiap sesinya. Analisis statistik dengan *Bonferroni-t test* dan level kemaknaan adalah $p < 0,05$.

Hasil analisis untuk tes IVA sebelum dan setelah menjalani 20 sesi terapi *neurofeedback* menunjukkan hasil yang signifikan pada *full scale attention quotient* (FSAQ) ($f=5,76$; $df=2,42$; $p < 0,006$), *full scale response quotient* (FSRQ) ($f=6,40$; $df=2,42$; $p < 0,004$), *auditory attention quotient* (AAQ) ($f=2,09$; $df=8,76$; $p < 0,04$), *visual attention quotient* (VAQ) ($f=3,09$; $df=2,42$; $p < 0,05$), *auditory response control quotient* (ARCQ) ($f=6,29$; $df=2,42$; $p < 0,004$), dan *visual response control quotient* (VRCQ) ($f=5,27$; $df=2,42$; $p < 0,009$). Hasil analisis untuk *wechsler adult intelligence scale-revised* (WAIS-R) ($f=2,73$; $df=6,54$; $p < 0,02$) dan *wisconsin card sorting test* (WCST) ($f=2,42$; $df=8,66$; $p=0,02$) juga menunjukkan hasil yang signifikan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa EEG *biofeedback* dapat menjadi terapi alternatif pilihan pada pasien dengan gangguan kognitif pasca cedera kepala.

Protokol *neurofeedback* dimulai dengan menentukan gelombang otak yang akan diubah, area yang akan dilatih, montase yang akan digunakan, dan besarnya target frekuensi gelombang otak masing-masing pasien. Hal ini semua diketahui dengan melakukan pemeriksaan qEEG terlebih dahulu.

Protokol *neurofeedback* disesuaikan dengan hasil analisis qEEG sebelum latihan. Protokol 1 adalah lokasi intervensi (peningkatan beta dan inhibisi *theta*). Terdapat 2 intervensi, yang pertama didesain untuk menekan aktivitas *theta* sekaligus meningkatkan *sensory motor rhythm* (SMR) (12-15 Hz) dan beta (15-18 Hz) pada Cz. Kedua meningkatkan beta pada T3 dan C3 sekaligus menekan amplitudo *theta*.⁴³ Perbandingan qEEG sebelum terapi dengan *database* normal menjadi patokan dalam latihan. Gelombang *theta* yang terlalu tinggi dapat diturunkan dengan latihan pada Cz (diikuti C3 dan C4 jika perlu).⁸

Protokol 2 adalah intervensi pada konektivitas (koherensi dan fase). Thornton⁴⁴ mendokumentasikan adanya koherensi dan fase dengan frekuensi tinggi (32-36 Hz) pada lobus frontal pasca cedera kepala. Protokol yang digunakan untuk memperbaiki koherensi antar hemisfer atau lobus disesuaikan dengan lokasi spesifik pada gangguan fungsi kognitif. Contohnya bila pasien menunjukkan defisit koherensi beta pada proyeksi aktivitas dari frontal kanan (F4) ke posterior kiri (T5-P3-O1) selama dalam kondisi mengerjakan tugas *recall*, maka intervensi langsung diberikan pada lokasi yang bermasalah.

Tinius & Tinius⁸ menuliskan mengenai panduan terapi *neurofeedback* pada cedera kepala. Pertama adalah pemasangan elektroda, dimulai pada CZ dan C3 atau C4. Kedua adalah protokol *theta* dan SMR, terdiri dari 1) jika *theta* tinggi maka turunkan *theta* pada CZ, 2) jika *theta* rendah maka naikkan SMR pada CZ, 3) jika nyeri kepala maka naikkan SMR pada CZ, dan 4) jika depresi maka naikkan alfa atau beta pada CZ. Ketiga adalah latihan koherensi (*coherence training*), dimulai dengan 1) frontal alfa dan beta, 2) koneksi pendek dilanjutkan dengan koneksi panjang, dan 3) dari CZ, C3, dan C4 kemudian di pindah ke depan dan ke belakang. Keempat adalah catatan untuk latihan koherensi, yaitu 1) meningkatkan koherensi adalah mudah namun penurunannya lebih sulit, dan 2) mulailah latihan koherensi setelah sesi ke 5 atau 6 dari latihan unipolar. Kelima adalah penggunaan *intermediate visual and auditory* (IVA) sebagai *guide* dalam peletakan elektroda, di mana jika 1) *visual attention quotient* (VAQ) rendah, maka mulailah pada C4 (penurunan *theta* atau peningkatan SMR) pada *feedback* visual; dan 2) jika *auditory attention quotient* (AAQ) rendah, maka mulailah pada C3 (penurunan *theta* atau peningkatan SMR) pada *feedback* auditori.

Penelitian lainnya yang bertujuan menilai *outcome* fungsional pada pasien CKR dilakukan oleh Walker *et al.*⁹ dengan desain *non controlled study*. Sebanyak 26 pasien mendapatkan terapi *neurofeedback* sebanyak 40 sesi. Perbaikan *outcome* fungsional secara bermakna didapatkan pada 88% pasien, terutama adanya perbaikan fungsi kognitif sehingga pasien dapat kembali bekerja seperti sebelum cedera kepala.

Artikel keempat pada referat ini berjudul *The effectiveness of EEG Biofeedback and cognitive rehabilitation as treatments for moderate to severe traumatic brain injury* oleh Stephens¹⁵ yang dipublikasikan pada *Journal of Clinical Neuropsychology* tahun 2006. Artikel ini bertujuan untuk menilai efektivitas EEG *biofeedback* dalam terapi gangguan kognitif, emosi, dan *behaviour* sebagai akibat cedera kepala. Penelitian ini merupakan *single case study cross-over*. Enam pasien diikutsertakan pada penelitian ini dengan rerata usia 49 tahun dan mengalami gangguan kognitif pasca cedera kepala dengan rerata *onset* cedera kepala 16,7 tahun serta terdiri dari pasien pasca CKS dan CKB.

Kriteria eksklusi penelitian ini antara lain *onset* cedera kepala <12 bulan, riwayat tumor otak, penyakit serebrovaskular, defisit neurologis sebelum cedera kepala, dan gangguan psikiatri. Seluruh sampel menjalani pemeriksaan intelegensi, fungsi kognitif, psikiatri, dan qEEG sebelum dan setelah terapi. Pasien secara acak dikelompokkan menjadi 2, yaitu kelompok 1 yang menjalani terapi *neurofeedback* sebanyak 20 sesi selama 60 menit tiap sesi dalam waktu 10 minggu terlebih

dahulu diikuti rehabilitasi kognitif sebanyak 20 sesi selama 60 menit dalam waktu 10 minggu. Kelompok 2 sebagai kontrol yaitu sampel yang menjalani rehabilitasi kognitif terlebih dahulu kemudian diikuti dengan terapi *neurofeedback* dengan jumlah dan waktu yang sama dengan kelompok 1. Seluruh kelompok menjalani *follow up* 10 minggu setelah seluruh sesi *neurofeedback* dan rehabilitasi kognitif selesai.

EEG *biofeedback* walaupun tidak bermakna secara statistik ternyata lebih efektif dibanding rehabilitasi kognitif konvensional dalam meningkatkan proses informasi, penamaan, *complex attentional control*, inhibisi respons, dan kecepatan berbahasa, serta lebih bermakna dalam mengurangi gejala. Penelitian ini menyimpulkan bahwa secara keseluruhan EEG *biofeedback* lebih efektif dalam terapi gangguan kognitif dibanding rehabilitasi kognitif konvensional sehingga dapat meningkatkan kualitas hidup pasien.

Fungsi eksekutif dapat terganggu pasca cedera kepala akibat gangguan pada salah satu dari tiga sirkuit fronto-subkortikal yang memiliki peran dalam pembentukan perilaku non motorik.⁴⁵ *Neurofeedback* diketahui dapat memperbaiki fungsi eksekutif yang terganggu pasca cedera kepala. Hal ini dibuktikan oleh Zorcec *et al.*¹⁶ dalam penelitiannya yang berjudul *QEEG, Brain rate, executive functions and neurofeedback training in patients with traumatic brain injury* yang dipublikasikan pada Journal of Acta Inform Med tahun 2011 membuktikan adanya perbaikan fungsi eksekutif pada pasien pasca cedera kepala.

Salah satu tujuan dari penelitian ini adalah menilai perbaikan fungsi eksekutif setelah terapi *neurofeedback*. Penelitian ini dilakukan tanpa randomisasi dan *outcome* utama dari fungsi eksekutif diukur dengan WCST dan Stroop *test*. Analisis menggunakan *student t-test*.

Penelitian ini mengikutsertakan 6 pasien dengan rerata usia 23 tahun sebagai sampel penelitian dengan klasifikasi CKR sampai CKB. Rerata durasi cedera kepala 4,16 tahun. Seluruh sampel menjalani pemeriksaan intelegensi, fungsi eksekutif, dan qEEG sebelum dan setelah terapi *neurofeedback*. Terapi *neurofeedback* diberikan sebanyak 20 sesi selama 40 menit setiap sesinya dan dilakukan 2 kali dalam seminggu.

Subjek penelitian menunjukkan adanya perbaikan fungsi eksekutif pasca *neurofeedback*. Stroop *test* menunjukkan perbaikan pasca terapi *neurofeedback* walau tidak bermakna secara statistik. *Perseverations test* pada WCST menunjukkan terjadi perbaikan pasca *neurofeedback* dengan kemaknaan yang tinggi ($p = 0,0000$). Penelitian ini menyimpulkan bahwa *neurofeedback* efektif sebagai terapi dalam mengatasi akibat pasca cedera kepala, seperti gangguan kognitif, fungsi eksekutif, dan ketidakstabilan emosi.

Manfaat *neurofeedback* dalam perbaikan fungsi memori pasca cedera kepala juga terlihat pada penelitian oleh Thornton.⁴⁶ Terapi *neurofeedback* menunjukkan adanya normalisasi gambaran qEEG yang sebelum terapi menunjukkan adanya penyimpangan. *Neurofeedback* berperan dalam menghambat gelombang *theta* dan meningkatkan gelombang beta pada area sensorimotor dan bicara. Dilaporkan terdapat perbaikan mulai 68% sampai 81% dari penilaian awal diberikan intervensi berupa kelancaran bicara (*speech fluency*), menemukan kata, atensi, dan konsentrasi.

Kegagalan mekanisme otak dalam mempertahankan komunikasinya pasca cedera kepala dipercaya sebagai penyebab hilangnya konektivitas pada serebral.⁴⁷ Latihan *neurofeedback* berperan pada rehabilitasi neuro-neuronal di mana hasilnya terjadi karena adanya neuroplastisitas pada sistem saraf. Neuroplastisitas pada otak merujuk pada kemampuan untuk *learning* dengan menambahkan atau mengganti koneksi neuron, serta memperbanyak sel. Latihan dan sosialisasi berperan besar dalam membentuk sel baru, jaringan dan komunikasi neural yang lebih baik, serta perbaikan regulasi neural.⁴⁸

Empat penelitian lainnya dengan desain *non-controlled study* dilakukan guna melihat efektivitas *neurofeedback* pasca cedera kepala.^{49,50,51,52} Keempat penelitian itu menggunakan 27 pasien pasca cedera kepala. Pasien pasca cedera kepala mengalami perbaikan setelah menjalani sesi *neurofeedback* (23–132 sesi). Perbaikan tersebut meliputi fungsi motorik sebanyak 77%, fungsi kognitif 87%, nyeri 80%, gejala psikiatri 67%, dengan rentang perbaikan gejala 59%–87%. Penelitian tersebut juga menampilkan adanya normalisasi frekuensi otak pada qEEG, sehingga disimpulkan bahwa *neurofeedback* bermanfaat penggunaannya dalam terapi akibat pasca cedera kepala.

Penelitian dan pengalaman klinis sejauh ini membuktikan bahwa *neurofeedback* memberikan banyak manfaat yang signifikan walau setelah beberapa tahun pasca cedera kepala. Literatur mengenai *neurofeedback* menyimpulkan efek latihan *neurofeedback* dapat bertahan sampai dengan 10 tahun dengan jumlah intervensi berkisar antara 10–132 sesi, serta perbaikan memori auditori dapat bertahan sampai 11 bulan pada pasien pasca cedera kepala.^{53,54,55}

Beberapa literatur melaporkan adanya efek samping terapi *neurofeedback*. Efek samping tersebut bersifat sementara pada awal terapi. Efek samping ringan kadang muncul dalam latihan *neurofeedback*, contohnya lelah, cemas, nyeri kepala, sulit tidur, atau gelisah. Semua perasaan tidak nyaman tersebut akan hilang setelah beberapa kali latihan. Terapis akan merubah protokol latihan atau dengan mengurangi durasi terapi jika pasien merasakan hal tersebut sehingga cepat diatasi. Efek negatif akan muncul

apabila pelatih kurang memiliki pengetahuan mengenai *neurofeedback* dan belum bersertifikat profesional sebagai pelatih. Hal ini dikarenakan latihan ini berdasar pada perubahan aktivitas gelombang otak dan tidak semua pasien memerlukan latihan yang sama. Efek samping *neurotherapy* yang pernah dilaporkan klinisi antara lain agitasi, ansietas, panik, mania, nyeri kepala, mual, *fatigue*, gangguan tidur, sensitif, inkontinensia, *eneuresis*, depresi, *tics*, *seizure*.^{56,57}

Schoenberger *et al.*¹⁴ melaporkan efek samping terapi *neurofeedback*. Efek samping tersebut bersifat sementara pada awal terapi, meliputi nyeri kepala, *dizziness*, *nausea*, dan kesemutan. Reaksi ini muncul pada sesi 1 sampai 6 dan akan menghilang dalam beberapa hari.

Neurofeedback merupakan suatu rehabilitasi intervensi yang non invasif, efektif, dan aman pada terapi gangguan kognitif pasca cedera kepala walaupun dengan jumlah sesi dan berbagai pendekatan yang berbeda. Terapi *neurofeedback* bisa diberikan seawal mungkin pasca cedera kepala baik CKR, CKS, maupun CKB.^{8,13,14,15,16}

SIMPULAN

Hasil analisis kritis di atas menunjukkan bahwa *neurofeedback* efektif, aman, dan bermakna digunakan dalam terapi gangguan kognitif pasca cedera kepala ringan sampai berat.

Berbagai pendekatan *neurofeedback* yang berbeda dapat digunakan dalam terapi gangguan kognitif pasca cedera kepala. Terapi *neurofeedback* sebanyak 20-25 sesi selama 40-60 menit setiap sesinya memberikan hasil yang bermakna dalam perbaikan fungsi kognitif pasca cedera kepala.

Analisis kritis ini merekomendasikan *neurofeedback* sebagai terapi gangguan kognitif pasca cedera kepala ringan sampai berat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Yattoo GH, Tabish A. The profile of head injuries and traumatic brain injury deaths in Kashmir. *Journal of Trauma Management & Outcomes*. 2008;2(5)
2. Ikatan Ahli Bedah Indonesia (IKABI). Cedera Kepala. In: *Advanced Trauma Life Support for Doctors*. Ikatan Ahli Bedah Indonesia. Jakarta: Komisi trauma IKABI; 2004.
3. Murra CJL, Vos T, Lozano R, Naghavi M, Flaxman AD, Michaud C, et al. Disability-adjusted life years (DALYs) for 291 disease and injuries in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*. 2012; 380:2197-2223.
4. Holm L, Cassidy JD, Carroll LJ, Borg J. Summary of the who collaborating centre for neurotrauma task force on mild traumatic brain injury. *J Rehabil Med*. 2005;37:137-141.
5. Whitnall L, McMillan TM, Teasdale GM. Disability in young people and adults after head injury: 5-7 year follow up of a prospective cohort study. *J Neural Neurosurg Psychiatry*. 2006;77:640-645.
6. Lannsjö M. *Mild Traumatic Brain Injury: Studies on outcome and prognostic factors*. Swedish: Uppsala Universitet; 2012.
7. Sigurdardottir S, Andelic N, Roe C, Jerstad T, Schanke AK. Post-concussion symptoms after traumatic brain injury at 3 and 12 months post-injury: a prospective study. *Brain injury*. 2009;23(6):489-497.
8. Tinius TP, Tinius KA. Changes after EEG Biofeedback and cognitive retraining in adults with mild traumatic brain injury and attention deficit hyperactivity disorders. *Journal of Neurotherapy*. 2002;4(2).
9. Walker JE, Norman CA, Weber RK. Impact of qEEG-guided coherence training for patients with a mild closed head injury. *Journal of Neurotherapy*. 2002;6(2).
10. Nelson DV, Esty ML. Neurotherapy of traumatic brain injury/posttraumatic stress symptoms in OEF/OIF veterans. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience*. 2012;24:237-240.
11. Dixon R, Munro J, Silock P. *The Evidence Based Medicine: Critical Appraisal for Clinical Problem Solving*. Ltd Oxford; Reed Educational and Professional Publishing; 1997.
12. Lamsudin R. *Meta-Analysis*. Dalam: Husni A, *Epidemiologi Klinik dan Critical Appraisal*. Semarang: Badan Penerbit UNDIP; 1996;pp.43-53.
13. Keller I. Neurofeedback therapy of attention deficits in patients with traumatic brain injury. *Journal of Neurotherapy*. 2001;5(1/2).
14. Schoenberger NE, Shiflett SC, Esty ML, Ochs L, Matheis RJ. Flexyx neurotherapy system in the treatment of traumatic brain injury: an initial evaluation. *Physical Medicine and Rehabilitation Professionals*. 2001.
15. Stephens. The effectiveness of EEG Biofeedback and cognitive rehabilitation as treatments for moderate to severe traumatic brain injury oleh Stephens yang dipublikasikan. *Journal of Clinical Neuropsychology*. 2006.
16. Zorcec T, Demerdziewa A, Pop-Jordanova N. QEEG, Brain Rate, Executive Function and Neurofeedback Training in Patients with Traumatic Brain Injury. *Journal of Acta Inform Med*. 2001;19(1):23-28.
17. Perdossi. *Konsensus Nasional Penanganan Trauma Kapitis dan Trauma Spinal*. Jakarta: Perdossi; 2006.
18. Kinnunen KM, Greenwood R, Powell JH, Leech R, Hawkins PC, Bonnelle V, Patel MC, Counsell SJ, Sharp DJ. White matter damage and cognitive impairment after traumatic brain injury. *Brain*. 2011;134:449-463.
19. Zappala G, Schotten MT, Eslinger PJ. Traumatic brain injury and the frontal lobes: what can we gain with diffusion tensor imaging? *Cortex*. 2011;XXX:1-10.
20. Halbauer JD, Ashford W, Zeitzer JM, Adamson MM, Lew HL, Yesavage JA. Neuropsychiatric diagnosis and management of chronic sequelae of war-related mild to moderate traumatic brain injury. *Journal of Rehabilitation Research & Development*. 2009;46(6):757-796.
21. Hoofien D, Gilboa A, Vakil E, Donovick PJ. Traumatic brain injury (TBI) 10-20 years later: a comprehensive outcome study of psychiatric symptomatology, cognitive abilities and psychosocial functioning. *Brain Injury*. 2001;15(3):189-209.
22. American Psychiatric Association. *Neurocognitive Disorders. A Proposal from the DSM-5 Neurocognitive Disorders*. Washington: 2010.
23. Salazar AM, Warden DL, Schwab K, Spector J, Braverman S, Walter J, et al. Cognitive rehabilitation for traumatic brain

- injury: a randomized trial. Defense and Veterans Head Injury Program (DVHIP) Study Group. *JAMA*. 2000;283(23):3075-3081.
24. Park NW, Ingles JL. Effectiveness of Attention Rehabilitation After an Acquired Brain Injury: A Meta-Analysis. *Neuropsychology*. 2001;1(2):199-210.
 25. Cicerone KD, Langenbahn DM, Braden C, Malec JF, et al. Evidence based cognitive rehabilitation: updated review of the literature from 2003 through 2008. *Arch Phys Med Rehabilitation*. 2001;92.
 26. Duff J. The usefulness of quantitative EEG (QEEG) and neurotherapy in the assessment and treatment of post-concussion syndrome. *Clinical EEG and Neuroscience*. 2004;35(4).
 27. Othmer S, Othmer SF. Post traumatic stress disorders-the neurofeedback remedy. *Biofeedback*. 2009;37:24-31.
 28. Timofeev I, Bazhenov M, Seigneur J, Sejnowski T. Neuronal synchronization and thalamocortical rhythms in sleep wake and epilepsy. In: Jasper's Basic Mechanisms of The Epilepsies. 4th Ed. Canada: National Center for Biotechnology Information; 2012.
 29. Gunkelman J. EEG finding in Traumatic Brain Injury. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*. 2008.
 30. Narboux-Ne'me N, Evrard A, Ferezou I, Erzurumlu RS, Kaeser PS, Laine J, Rossier J, Ropert N, Sūdhof TC, Gaspar P. Neurotransmitter release at the thalamocortical synapse instructs barrel formation but not axon patterning in the somatosensory cortex. *The Journal of Neuroscience*. 2012;32(18):6183-6196.
 31. Halbauer JD, Ashford W, Zeitzer JM, Adamson MM, Lew HL, Yesavage JA. Neuropsychiatric diagnosis and management of chronic sequelae of war-related mild to moderate traumatic brain injury. *Journal of Rehabilitation Research & Development*. 2009;46(6):757-796.
 32. Blinowska K, Durka P. Electroencephalography (EEG). *Clin Neurophys*. 2005;1-13.
 33. Hammond DC. What is neurofeedback. *Journal of neurotherapy*. 2006;10(4)
 34. Flexyx. Flexyx Neurotherapy System. 2008. Available from: www.flexyx.com.
 35. Ochs L. The Low Energy Neurofeedback System ((LENS): Theory, Background, and Introduction. *Journal of Neurotherapy*. 2008;10:2-3;5-19.
 36. Thornton KE, Carmody DP. Traumatic Brain Injury Rehabilitation: QEEG Biofeedback Treatment Protocol. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2009;34(1):59-68.
 37. Hoffman DA, Lubar JF, Thatcher RW, et al. Limitations of the American Academy of Neurology and American Clinical Neurophysiology Society Paper on QEEG. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci*. 1999;11:3;p:401-407.
 38. MacFlynn G, Montgomery EA, Fenton GW, Rutherford W. Measurement of reaction time following minor head injury. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*. 1984;47:1326-1331.
 39. Eckner JT, Kutcher JS, Richardson JK. Effect of Concussion on Clinically Measured Reaction Time in 9 NCAA Division I Collegiate Athletes: A Preliminary Study. *American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2001;3:212-218.
 40. Thatcher RW, McAlaster R, Salazar A. Biophysical Linkage between MRI and EEG Coherence in Closed Head Injury. *Neuroimage*. 1998;8:307-326.
 41. Hughes JR, John ER. Conventional and Quantitative Electroencephalography in Psychiatry. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci*. 1999;11(2):190-208.
 42. Max JE, Arndt S, Castillo CS, Bokura H, Robin DA, Lindgren SA, et al. Attention-deficit hyperactivity symptomatology after traumatic brain injury: a prospective study. *J Am Acad Child Adolescent Psychiatry*. 1998;38(8):841-847.
 43. Byers AP. Neurofeedback therapy for a mild head injury. *Journal of Neurotherapy*. 1995;1(1):22-37.
 44. Thornton KE. Improvement/Rehabilitation of Memory Functioning with Neurotherapy/QEEG Biofeedback. *J Head Trauma Rehabil*. 2000;15(6):1-13.
 45. Simmons SN, Matthews SC. Neural circuitry of PTSD with or without mild traumatic brain injury: A meta-analysis. *Neuropharmacology*. 2012;62:598-606.
 46. Thornton KE. Electrophysiology (QEEG) of effective reading memory: Towards a generator/activation theory of the mind. *Journal of Neurotherapy*. 2002;6(3):7-66.
 47. Schiff ND. Recovery of consciousness after severe brain injury: the role of arousal regulation mechanisms and some speculation on the heart-brain interface. *Cleveland clinic journal of medicine*. 2010;77(3).
 48. Ros T, Munneke MAM, Ruge D, Gruzelier JH, Rothwell JC. Endogenous control of waking brain rhythms induces neuroplasticity in humans. *European Journal of Neuroscience*. 2010;11:770-778.
 49. Bounias M, Laibow RE, Bonaly A, Stubblebine AN. EEG-NeuroBiofeedback Treatment of Patients with Brain Injury Part 1: Typological Classification of Clinical Syndromes. *Journal of Neurotherapy*. 2001;5(4).
 50. Bounias M, Laibow RE, Stubblebine AN, Sandground H, Bonaly A. EEG-neurofeedback treatment of patients with brain injury: Part 4: Duration of treatments as a function of both the initial load of clinical symptoms and the rate of rehabilitation. *Journal of Neurotherapy*. 2002;6(1):23-38.
 51. Laibow RE, Stubblebine AN, Sandground H, Bounias M. EEG neurobiofeedback treatment of patients with brain injury: Part 2: Changes in EEG parameters versus rehabilitation. *Journal of Neurotherapy*. 2001;5(4):45-71.
 52. Laibow RE, Stubblebine AN, Sandground AN, Bounias M. EEG neurofeedback treatment of patients with brain injury: Part 3: Cardiac parameters and finger temperature changes associated with rehabilitation. *Journal of Neurotherapy*. 2001;6(1):5-21.
 53. Thornton KE, Carmody DP. Electroencephalogram Biofeedback for Reading Disability and Traumatic Brain Injury. *Child Adolesc Psychiatric Clin N Am*. 2005;14:137-162.
 54. Tansey MA. Ten year stability of EEG biofeedback results for a hyperactive boy who failed the fourth grade perceptually impaired class. *Biofeedback and Self-Regulation*. 1993;18(1):33.
 55. Lubar JF. Changing EEG activity through biofeedback applications for the diagnosis of learning disabled children. *Theory and Practice*. 1985;24(2):106-111
 56. Hammond DC, Walker J, Hoffman D, Lubar JF, Trudeau D, Gurnee R, Horvat J. Standards for the Use of Quantitative Electroencephalography (QEEG) in Neurofeedback: A Position Paper of the International Society for Neuronal Regulation. *Journal of Neurotherapy*. 2004;8(1).
 57. Hammond DC, Kirk L. First, Do No Harm: Adverse Effects and the Need for Practice Standards in Neurofeedback. *Journal of Neurotherapy*. 2008;12(1).