

## ワークショップ：これからのスマート技師教育について

## 試作型脳波検査電極装着用シミュレータの開発

大栗 聖由<sup>\*1 §</sup> 上原 一剛<sup>\*2</sup> 佐々木 強<sup>\*3</sup>  
丸本 恵<sup>\*3</sup> 中山 裕美子<sup>\*3</sup> 前垣 義弘<sup>\*4</sup>

**要旨** 脳波検査は、頭皮上に装着した記録電極からヒトの脳波を記録し、脳機能を評価する検査法である。脳波検査手技は煩雑であるにもかかわらず、電極装着練習が繰り返し実施できる医療教育用シミュレータは存在しない。本稿では、新たに開発した試作型脳波検査電極装着用シミュレータ（以下、試作型シミュレータ）の紹介と、試作型シミュレータ使用前後のアンケート調査結果について報告する。この試作型シミュレータは、マネキン頭部のセンサが電極装着の位置ズレを検知し、検者にパソコン画面上で位置ズレ情報をフィードバックする仕組みとなっている。この試作型シミュレータを使用したアンケート調査には学生47名、病院勤務の臨床検査技師6名が参加した。その結果、試作型シミュレータを使用した検者は、脳波検査に対するイメージが改善し、脳波電極装着の正確さを表す点数が有意に高くなった。本研究で開発した試作型シミュレータを脳波検査手技の習得練習に使用することで、検者の脳波検査技術向上に寄与できる可能性が示唆された。

**キーワード** 医療、教育、脳波検査、シミュレータ、実習、アンケート調査

## 緒言

医療教育分野では医療従事者や実習生の手技向上を目的に、医療教育用シミュレータが使用されている<sup>1)</sup>。また、医療シミュレータ養成コースを開設した学校やシミュレーション状況下での生体反応を調べた報告等、研究分野に発展しているものも散見される<sup>2)3)</sup>。臨床検査の生理検査分野では、心電図や超音波検査に対する教育用シミュレータが開発され、学生教育のみならず技術講習会等にも多用されている<sup>4)</sup>。

脳波検査は、電極装着の手技が煩雑であり、一朝一夕で習得することが困難な検査手技である<sup>5)</sup>。実際の臨床現場で脳波検査に携わる場合、職場の同僚や先輩に声をかけ、業務終了後に脳波電極装着の練習を行ってから患者への装着業務に従事する流れが一般的である。心電図のような医療教育用シミュレータが脳波検査分野にも存在すれば、脳波検査練習を行う初期研修の段階で使用可能である。初期研修の段階でシミュレータを使用することで、検者は被検者に対して手間を取らせることもなく、何時でも練習が可能となる。

<sup>\*1</sup> 香川県立保健医療大学保健医療学部臨床検査学科 § ooguri-m@kagawa-puhs.ac.jp

<sup>\*2</sup> 米子工業高等専門学校総合工学科機械システム部門

<sup>\*3</sup> 株式会社日本マイクロシステム

<sup>\*4</sup> 鳥取大学医学部脳神経医科学講座脳神経小児科学

しかしながら、脳波検査の電極装着練習が可能なシミュレータは存在しない。そこで今回我々は、脳波電極装着のためのシミュレータを企業と共同で開発した。

このシミュレータの特徴は、1. 皮膚抵抗を落とす練習、2. 電極位置ズレの検出、3. 電極装着位置に応じた脳波波形の描出 4. 電極装着位置に対する客観的な技術力の評価、上記4点の評価が可能である。このシミュレータを用いることで、検者は1人で適正な脳波電極位置を学習することができる。

本研究は、将来脳波検査に携わる臨床検査技師や学生、あるいは脳波研究に携わる研究者が、脳波検査技術から脳波判読まで学ぶことができる試作型脳波電極装着用シミュレータ（以下、試作型シミュレータ）の開発を目指すものである。今回は、開発した試作型シミュレータの原理や使用方法について紹介する。また、将来脳波検査に携わる臨床検査技師養成校の学生や現場で働いている臨床検査技師に対して、試作型シミュレータ使用前後におけるアンケート調査を実施し、その結果について検討を行ったので報告する。

## I. 対象と方法

本研究の主な開発内容は、1. 電極位置ズレに

必要なセンサと位置ズレ検知プログラムの開発、2. 類似脳波波形生成プログラムの開発の2点である。

### 1. 電極位置ズレに必要な圧力センサと位置ズレ検知プログラムの開発

#### A. 電極位置ズレセンサの選定（図1）

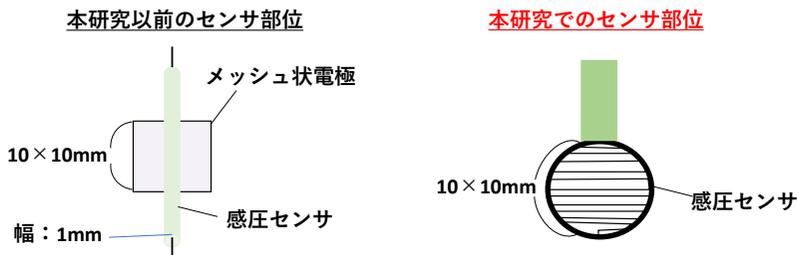
本研究で用いた圧力センサは、検知範囲が以前開発していたもの<sup>6)</sup>と比較し約10倍であり、圧力センサ自体の厚みが0.2 mmのものを採用した。検知範囲を広げたため、今回のシミュレータは検者が脳波検査電極を装着した際のズレを検知することが可能で、センサ自体に触れて電極位置を推定することは不可能なため、脳波検査電極装着の練習に適しているセンサとして採用した。

#### B. 電極位置ズレ検知プログラムの作成

脳波検査電極の位置ズレ量を検知するため、我々は圧力センサ中心点からのズレによる抵抗減少値を用いた。検知範囲は、本研究で用いた圧力センサの中央から最大14 mm未満であり、この圧力センサ検知範囲を検知プログラムとした。この検知プログラムを応用して、皮膚抵抗を落とす操作を判定できるように設定した。

### 2. 類似波形生成プログラムの開発

本研究におけるもう一つの特徴として、我々は



検討項目	本研究以前のセンサ	本研究に使用したセンサ
検知範囲	2~3mm	20 mm~21 mm
感圧センサの厚み	2~3mm	0.2~0.3 mm
カツラの上からの触知	触知可能	ほぼわからない

図1 試作型脳波検査電極装着用シミュレータに使用したセンサの変遷

本研究以前のセンサ部位は厚みがあり、カツラの上からでも触知可能であったため、脳波練習時に配置場所が特定され検知範囲も狭いという弊害があった。本研究で使用したセンサは、カツラの上から触知は不可能で、検知範囲も以前の約10倍に改善された。

電極位置ズレ量の大きさに応じて脳波波形を調整してシミュレータの画面に表示する、類似脳波波形生成プログラムを開発した。波形生成フローチャートは図2にまとめた。圧力センサ中央をマネキン頭部の適切な脳波検査電極装着場所と仮定し、脳波検査電極が適切に装着できた場合はその位置に適した脳波波形がシミュレータの画面に表示される。一方、圧力センサの検知範囲内であるが装着場所がずれている場合は、位置ズレに応じた脳波波形を表示するため、脳波波形にフィルタリング処理を行った波形をパソコン画面に表示した。センサの検知範囲外であれば、センサ範囲外と推測される場所の脳波波形が表示されるように開発した。

#### A. 脳波解析に基づく位置ズレによる 脳波波形変化の推定

類似脳波波形を作成するため、健常成人15人の脳波を記録した。通常脳波検査では頭皮上に19個の電極を装着するのが一般的である。しかしながら、本研究では、ある電極が前後にずれた場合にそのずれを脳波解析結果から表示できるようにするため、脳波電極を追加で装着して通常電極を装着しない8カ所の脳波データを記録し利用した。その後、すべての脳波を平均値化し疑似脳波

波形を作成した。

#### B. 脳波原波形と脳波解析結果を用いた 波形変化生成プログラム

プログラミングソフト (python) を用いて、脳波解析結果から脳波電極の位置ズレに応じた波形を生成する脳波波形変化生成プログラムを作成した。このプログラムは high-cut filter や low-cut filter といったフィルタリング技術を応用して脳波電極の位置ズレに応じた波形を生成するものである。仕組みについては、図3のように F3 という電極を対象とした場合、この F3 の真の脳波波形は青色で表示したものである。F3 の真の脳波波形に対して脳波のスペクトル解析を行い、各周波数のパワー成分を算出した。棒グラフの左から、緑色 (0.5 ~ 3.9 Hz)、黄色 (4.0 ~ 7.9 Hz)、赤色 (8.0 ~ 12.9 Hz)、青色 (13.0 ~ 29.9 Hz)、水色 (30.0 ~ 39.9 Hz) の周波数成分ごとに結果が表示されている。電極装着がセンサに対して右側にずれた場合、事前に記録したずれた場所の脳波解析結果から周波数成分を算出しておき、それぞれの周波数成分に応じたフィルタ補正後の脳波波形を生成する。最終的にこのフィルタ補正後の脳波波形を用いて、F3 電極装着がずれていることが視覚的に判断できる脳波波形をパソコン画面に表示する

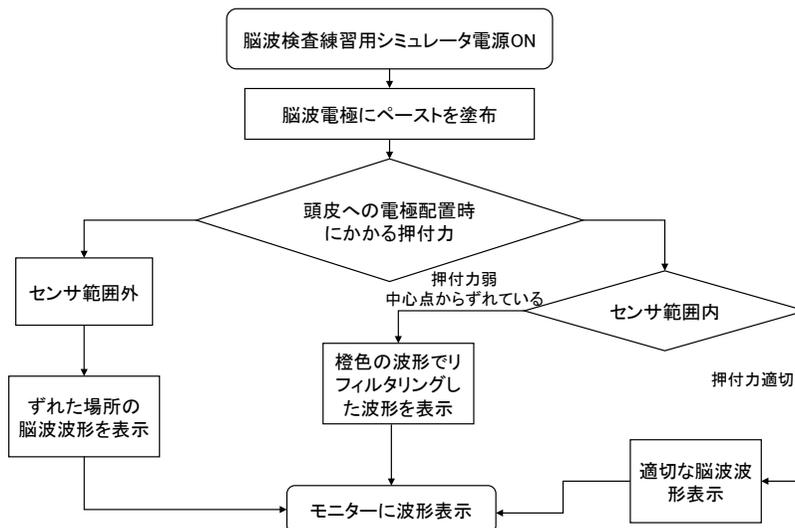


図2 試作型脳波検査電極装着用シミュレータの動作手順

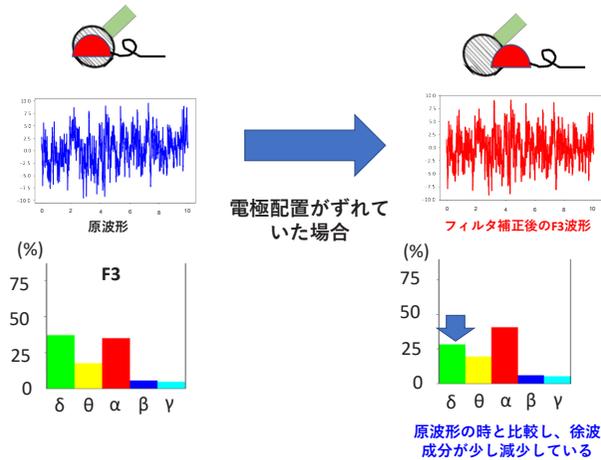


図3 フィルタリング加工による脳波の変化

F3の原脳波波形と比較し、電極配置が行われた場所では $\delta$ 周波数帯域のpower値が減少している。原波形に対して $\delta$ 周波数成分のみを軽度除去できるフィルタリング加工を行い、フィルタ補正後の脳波波形をパソコン上に表示している。

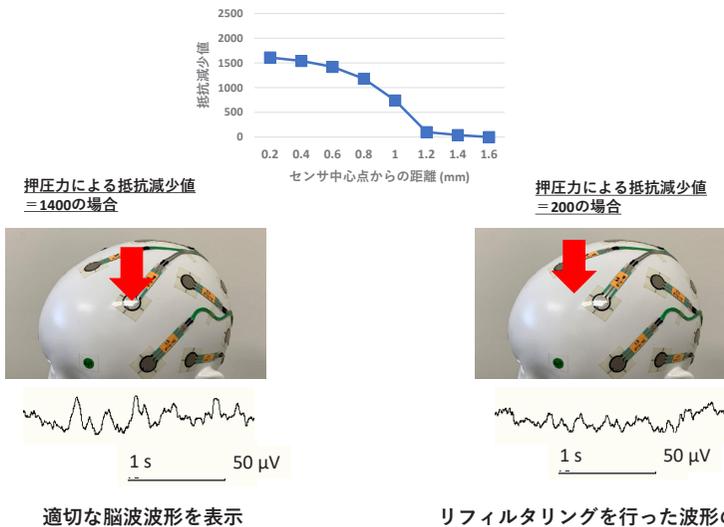


図4 検知プログラムと類似波形生成プログラムの関係

プログラムとした。

### 3. 検知プログラムと類似波形生成プログラムの関係

本研究で作成した検知プログラムと類似波形生成プログラムについて、どのように関連付けて試作型シミュレータに応用したのかを説明する。図4のように、試作型シミュレータへの電極装着時の

抵抗減少値が1,400だった場合、電極装着場所がセンサ中央に近いと判断し、電極装着場所に合った適切な脳波波形を表示する。一方、抵抗減少値が200だった場合、センサ中央から1 cm以上離れていると判断し、適切な脳波波形にフィルタリング加工を行ったずれた場所の推定脳波波形として表示する。また、電極がセンサ範囲外について

いる場合は、かなりずれていると判断し、外れた場所の脳波波形をモニターに表示する。このようなプログラムにより、検者は脳波検査電極のズレ具合を脳波により確認しながら練習することができる。

#### 4. 試作型シミュレータを用いたアンケート調査

アンケート調査は、香川県立保健医療大学の学生47名および臨床現場で働いている臨床検査技師6名を対象とし、2020年10月から2021年3月の期間に実施した。本研究のアンケート調査は香川県立保健医療大学倫理委員会の承認を得て実施した(承認番号:296)。アンケート対象者に対して事前にインフォームドコンセントを行い、承諾を得た学生および臨床検査技師に対して検討を行った。また、試作型シミュレータの開発に関して、香川県立保健医療大学と株式会社日本マイクロシステムは共同研究契約を締結して実施したが、利益相反には該当しない。

アンケート調査は、試作型シミュレータの使用前後にそれぞれ実施した。使用前では、脳波検査のイメージ、脳波電極装着時間、すべての電極装着後に電極装着の正確さを点数表示した電極装着点数についてアンケート調査を行った。電極装着点数表示については、0～100点の間で表示されるように設定した。次に、シミュレータの使い方について研究対象者に説明した後、研究対象者一

人につき30分間試作型シミュレータで脳波電極の貼り付け練習を体験させた。最後に、試作型シミュレータ使用後の技術力向上を調査するため、脳波検査のイメージ、脳波電極装着時間、電極装着点数について再度アンケート調査を行った。アンケート調査はいずれの項目も5段階で評価した。また、試作型シミュレータ使用について感想を記述できる自由記述欄も設けた。

#### 3. 統計解析

統計解析にはIBM SPSS statistics version 27 (IBM, 東京, 日本)を使用した。アンケート評価項目ごとの結果と本シミュレータ使用前後における関係性について $\chi^2$ 検定を用い、 $p < 0.05$ を有意水準とした。また、使用前後における電極装着点数の有意差検定として、welchのt検定を用いた。

## II. 結果

アンケート調査の結果を図5に示す。脳波検査のイメージについて、試作型シミュレータ使用前では94%の学生が「難しい」もしくは「やや難しい」と回答していたが、使用后では「難しい」もしくは「やや難しい」と回答した学生が54%に減少していた( $p < 0.001$ )。電極装着時間について、試作型シミュレータ使用前では50分10%、40分22%、30分34%と66%の学生で30分以上電極装着時間を必要としていた。試作型シミュレータ

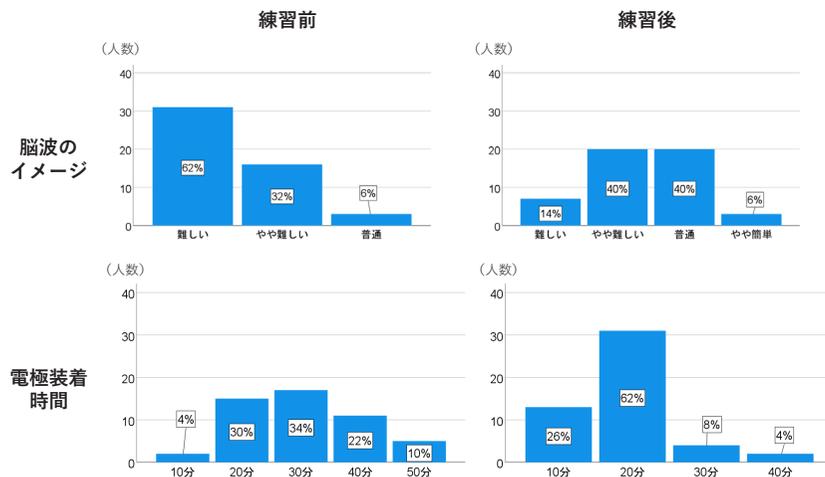


図5 アンケート調査結果

使用後は、電極装着時間を30分以上必要とした学生は12%と有意に減少した( $p < 0.001$ )。電極装着点数について、試作型シミュレータ練習後の $56.98 \pm 15.35$ 点(平均点 $\pm$ SD)は練習前の $34.58 \pm 14.94$ 点(平均点 $\pm$ SD)と比較し有意に上昇した( $p < 0.001$ )。

また、自由記述欄に記載された内容として、「マネキン相手の練習であるため、人を相手にする時よりもプレッシャーは感じなかった」、「貼れたか貼れていないか色分けしてくれてわかりやすかった」、「カツラがごわついているので、人に近い生え方をしているカツラを買うべき」という意見が認められた。臨床現場で働いている技師からのコメントとしては、「病院施設では購入ではなく短期リースとして貸出が理想的」という意見を認めた。

### III. 考 察

本研究では、将来脳波検査に携わる臨床検査技師を目指す学生や臨床現場で働く臨床検査技師、あるいは脳波研究に携わる研究者が、脳波電極装着練習の導入時に使用できる試作型シミュレータを開発した。そして、本研究で開発した試作型シミュレータを用いたアンケート調査では、試作型シミュレータが脳波電極装着の技術向上に寄与する可能性が示唆された。

今回開発した試作型シミュレータの特徴は、電極位置ズレに必要なセンサと位置ズレ検知プログラムと類似脳波波形生成プログラムを実装している点である。電極位置ズレに必要なセンサと位置ズレ検知プログラムでは、電極装着位置がずれた場合どの程度のズレまで検知できるかを設定した。初期段階のシミュレータ<sup>6)</sup>では、位置ズレの程度までは検知できなかったため、本研究結果より検知範囲の拡大に成功した。

臨床現場で脳波検査に携わる医療従事者は、電極位置ズレを脳波波形から読み取ることができる。また、電極装着の接着不良時には、脳波波形にアーチファクトが混入することが知られている<sup>7)</sup>。本研究にて脳波電極の位置ズレを検知可能となったことで、電極位置ズレを脳波波形に反映し、脳波波

形から検者が電極位置ズレを判読することが可能となった。

アンケート調査の結果から、試作型シミュレータを用いることで脳波電極装着の技術向上に貢献できる可能性が示唆された。河北ら<sup>8)</sup>は腹腔鏡シミュレータを用いた医学教育を医学生に行い、その分野への興味を持たせる手段や事前学習に有用であったと報告している。また、シミュレータを用いた教育を行うことは、知識だけでなく検査手技スキルを習得するうえでも役に立つ<sup>9)</sup>。今回のアンケート調査の結果から、初学者がヒトで脳波検査を練習する際にヒト対象ということ自体がプレッシャーの原因になっていることが明らかになった。脳波検査は手術と異なり侵襲性がそれほど高くない検査であるが、患者相手の検査となるとコミュニケーション能力やいたわる心など検査手技以外の能力も必要になる。繰り返し練習可能なシミュレータが存在することで、検査手技の定着とそれに伴う自信をつけることが可能となり、ヒト相手に対する検査前の導入に有用であると考えられた。

昨今、本邦においてインターネットを利用した遠隔脳波判読が試みられている<sup>10)</sup>。この試みは、熟練した脳波判読医が常駐しない地域の脳波検査結果に対して、インターネットを利用して他病院の脳波判読医が診断するシステムである<sup>11)12)</sup>。これは昨今の医師不足や医師の偏在が背景にあり、脳波判読医が常駐しない病院では脳波検査を臨床検査技師に委ねられる可能性が高い。将来インターネットを用いた脳波判読が一般的な診療となれば、脳波判読医が常駐していない病院において、臨床検査技師による質の高い脳波検査が必要となる。臨床検査技師が質の高い検査を行うことは、再検査時に生じる患者の移動費や時間の負担軽減につながり、診断までの時間短縮や意識障害等の迅速な診断に有用である。これらのことから、試作型シミュレータを用いることで、脳波診断に必要な脳波検査結果の質の担保に貢献できる可能性が考えられた。

本研究の限界点として、2点挙げられる。1点目は、脳波電極装着ずれの視覚化が不十分なこと

である。現在は電極装着位置のズレの程度を4色で判断するように設定しているが、頭部モデルのような2次元画面での表示はできない。今後はより検者の視覚に訴えられるように2次元の画像として位置ずれを表示できる検討を行いたい。2点目は、脳波判読画面改良の必要性である。現時点では脳波電極装着の優劣や覚醒時の脳波のみ表示されるように設定している。今後はさまざまなかん波形や睡眠・昏睡時の脳波波形を収録し、脳波波形の判読練習も行えるシミュレータを開発する必要がある。

#### IV. 結 語

本研究にて、脳波検査初学者が独りで脳波検査を練習できる試作型脳波検査電極装着用シミュレータを開発した。また、臨床検査技師を目指す学生や現場で働く臨床検査技師に対して試作型シミュレータ使用前後におけるアンケート調査を実施し、試作型シミュレータが脳波電極装着の技術向上に寄与する可能性が示唆された。今後は、脳波電極装着練習のみならず脳波判読練習も併せて実施可能なシミュレータへ発展させていきたい。

#### 文 献

- 1) 藤原道隆, 林雄一郎, 高見秀樹, 小寺泰弘, 小田昌宏, 森健策. 胆膵外科手術教育におけるVR技術. 胆と膵 2022; 43 (12): 1663-70.
- 2) 新井恵津子, 近藤真紀子. シミュレーション教育を活用した成人看護学実習前演習における学習効果の検討. 日本シミュレーション医療教育学会雑誌 2021; 9: 47-52.
- 3) 二宮伸治, コリー紀代, 小水内俊介, 近野敦, 金井理, 高橋望, その他. 痰吸引トレーニングシミュレー

タのための痰吸引量およびカテーテル接触荷重リアルタイム計測装置の開発. 日本シミュレーション医療教育学会雑誌 2018; 6: 92-8.

- 4) 田中和美. Vol.25 周産期医療におけるシミュレータとトレーニングプログラムの発展. 医学の歩み 2019; 270 (3): 265-72.
- 5) 日本臨床衛生検査技師会. 神経生理検査技術教本. 東京: じほう 2015: 38-43.
- 6) 大栗聖由, 上原一剛, 秋山翔太, 池口拓哉, 佐々木強, 丸本恵, その他. 脳波検査電極配置用シミュレータの学生への教育的効果. 臨床検査学教育 2020; 12 (2): 184-9.
- 7) 杉山邦男, 長尾建樹. 脳波電極を正しく貼るコツ. 検査と技術 2013; 41 (3): 213-6.
- 8) 河北貴子, 加藤剛志, 門田友里, 白河綾, 木内理世, 吉田加奈子, その他. コロナ禍における腹腔鏡シミュレーターを用いた医学教育への取り組み. 四国医学雑誌 2023; 79: 103-8.
- 9) 木村陽介, 菊地利明. 医学・医療におけるシミュレータの進歩と普及 Vol.22 気管支鏡シミュレータ - 医学学生・レジデント教育における気管支鏡シミュレータの有用性. 医学のあゆみ 2019; 269 (11): 877-82.
- 10) 人見健文, 谷岡洗介, 池田昭夫. デジタル脳波の脳波判読診断. 臨床神経生理学 2017; 45 (6): 507-11.
- 11) Campos C, Caudevilla E, Alesanco A, Lasierra N, Martinez O, Fernández J, et al. Setting up a telemedicine service for remote real-time video-EEG consultation in La Rioja (Spain). Int J Med Inform 2012 Jun; 81 (6): 404-14. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2012.01.006. Epub 2012 Feb 10. PMID: 22326706.
- 12) Coates S, Clarke A, Davison G, Patterson V. Tele-EEG in the UK: a report of over 1,000 patients. J Telemed Telecare 2012 Jul; 18 (5): 243-6. doi: 10.1258/jtt.2012.111003. Epub 2012 Jul 11. PMID: 22790012.