

Estereoencefalografia na Era da Cirurgia Guiada por Imagem

Ricardo Silva Centeno*, Elza Márcia Targas Yacubian*, Luis Otávio Sales Ferreira Caboclo*, Henrique Carrete Júnior**, Ana Paula Andrade Hamad*, Fernando Antônio Patriani Ferraz*, Sérgio Cavalheiro*

Universidade Federal de São Paulo – Unidade de Pesquisa e Tratamento das Epilepsias (UNIFESP/UNIPETE)

RESUMO

Introdução: A estereoencefalografia (E-EEG), conforme introduzida na década de 50 por Talairach, é um método invasivo de análise tridimensional da zona epileptogênica, baseado na técnica de implantação intracraniana de eletrodos de profundidade (EP). O advento das modernas técnicas de cirurgia guiadas por imagem revolucionaram a técnica de implantação dos EP. **Objetivo:** O objetivo deste artigo é discutir os princípios da E-EEG e sua evolução, desde a era Talairach até a era atual, da cirurgia guiada por imagem, e suas perspectivas futuras. **Conclusões:** Embora os princípios gerais da E-EEG tenham permanecido intactos ao longo dos anos, a implantação de EP, que é a técnica cirúrgica que viabiliza este método, sofreu uma tremenda evolução ao longo das últimas três décadas devido ao advento das modernas técnicas de imagem, de sistemas de computação e das novas técnicas estereotáxicas. O uso de sistemas robotizados, a evolução constante das técnicas de imagem e computação e a utilização de EP com sondas para micro diálise associados a si, abre no futuro uma enorme perspectiva para a aplicação dos EP e da E-EEG, tanto para uso investigativo como terapêutico. A descoberta de novos alvos, em localizações profundas e a fabricação de eletrodos “inteligentes”, poderá incrementar, num futuro próximo, a necessidade do uso deste método.

Unitermos: Epilepsia, estereoencefalografia, eletrodo profundo, cirurgia guiada por imagem.

ABSTRACT

Stereoelectroencephalography in the era of imaging guide surgery

Introduction: The stereoelectroencephalography (SEEG), introduced by Talairach in 50', is an invasive method of tridimensional analysis of epileptogenic zone based on the intracranial placement of depth electrodes (DE). The advent of modern imaging guided surgery had a tremendous impact in DE implantation techniques. **Objective:** The aim of this article is to discuss the main principles of SEEG and its evolution along the years since Talairach era until the imaging guide surgery era, with its new perspectives. **Conclusions:** Although the main principles of SEEG have remained intact, the placement of depth electrodes (DE) which is the surgical technique that supports this method has suffered a tremendous evolution along the last three decades due the advent of the modern imaging, the computer systems and the new stereotactic techniques. The use of robotic, the new imaging and computed systems and the use of probes of micro dialise adapted to EP opened a tremendous perspective to DE and SEEG application as an investigative and therapeutical method. The discovery of new targets in deep brain localization and the manufacturing of “smart” DE, can increment, in a near future, the number of indications to this method.

Key words: Epilepsy, stereoelectroencephalography, depth electrode, imaging guide surgery.

* Departamento de Neurologia e Neurocirurgia da Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP.

** Departamento de Diagnóstico por Imagem da Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP.

Received May 26, 2009; accepted Aug. 21, 2009.

INTRODUÇÃO

A indicação em cirurgia de epilepsia depende da convergência dos resultados de exames realizados, sendo esta de grande relevância para o prognóstico cirúrgico. A convergência entre os resultados das investigações pré-operatórias não invasivas, principalmente por exames de imagem e vídeo-EEG, nem sempre é observada. Muitas vezes temos que fazer uso de técnicas semi-invasivas ou invasivas de registro de crises, na tentativa de solucionar estas dúvidas. Do ponto de vista eletrográfico, o ideal é que o registro seja realizado o mais próximo possível da provável zona epileptogênica (ZE). Esta abordagem pode ser realizada através de técnicas semi-invasivas como os eletrodos de forame oval, indicados apenas quando há dúvidas quanto à lateralidade nas epilepsias mesiais do lobo temporal ou através de técnicas invasivas, como as placas de eletrodos subdurais ou os eletrodos de profundidade. Os últimos constituem os instrumentos para a realização da estereoeleetroencefalografia (E-EEG), técnica invasiva de registro das crises, visando uma análise tridimensional da ZE.

Talairach e Bancaud,¹ na década de 50, foram os primeiros a assinalar que as regiões corticais envolvidas no processo epiléptico podiam ser definidas principalmente pelo registro de crises espontâneas. Eles elaboraram uma metodologia completa chamada E-EEG, para identificar, com base nas correlações anatomoeletroclínicas, a extensão das áreas corticais envolvidas primariamente nas descargas ictais, por eles definida como “zona epileptogênica”, objetivando assim, o planejamento de uma ressecção cortical adequada a cada caso em particular. A estratégia de implantação foi bem individualizada, dependendo das características clínicas, neurofisiológicas e anatômicas de cada paciente, de forma distinta, portanto, de outros procedimentos similares com alvos e trajetórias padronizados.

Nesta técnica, num modelo de análise tridimensional da ZE, os eletrodos de profundidade são inseridos em direção a alvos profundos com contatos intermediários em regiões corticais e subcorticais. Portanto, a denominação “eletrodos de profundidade” para a definição da E-EEG é inadequada, pois esta permite a abordagem de estruturas anatômicas superficiais, intermediárias e profundas.²

Este tipo de abordagem é utilizado atualmente na avaliação pré-cirúrgica em diferentes centros de cirurgia de epilepsia europeus,³⁻⁵ americanos⁶⁻⁸ e asiáticos.⁹

As primeiras tentativas bem sucedidas em registrar a atividade elétrica intracerebral datam da primeira metade do século passado. Naquelas décadas, durante as quais a técnica de registro intra-operatório do córtex cerebral em pacientes epiléticos foi desenvolvida por Penfield e Jasper,¹⁰ os eletrodos intracranianos começaram

a ser implantados com a finalidade de registrar estruturas subcorticais, principalmente a fim de elucidar o papel dos núcleos basais em crises de “*petit mal*”,^{11,12} bem como casos presumidos de crises “centrencefálicas”.^{13,14} Em diversos estudos os eletrodos foram implantados à mão livre, utilizando-se uma técnica que resultou em um alcance largamente impreciso dos alvos intracranianos.^{15,16} Além disso, apesar da tendência em direção ao uso de registros crônicos, as monitorizações tinham como objetivo primário inserir eletrodos intracranianos para registrar descargas interictais, seguindo os mesmos conceitos estabelecidos para a eletrocorticografia intraoperatória.

A introdução de métodos estereotáxicos para a segmentação das estruturas intracranianas e do conceito de ZE foi fundamental para o desenvolvimento metodológico da avaliação pré-cirúrgica dos pacientes com epilepsia.

Aparelhos estereotáxicos para o uso humano foram projetados em 1947 por Spiegel e Wycis,¹⁷ e seu emprego no registro de estruturas cerebrais profundas tem sido mencionado desde 1950.¹⁸ A implantação estereotáxica de eletrodos intracranianos ganhou popularidade e foi mencionada como parte da avaliação da epilepsia do lobo temporal no início dos anos 60.¹⁹ Enquanto isso, na Unidade Neurocirúrgica do Hospital Saint-Anne, em Paris, as investigações estereotáxicas com eletrodos intracranianos em pacientes epiléticos estava inspirada em um novo conceito recentemente elaborado: as crises epiléticas eram consideradas um processo dinâmico com uma organização temporo-espacial, às vezes multidirecional, podendo ser mais bem definida como um arranjo tridimensional.²⁰⁻²³ O local de origem e da organização primária deste processo dinâmico em epilepsias focais, cuja remoção cirúrgica resultaria no controle das crises, foi definido como a ZE

Com essas premissas, o grupo de Saint-Anne desenvolveu a metodologia da E-EEG,^{24,25} que permitia alcançar as complexas exigências de definir no espaço tridimensional e no tempo, a organização das descargas ictais. Esses procedimentos visavam à verificação de uma hipótese coerente e previamente formulada a respeito da ZE, hipótese essa baseada em achados anatômicos e eletroclínicos peculiares a cada caso. Para esses propósitos, deveriam ser atingidos vários pré-requisitos: a definição eletroclínica das epilepsias deveria ser baseada em registros de crises espontâneas, e não ser limitada a anormalidades elétricas estáticas interictais; as estruturas previamente assumidas como envolvidas no início ictal e na organização primária e secundária das descargas ictais deveriam ser previamente estabelecidas, incluídas na área de exploração e alcançadas cirurgicamente com a precisão das técnicas estereotáxicas; diferentemente dos estudos anteriores com eletrodos intracranianos, o objetivo primário nesse procedimento era a exploração de estruturas corticais, uma vez que se presumiu que a organização dinâmica das

descargas ictais deveria seguir trajetórias corticais. Para esse último propósito, devido à variabilidade interindividual da anatomia cortical, a localização estereotáxica de diferentes áreas corticais exigiu uma abordagem baseada em um sistema de referência proporcional construído estatisticamente, que usava a linha intercomissural, identificada por ventriculografia contrastada, como base de referência. Este método possibilitou a incorporação da anatomia de cada paciente num sistema de referência anamorfótico e flexível.²⁶

Além disso, a teleangiografia estereotáxica e estereoscópica forneceram uma excelente definição da anatomia dos giros e dos sulcos cerebrais,^{27,28} permitindo planejar trajetórias avasculares para a colocação de eletrodos através de uma grade dupla montado em um halo estereotáxico de Talairach, fabricado comercialmente.²⁹

Desde a experiência pioneira do grupo de Paris, o desenvolvimento da moderna neuroradiologia e das técnicas de fusão de imagens aumentaram progressivamente a segurança do método e a precisão do alcance do alvo através de um direcionamento estereotáxico de estruturas intracranianas.^{30,31} Entretanto, os conceitos básicos de um “ambiente estereotáxico” único, onde as informações eletrofisiológicas, morfológicas e funcionais possam ser importadas e entrem num processo dinâmico de correlação para definir a organização tridimensional de uma descarga epilética, ainda são primordiais na era atual da estereoeletoencefalografia, e têm sido relevantes para o desenvolvimento da moderna cirurgia de epilepsia e da neurocirurgia estereotáxica.^{32,33}

Há vários cenários em que os eletrodos de profundidade são comprovadamente úteis, entretanto, a extensão e a frequência do seu uso são variáveis de instituição para instituição (Tabela 1).

Tabela 1. Cenários comuns onde os eletrodos profundos são comprovadamente úteis.

Tipo de estudo	Estruturas exploradas
Estudos dos lobos temporais	Hipocampo e amígdala
Estudos dos lobos frontais	Cíngulo anterior, região orbitofrontal e área motora suplementar
Estudos de reoperação	Áreas onde aderências impossibilitam registros com estrias subdurais
Lesões Profundas	Hamartomas hipotalâmicos, heterotopias periventriculares

Existem várias técnicas de implantação de eletrodos de profundidade (EP), dentre estas: com halo estereotáxico, com neuronavegação sem halo estereotáxico, à mão livre e assistida por endoscópio. A implantação de eletrodos com halo estereotáxico já está consagrada, sendo utilizada em um grande número de centros. Vários destes sistemas estão

disponíveis no mercado, como o Brown-Roberts-Wells (BRW), o Cosman-Roberts-Wells (CRW), o de Leksell, dentre outros.

A implantação de EP à mão livre tem sido relatada com uma acurácia aceitável.³⁴ Esta não é, entretanto, uma técnica viável para a implantação longitudinal de eletrodos no hipocampo e teoricamente tem um risco maior de hemorragias, já que os vasos ao longo da trajetória não podem ser visualizados. Este método, porém, reduz o tempo operatório e a necessidade de imagens adicionais.

O sistema sem halo estereotáxico (“*sistema frameless*”) pode ser empregado, mantendo a mesma precisão e segurança do sistema convencional com halo, tornando o procedimento mais rápido e prático.^{35,36}

Assim sendo, a aquisição de imagem pode ser feita em qualquer momento do período pré-operatório, sem a necessidade de adquiri-las no dia da cirurgia, com o halo, como no sistema convencional. Assim sendo o planejamento cirúrgico pode ser feito antes de o paciente ser trazido ao centro cirúrgico permitindo um início rápido do caso no dia da cirurgia.

Utilizando-se um par de braços mecânicos estabilizadores, eletrodos podem ser implantados simultaneamente em ambos os lados da cabeça, por dois neurocirurgiões diferentes, diminuindo pela metade o tempo de implantação. Este sistema também oferece uma flexibilidade maior da área de trabalho durante a cirurgia, tanto para a confecção de uma craniotomia como dos pontos de trepanação para a implantação dos eletrodos no crânio, pois não há a interposição do halo estereotáxico. Além do mais, a aplicação do halo estereotáxico pode ser bastante estressante para o paciente, o que obviamente é evitado neste tipo de implantação.

Finalmente Song et. al.,³⁷ descreveram um método para implantação longitudinal de eletrodos associando o uso do sistema sem halo estereotáxico guiado por neuronavegação com a neuroendoscopia. Através do sistema estereotáxico é estabelecida uma trajetória que coloca o endoscópio no átrio do ventrículo lateral. A seguir, sob visualização endoscópica, o eletrodo é colocado no corno temporal ao longo do eixo do hipocampo, sem penetrar no tecido cerebral. Neste método, devido ao eletrodo não penetrar o tecido do hipocampo ele oferece a vantagem de não lesar o hipocampo que não será ressecado. Embora não se saiba a significância clínica, parece evidente que isto confere teoricamente uma vantagem deste método sobre os demais.

Mantendo seus princípios básicos, conforme desenvolvida por Talairach e Bancaud,¹ a E-EEG foi adaptada ao longo dos anos à evolução das técnicas estereotáxicas, de computação e de imagem com a incorporação sucessiva da angiografia por subtração digital, da RM e do PET nos métodos estereotáxicos de

mapeamento cerebral. Inicialmente realizada através da implantação dos eletrodos com o uso de halo estereotáxico, evoluiu para a utilização atual de técnica estereotáxica guiada por neuronavegação, a qual prescinde a utilização do halo estereotáxico (“*frameless system*”).

Assim sendo, no início da década de 80 foi utilizada a tomografia e a angiografia digital para a localização dos alvos para a implantação dos eletrodos. A partir da segunda metade da década de 80 a imagem de RM substituiu a tomografia, e nos meados dos anos 90 a angiografia digital, método semi-invasivo que envolve a punção da artéria femoral, foi substituída por imagem de angiografia digital por RM através da administração de dose dupla de gadolínio. Este último método não invasivo realizado através de punção de veia periférica, permite o estudo tridimensional dos vasos sanguíneos cerebrais. Para a simplificação do método e melhora de sua acurácia foi introduzido, também nesta mesma época, sistemas de neuronavegação. Na esteira destes avanços, na década de 90, a implantação de eletrodos, que até então era feita com o uso do halo estereotáxico, começou a ser realizada através de um sistema estereotáxico de braço articulado que possibilitava o suporte dos eletrodos (*Free Guide and Computer Assisted Frameless Device*) assistido por neuronavegação sem o uso do halo estereotáxico (Figura 1).

A eficácia da monitorização invasiva pela E-EEG tem se mantido constante ao longo dos anos, porém a avaliação desta eficácia tem sido baseada em diferentes critérios. Utilizando como critério de avaliação para a eficácia do procedimento a capacidade da E-EEG de prover informações críticas que dêem suporte ou contra indiquem a cirurgia, sem levar em consideração o resultado cirúrgico dos pacientes operados após a E-EEG, Guenot et al.³ e Almeida et al.,³⁸ consideraram a E-EEG eficaz em 84% e 96%, respectivamente.

Já outros autores consideraram que, para justificar-se o uso da monitorização invasiva, teria de haver um número substancial de pacientes com focos epileptogênicos localizáveis e que apresentassem um excelente controle das crises após a sua ressecção. Observando estes critérios, os resultados cirúrgicos de diferentes centros, utilizando diferentes técnicas de implantação de EP, foram compilados em um estudo³⁹ que mostrou que 44% deles estão completamente livres de crises. Estas proporções discordam dos resultados muito mais favoráveis obtidos em pacientes operados depois de avaliações não-invasivas. Estes achados provavelmente refletem, portanto, a complexidade particular dos pacientes que precisam de monitorização intracraniana.

A eficiência e a morbimortalidade na implantação de EP tanto pelo sistema *frameless* guiado por neuronavegação quanto pelo sistema convencional com halo estereotáxico é similar.

A morbidade referida pelos centros que utilizam EP varia de 1% a 5%,^{3,35,36,40-44} recaindo quase sempre sobre duas categorias: hemorragia ou infecção. Algumas medidas são importantes para prevenir estas duas principais complicações. A interrupção de anti-inflamatórios não esteróides e a solicitação de exames para checagem do tempo de sangramento em pacientes que tomam ácido valpróico antes da cirurgia podem reduzir o risco de sangramento. Também o uso de técnicas cirúrgicas específicas pode reduzir este risco, como o uso de orifício trepanação ao invés de pequenos orifícios com o diâmetro do eletrodo feitos com *dril*, e a visualização da trajetória do eletrodo do ponto de entrada na superfície cortical até alcançar o alvo, livre de grandes vasos, acessada pela imagem do neuronavegador. Finalmente, a limitação do número de eletrodos a aqueles que são verdadeiramente essenciais, reduz o número de passagens de eletrodos pelo cérebro e reduz assim o risco de hemorragias.

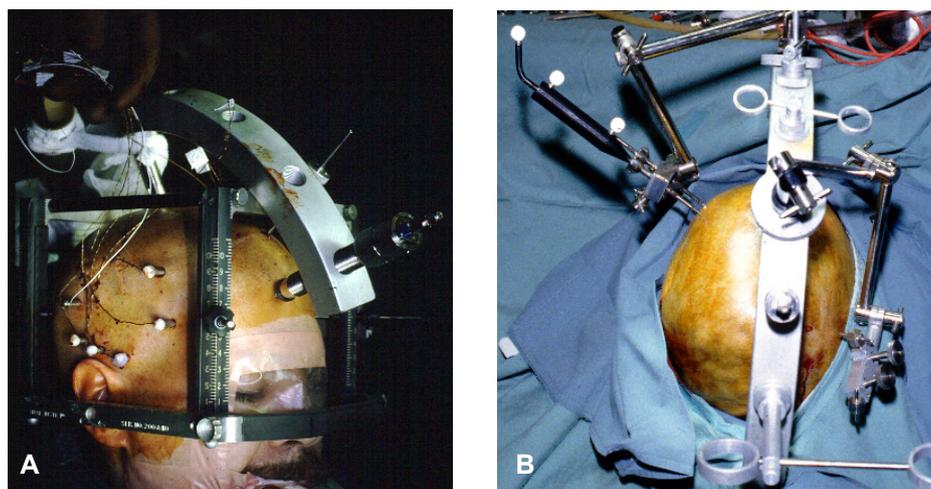


Figura 1. Evolução do sistema estereotáxico para implantação dos eletrodos de profundidade. **A.** Uso do halo estereotáxico. **B.** Uso do sistema “*frameless*” com braços mecânicos bilaterais.

Algumas instituições usam antibióticos intravenosos ou orais em seus pacientes durante o período de implantação dos eletrodos. Entretanto não há dados convincentes que suportem esta prática,⁴⁵ visto que uma grande quantidade de centros somente faz uso de antibióticos no período peri-operatório e suspendem a medicação 24 horas após a cirurgia. Outros, nem fazem uso de antibióticos.⁴⁶ Outra técnica que reduz a infecção é o cuidado com a saída do eletrodo na pele. A saída do eletrodo por contra abertura na pele a vários centímetros do ponto de entrada do eletrodo no crânio com pontos tipo bolsa ao redor da sua saída, reduz o risco de fístula líquórica. A grande maioria das infecções é tratada com sucesso através da retirada do eletrodo associado ao uso de antibióticos endovenosos. Cerebrites e abscessos são extremamente raros.⁴⁷ Dois casos de doença de Jakob-Creutzfeldt⁴⁸ foram relatados, sendo, portanto importante evitar a reutilização dos eletrodos.

Embora extremamente rara, há o relato em algumas séries, de pacientes que morreram em decorrência da implantação de EP.⁴³

Mais recentemente, alguns casos na literatura foram descritos do uso do EP para fins terapêuticos, causando lesões por termo coagulação em pacientes com uma ZE limitada e bem confinada a região de um contado do eletrodo ou quando a cirurgia ressectiva é contraindicada.⁴⁹ EP têm sido também utilizados para indicações menos convencionais, como na estimulação cerebral profunda, como por exemplo, dos núcleos subtalâmicos, encontrando um novo cenário de atuação.⁵⁰

Atualmente, para fins de pesquisa, os EP podem ter acoplado a si, sondas para micro diálise, podendo assim examinar a concentração de substâncias no líquido ou no tecido cerebral de interesse.⁵¹

Para o futuro, pesquisas estão sendo feitas para fabricar eletrodos “inteligentes” que já possuam embutidos seus próprios pré-amplificadores, conversores analógicos para digitais, transmissão sem fio (“wireless”), e geradores de energia próprios. Estudos em fase três estão sendo feitos para aparelhos implantáveis que registrem continuamente a atividade elétrica cerebral e que forneçam uma estimulação elétrica para interromper a atividade das crises através de EP e eletrodos subdurais (Neuropace, La Jolla, CA).

Portanto, existe no futuro, um enorme potencial de incremento para a aplicação dos EP e da E-EEG, tanto para uso diagnóstico como terapêutico. O uso de sistemas robotizados para implantação de EP, a evolução constante das técnicas de imagem e de computação e a utilização de EP com sondas para micro diálise associados a si, abre no futuro a possibilidade de uma precisão ainda maior da técnica de implantação dos EP e da ampliação do entendimento da ZE, com dados eletrofisiológicos e bioquímicos desta região. A descoberta de novos alvos, em localizações profundas e a

fabricação de eletrodos “inteligentes”, poderá incrementar, num futuro próximo, a necessidade da implantação de EP.

REFERÊNCIAS

1. Talairach L, Bancaud J. Stereotaxic approach to epilepsy. *Arch Neurol Psychiatry* 1951; 65:272-90.
2. Olivier A, Gloor P, Quesney LF, Andermann F. The indications for and the role of depth electrode recording in epilepsy. *Appl Neurophysiol* 1983;46:33-6.
3. Guenot M, Isnard J, Ryvlin P, Fisher C, Ostrowsky K, Manguiere F, Sindou M. Neurophysiological monitoring for epilepsy surgery: the Talairach SEEG method. *Stereoelectroencephalography. Indications, results, complications and therapeutic applications in a series of 100 consecutive cases. Stereotact Funct Neurosurg* 2001; 77(1-4): 29-32.
4. van Veelen CW, Debets RM. Functional neurosurgery in the treatment of epilepsy in the Netherlands. Aspects of presurgical evaluation and the contribution of subdural and stereotactically implanted depth electrodes in the Dutch Workgroup for Functional Surgery. *Acta Neurochir (Wien)* 1993;124(1):7-10.
5. Binnie CD, Elwes RD, Polkey CE, Volans A. Utility of stereoelectroencephalography in preoperative assessment of temporal lobe epilepsy. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1994;57(1):58-65.
6. Lee KH, Park YD, King DW, Meador KJ, Loring DW, Murro AM, Smith JW. Prognostic implication of contralateral secondary electrographic seizures in temporal lobe epilepsy. *Epilepsia* 2000;41(11): 1444-9.
7. Blatt DR, Roper SN, Friedman WA. Invasive monitoring of limbic epilepsy using stereotactic depth and subdural strip electrodes: surgical technique. *Surg Neurol* 1997;48(1):74-9.
8. Spencer SS. Depth electroencephalography in selection of refractory epilepsy for surgery. *Ann Neurol* 1981;9(3):207-14.
9. Usui N, Mihara T, Baba K, Matsuda K, Tottori T, Umeoka S, Nakamura F, Terada K, Usui K, Inoue Y. Intracranial EEG findings in patients with lesional lateral temporal lobe epilepsy. *Epilepsy Res* 2008;78(1): 82-91.
10. Penfield W, Jasper H. *Epilepsy and the Functional Anatomy of the Human Brain*. Little Boston: Brown and Co; 1954.
11. Kirikae T, Wada J. Electrothalamogram of petit-mal seizures. *Med Biol* 1951;20:253.
12. Spiegel EA, Wycis HT. Diencephalic mechanisms in petit-mal epilepsy. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1951;3:473-5.
13. Williams D, Parsons Smith G. The spontaneous electrical activity of the human thalamus. *Brain* 1949;72:450-82.
14. Jung R, Reichert T, Heines KD. Technique and value of operative electrocorticography and subcortical deduction of brain potentials. 1951;22:433-6.
15. Dodge HW, Holman CB, Sem-Jacobsen CW, Bickford RG, Petersen MC. Technic of depth electrography. *Mayo Clin Proc* 1953;28: 147-55.
16. Delgado JMR. Use of intracerebral electrodes in human patients. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1956;8:528-30.
17. Spiegel LA, Wycis HT, Marks M, Lee AI. Stereotaxic apparatus for operations on the human brain. *Science* 1947;106:349-50.
18. Spiegel LA, Wycis HT. Thalamic recordings in man with special reference to seizure discharges. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1950;2:23-39.
19. Crandall PH, Walter RD, Rand RW. Clinical applications of studies on stereotactically implanted electrodes in temporal lobe epilepsy. *J Neurosurg* 1963;20:827-40.
20. Bancaud J. Apport de l'exploration fonctionnelle par voie stéréotaxique à la chirurgie de l'épilepsie. *Neurochirurgie* 1959;5:55-112.
21. Bancaud J, Dell MB. Techniques et méthodes de exploration fonctionnelle stéréotaxique des structures encéphaliques chez l'homme (cortex, sous-cortex, noyaux gris centraux) *Rev Neurol* 1939;101:220-1.

22. Talairach J, Bancaud J, Bonis A, Szikla G, Tornoux P. Functional stereotaxic exploration of epilepsy. *Confin Neurol* 1962; 22:328-31.
23. Bancaud J, Talairach J, Bonis A et al. La stereo-electroencephalographie dans epilepsie. Paris: Masson; 1965.
24. Talairach J, Bancaud J. Stereotaxic approach to epilepsy. Methodology of anatomo-functional stereotaxic investigations. *Progr Neurol Surg* 1973;5:297-354.
25. Talairach J, Bancaud J, Szikla G, Bonis A, Geier S, Vedrenne C. Approche nouvelle de la neurochirurgie de l'épilepsie. Méthodologie stérotaxique et résultats thérapeutiques. *Neurochirurgie* 1974;20 (Suppl 1):1-240.
26. Talairach J, Tournoux J. Co-planar stereotaxic atlas of the human brain: Dimensional Proportional System: An Approach to Cerebral Imaging. Stuttgart-New York; Georg Thieme Verlag 1988.
27. Szikla G, Bouvier G, Hori T. In vivo localization of brain sulci by arteriography; a stereotaxic anatomological study. *Brain Res* 1925;95:497-502.
28. Szikla U, Bouvier G, Hori J, Petrov V. Angiography of the human brain cortex. Berlin: Springer; 1977.
29. Talairach J, Szikla G. Application of stereotaxic concepts to the surgery of epilepsy. *Acta Neurochir* 1980;Suppl 30:35-54.
30. Heyman D, Menegalli-Boggelii D, Lajal Y. Adaptation of the Talairach technique to the evolution of medical imaging. *Stereotact Funct Neurosurg* 1997;68:59-63.
31. Devaux B, Nataf F, Meder JF, Turak B, Merienne L. *Prospects and future: evolution of stereotaxic methodology for planning*. *Neurochirurgie* 2001;47:253-9.
32. Pecker J, Jean Talairach. *Surg Neurol* 1980;14:241-2.
33. Chauvel P Contribution of Jean Talairach and Jean Bancaud to epilepsy surgery, In: Lüders HO, Comair YG, eds. *Epilepsy Surgery*. 2nd ed. 541 Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2001. p.35-41.
34. Davies KG, Philips BLB, Hermann BP. MRI confirmation of accuracy of freehand placement of mesial temporal lobe depth electrodes in the investigation of intractable epilepsy. *Br J Neurosurg* 1996;10(2): 175-8.
35. Mehta AD, Labar D, Dean A, Harden C, Hosain S, Pak J, Marks D, Schwartz TH. Frameless stereotaxic placement of depth electrodes in epilepsy surgery. *J Neurosurg* 2005;102(6):1040-5.
36. Murphy MA, O'Brien TJ, Cook MJ. Insertion of depth electrodes with or without subdural grids using frameless stereotaxic guidance systems-technique and outcome. *Br J Neurosurg* 2002;16(2):119-25.
37. Song JK, Abou-Khalil, Konrad PE. Intraventricular monitoring for temporal lobe epilepsy: report on technique and initial results in eight patients. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2003;74:561-5.
38. De Almeida AN, Olivier A, Quesney F, Dubeau F, Savard G, Andermann F. Efficacy of and morbidity associated with stereoelectroencephalography using computerized tomography or magnetic resonance imaging-guided electrode implantation. *J Neurosurg* 2006;104(4):483-7.
39. Engel JJ, Van Ness PC, Rasmussen TB, Ojemann LM. Outcome with respect to epileptic seizures. In: Engel JJ, ed. *Surgical Treatment of the Epilepsies*. New York: Raven Press, 1993:609-622.
40. Cossu M, Chabardès S, Hoffman D, Lo Russo G. Presurgical evaluation of intractable epilepsy using stereo-electro-encephalography methodology: Principles, technique and morbidity. *Neurochirurgie* 2008;54(3):367-373.
41. So N, Gloor P, Quesney LF, Jones-Gotman M, Olivier A, Andermann F. Depth electrode investigations in patients with bitemporal epileptiform abnormalities. *Ann Neurol* 1989;25:423-431.
42. Sansur CA, Frysinger RC, Pouratian N, Fu KM, Bittl M, Oskouian RJ, Laws ER, Elias WJ. Incidence of symptomatic hemorrhage after stereotaxic electrode placement. *J Neurosurg* 2007;107(5):998-1003.
43. Cahan LD, Sutherland W, McCullough MA, Rausch R, Engel J Jr, Crandall PH. Review of the 20-year UCLA experience with surgery for epilepsy. *Cleve Clin Q*. 1984;51(2):313-8.
44. Munari C. Depth electrode implantation at Hôpital Sainte Anne, Paris. In: Engel JJ, ed. *Surgical Treatment of the Epilepsies*. New York: Raven Press, 1987: 583-588.
45. Wyler AR, Walker G, Somes G. The morbidity of long-term monitoring using subdural strip electrodes. *J Neurosurg* 1991;74:734-7.
46. Olivier A, Marchand E, Peters T, Tyler J. Depth implantation at the Montreal Neurological Institute and Hospital. In: Engel J Jr, ed. *Surgical Treatment of the Epilepsies*. New York: Raven Press, 1987:595-601.
47. Espinosa J, Olivier A, Andermann F, Quesney F, Dubeau F, Savard G. Morbidity of chronic recording with intracranial depth electrodes in 170 patients. *Stereotact Funct Neurosurg* 1994; 63:63-5.
48. Wieser HG, Schwarz U, Blättler T, Bernoulli C, Sitzler M, Stoeck K, Glatzel M. Serial EEG findings in sporadic and iatrogenic Creutzfeldt-Jakob disease. *Clin Neurophysiol*. 2004;115(11):2467-78.
49. Guenot M, Isnard J, Ryvlin P, Fischer C, Mauguière F, Sindou M. SEEG-guided RF thermocoagulation of epileptic foci: feasibility, safety, and preliminary results. *Epilepsia* 2004;45;1368-74.
50. Dinner DS, Neme S, Nair D, Montgomery EB Jr, Baker KB, Rezai A, Lüders HO. EEG and evoked potential recording from the subthalamic nucleus for deep brain stimulation of intractable epilepsy. *Clin Neurophysiol* 2002;113:1391-402.
51. Cavus I, Kasoff WS, Cassaday MP, Jacob R, Gueorguieva R, Sherwin RS, Krystal JH, Spencer DD, Abi-Saab WM. Extracellular metabolites in the cortex and hippocampus of epileptic patients. *Ann Neurol*. 2005 57(2):226-35.

Endereço para correspondência:

Ricardo Silva Centeno
 Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP
 Rua Botucatu 862 – Vila Clementino
 CEP 04023-900, São Paulo, SP, Brasil
 Tel.: (11)5041-8715
 E-mail: ricardo_centeno@isic.org