DOI: 10.22122/jims.v36i482.9954 Published by Vesnu Publications

مجله دانشکده پزشکی اصفهان سال سی و ششم/شماره‌ی ۴۸۲/هفته‌ی دوم مرداد ۱۳۹۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۲۱ تاریخ چاپ: ۱۳۹۷/۵/۸

ارزیابی آشوبناکی سیگنال الکتروانسفالوگرام در سطوح مختلف بیهوشی

احسان محمدی[۱]، سعید کرمانی[۲]، محمد گلپرور[۳]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: امروزه، دستیابی به نمایشگرها و ابزارهایی که به طور دقیق قادر به تعیین خودکار عمق بیهوشی از روی سیگنال الکتروانسفالوگرام باشند، بسیار مورد توجه است. هدف از انجام این پژوهش، ارایه‌ی رویکردی جهت ارزیابی دینامیسم آشوب مغز و فعالیت الکتریکی منتج از آن به منظور بهره‌گیری از دستاوردهای این نظریه در علوم شناختی است.

روش‌ها: بر اساس نظریه‌ی آشوب، سیگنال الکتروانسفالوگرام در سطوح مختلف بیهوشی تجزیه و تحلیل و ویژگی‌های آشوبناکی سیگنال استخراج گشت و از نظر مسیر، حالت سیستم آشوبناک مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور ارزیابی تأثیر عمق بیهوشی بر آشوبناکی سیگنال الکتروانسفالوگرام، مدل‌های مختلفی مبتنی بر طبقه‌بند Random forest (RF) و ماشین بردار پشتیبان (Support vector machine یا SVM) ایجاد شد. همچنین، روشی جهت استخراج شاخص‌های بزرگ‌ترین نمای Lyapunov (Lyapunov exponent) و بعد فرکتال Higuchi (Higuchi's fractal dimension) از روی سیگنال تک کاناله‌ی الکتروانسفالوگرافی مربوط به ۲۰ بیمار تحت عمل جراحی با بیهوشی توسط گاز استنشاقی پیشنهاد گردید و با روش K-fold مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: ارزیابی مدل‌های مستخرج نشان دهنده‌ی تکرارپذیری و تفکیک‌پذیری بسیار خوب این مدل‌ها با صحت بالای ۹۳ درصد است.

نتیجه‌گیری: مغز و فعالیت الکتریکی منتج از آن، دارای دینامیسم آشوب است؛ از این رو، می‌توان از دستاوردهای نظریه‌ی آشوب علاوه بر بهره‌گیری در گسترش نمایشگرهای سطح بیهوشی در بسیاری از پژوهش‌های علوم شناختی در تجزیه و تحلیل سیگنال الکتروانسفالوگرام نیز بهره برد.

واژگان کلیدی: بیهوشی، آشوب، الکتروانسفالوگرام، فرکتال

ارجاع: محمدی احسان، کرمانی سعید، گلپرور محمد. **ارزیابی آشوبناکی سیگنال الکتروانسفالوگرام در سطوح مختلف بیهوشی.** مجله دانشکده پزشکی اصفهان ۱۳۹۷؛ ۳۶ (۴۸۲): ۶۰۶-۶۰۱

مقدمه

تعیین صحیح عمق بیهوشی، در هر عمل جراحی امری ضروری است؛ به طوری که افزایش بیش از حد این عمق، شانس مرگ مغزی و یا اختلالات شناختی پس از هوشیاری را افزایش می‌دهد و کاهش آن، علاوه بر این که احتمال به هوش آمدن ناخواسته‌ی بیمار را افزایش می‌دهد، می‌تواند عامل خاطرات کابوس‌وار پس از هوشیاری شود. بدین ترتیب، امروزه دستیابی به نمایشگرها و ابزارهایی که به طور دقیق قادر به تعیین خودکار عمق بیهوشی از روی سیگنال الکتروانسفالوگرام (Electroencephalogram یا EEG) باشند، بسیار موردتوجه می‌باشد. یک تحلیل گسترده از تأثیر بالینی این ابزارها در آزمایش‌های تصادفی که شامل ۱۳۸۰ بیمار تحت عمل جراحی می‌شد، نشان می‌دهد که استفاده از مراقبت و پایش خودکار عمق بیهوشی، به‌طور متوسط مصرف مواد بیهوشی را کاهش می‌دهد، در احساس سرگیجه و تهوع و همچنین، زمان ماندن در اتاق ریکاوری مؤثر است (۲-۱).

Nguyen-Ky و همکاران، با استفاده از ویولت، بردار ویژه، تخمین طیف به وسیله‌ی ماتریس کرولیشن (Correlation matrix) و روش‌های طبیعی‌سازی، معیار جدیدی برای تعیین عمق بیهوشی معرفی کرده‌اند. آن‌ها ویولت Daubechies را ترجیح دادند و از آن برای تخمین بیهوشی در ۵ سطح استفاده نمودند. نتایج نشان از انطباق خوب این شیوه با شاخص دوطیفی (Bispectral index یا BIS) است (۳).

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی پزشکی (بیوالکتریک) و کمیته‌ی تحقیقات دانشجویی، دانشکده‌ی فن‌آوری‌های نوین در علوم پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی پزشکی (بیوالکتریک)، دانشکده‌ی فن‌آوری‌های نوین در علوم پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- استاد، گروه بیهوشی، دانشکده‌ی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

نویسنده‌ی مسؤول: سعید کرمانی

Email: kermani@med.mui.ac.ir

نظریه‌ی آشوب، یکی از نظریه‌های مورد توجه جهت بیان ویژگی‌های یک سیگنال حیاتی است. طبق این نظریه، سیستم‌های آشوبناک سیستم‌های دینامیک غیر خطی هستند که حساسیت بالایی نسبت به شرایط اولیه دارند؛ به طوری که تغییرات اندک در شرایط اولیه‌ی آن‌ها، موجب تغییرات بسیار زیاد در فضای حالت سیستم خواهد شد. این پدیده، به اثر پروانه‌ای مشهور است (۴).

در این سیستم‌ها، مسیر حالت (System trajectory) در غایت نظم است، اما بر اثر پیچیدگی، رفتار آن‌ها ظاهر بی‌نظمی دارد. ارتباط نرونی در مغز، به عنوان یک سیستم با رفتاری آشوبناک مورد توجه بسیاری از محققین بوده است. ارزیابی آشوب‌گونه بودن رفتار یک سیستم با توجه به رصد فضای حالت و ویژگی‌های مستخرج از فضای حالت آن بدون توجه به ساختار درونی آن میسر است. از جمله مهم‌ترین ویژگی‌ها برای ارزیابی آشوبناکی یک سیستم، بعد فرکتال (Fractal dimension یا FD) و نمای Lyapunov (Lyapunov exponent) است. از این شاخص‌ها که دینامیک غیر خطی سیستم‌های بیولوژیک را ارزیابی می‌کنند، در تشخیص بیماری‌ها از روی تصاویر پزشکی و سیگنال‌های پزشکی استفاده شده است (۷-۵). در این پژوهش، بر اساس نظریه‌ی آشوب، سیگنال الکتروانسفالوگرام در سطوح بیهوشی عمیق، بیهوشی سبک و هوشیاری تجزیه و تحلیل می‌شود و ویژگی‌های آشوبناکی سیگنال استخراج و مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. می‌خواهیم به این سؤال پاسخ دهیم که «آیا الکتروانسفالوگرافی که منتج از فعالیت مغزی است، در سطوح مختلف بیهوشی و طبق نظریه‌ی آشوب دارای رفتار و دینامیسم سیستم‌های آشوب‌گونه است؟».

روش‌ها

در این مطالعه به‌منظور ارزیابی تأثیر عمق بیهوشی بر آشوب‌ناکی سیگنال از مجموعه داده ای استفاده شده که در برخی از مطالعات قبلی از آن استفاده و معرفی شده است (۹-۸). این مجموعه شامل سیگنال الکتروانسفالوگرام از ۲۰ بیمار تحت عمل جراحی عمومی و یا ارتوپدی با بیهوشی توسط گاز استنشاقی سووفلوران است. از بیماران رضایت نامه کتبی گرفته شده است. مرجع ثبت سیگنال مغزی و تعیین عمق بیهوشی دستگاه مانیتورینگ آنتروپی کمپانی Datex-ohmed می‌باشد (۱۰). بر اساس میزان دو آنتروپی محاسبه شده توسط دستگاه (آنتروپی پاسخ و آنتروپی حالت)، به دادگان سه برچسب هوشیاری، بیهوشی سبک وبیهوشی عمیق زده می‌شود (۱۱). سیگنال ثبت شده، یک کاناله و دارای باند فرکانسی ۴۷-۰/۸ بود که با فرکانس ۱۰۰ هرتز نمونه‌برداری شد. این نمایشگر، سیگنال الکتروانسفالوگرام تک کاناله را به همراه دو آنتروپی پاسخ (Response entropy یا RE) و آنتروپی حالت (State entropy یا SE) ثبت می‌نماید و نمایش می‌دهد. مدت زمان مراقبت و پایش بیماران، ۲۹۰۱ دقیقه بود که به ترتیب ۲۴/۳۸، ۱۸/۶۱ و ۵۷/۰۱ درصد آن در حالت‌های هوشیار، بیهوشی سبک و بیهوشی عمیق طبقه‌بندی شد. شاخص‌های آشوبناکی مورد بررسی در این پژوهش بعد فرکتال Higuchi و بزرگ‌ترین نمای Lyapunov است. برای این منظور، سیگنال به قطعات یک ثانیه‌ای با هم‌پوشانی ۰/۵ ثانیه تقسیم شد و برای هر قطعه، شاخص‌های پیش‌گفته محاسبه و در بازه‌های پنج ثانیه، مقدار میانه‌ی این ویژگی‌ها محاسبه و به‌عنوان شاخص این پنج ثانیه انتخاب گردید.

ویژگی‌های مهم سیگنال الکتروانسفالوگرام: برای محاسبه‌ی ویژگی‌های آشوبناکی سیگنال الکتروانسفالوگرام، از قضیه‌ی محاط Taken استفاده گردید (۱۲). به استناد این قضیه، در سیستم دینامیک چند بعدی، سری زمانی مربوط به یک متغیر می‌تواند برای تعیین بسیاری از خصوصیات دینامیک کل سیستم به کار رود. این قضیه، به ما اطمینان می‌دهد که بستر جذب بازسازی شده، همه‌ی خصوصیات بستر جذب اصلی را حفظ می‌کند و رفتار ترژکتوری در فضای بازسازی شده از روی سری زمانی (اگر بعد این فضا مناسب و کافی انتخاب شود)، هندسه‌ی مشابهی با ترژکتوری اصلی خواهد داشت و شاخص‌های آشوبناکی با دقت خوبی از روی آن قابل احتساب می‌باشد. برای این منظور، اگر x(n) برای N, ..., ۲, ۱ = n سری زمانی سیگنال الکتروانسفالوگرام باشد، از روی آن مطابق رابطه‌ی (۱)، می‌توان فضای حالت یا بستر جذب محاط کننده‌ی m بعدی را ساخت:

$$X(i) = [x(i+\tau), x(i+2\tau), \dots, x(i+(m-1)\tau)] \quad i = 1,2,\dots,N-(m-1)\tau \qquad (۱)$$

که در آن X(i)، بردار بیانگر نقطه‌ی iام از فضای حالت سیگنال است. این فضا شامل N-(m-1)τ نقطه می‌باشد. τ، تأخیر زمانی است. روش‌های زیادی برای تخمین τ وجود دارد که در این مطالعه، از روش خود مانایی (Autocorrelation) استفاده شده است. ابتدا تابع خود مانایی طبیعی‌سازی شده، طبق رابطه‌ی (۲) محاسبه می‌شود:

$$g(n) = \frac{\sum_k x_k x_{k+n}}{\sum_k |x_k|^2} \qquad (۲)$$

و سپس، با فرض نمایی بودن تابع شباهت، τ از روی تابع خود مانایی و از رابطه‌ی (۳) تخمین زده می‌شود:

$$g(n) = a * e^{-n\tau} \qquad (۳)$$

در واقع، میزان همبستگی و شباهت را در سیگنال اندازه‌گیری و با محاسبه‌ی آن، می‌توان میزان درستی از متغیرهای مستقل را که برای

مدل کردن سیستم نیاز است، به دست آورد. از این رو، افزایش میزان همبستگی و خود مانایی معادل نیاز به متغیر کمتر برای مدل کردن سیگنال است. بعد فرکتال Higuchi، به عنوان یکی از معیارهای محاسبه‌ی پیچیدگی و آشوبناکی سیگنال در بررسی تغییرات سیگنال مغزی در حین بیهوشی (۱۳) و در سایر فرایندهای بیولوژیکی (۱۵-۱۴) مورد توجه است. از طرفی، نماهای Lyapunov حساسیت سیستم را به شرایط اولیه کمی‌سازی و مقدار ناپایداری یا قابلیت پیش‌بینی سیستم را کمی می‌کنند. یک سیستم دینامیک m بعدی، m نمای Lyapunov دارد. در بیشتر کاربردها، کافی است که تنها بزرگ‌ترین نمای Lyapunov به جای تمام نماهای Lyapunov محاسبه شود. الگوریتم‌های زیادی برای تخمین بزرگ‌ترین نمای Lyapunov (Largest Lyapunov exponent یا LLE) وجود دارد که بیشتر آن‌ها زمان اعمال به یک سری کوتاه مدت، قابل اعتماد نیستند. در این مقاله، از روشی که توسط Rosenstein و همکاران پیشنهادشده بود، استفاده گردید که نسبت به طول دادگان بسیار قوی (Robust) است (۱۶).

اهمیت Burst suppression ratio (BSR) و نحوه‌ی محاسبه آن: شاخص مهمی که در بسیاری از منابع و سیستم‌ها جهت پایش سطح بیهوشی به کار می‌رود، شاخص زمانی الگوی ایست فعالیت مغزی (BSR) است. با افزایش عمق بیهوشی، سیگنال الکتروانسفالوگرام در بازه‌های زمانی خاصی دچار افت بسیار شدید دامنه می‌شود، اما با عمیق‌تر شدن بیهوشی و در طی بازه‌های زمانی کوتاه، دامنه‌ی سیگنال به شدت افزایش و سپس، دوباره کاهش می‌یابد. به نسبت این بازه‌های زمانی (بازه‌ی زمانی افزایش شدید دامنه به بازه‌ی زمانی کاهش شدید دامنه) که به صورت درصد بیان می‌شود، BSR گفته می‌شود. افزایش BSR مقارن با افزایش عمق بیهوشی است. در این پژوهش، برای محاسبه‌ی BSR، از روش پیشنهاد شده در مطالعات پیشین (۱۷) استفاده شد.

طبقه‌بندی کننده‌ها: در این پژوهش، برای تعیین عمق بیهوشی، از بین طبقه‌بندهای رایج، روش‌های ماشین بردار پشتیبان (Support vector machine یا SVM)، نزدیک‌ترین همسایه (K nearest neighbors یا KNN) و Random forest (RF) مورد بررسی قرار گرفت (۱۸). بهترین نتایج با طبقه‌بند RF به دست آمد. در این روش طبقه‌بندی، تعداد زیادی درخت تصمیم‌گیری در فرایند آموزش ایجاد می‌شود (۱۹). در پژوهش حاضر، تعداد این درخت‌ها به ۱۰۰ درخت محدود گردید.

یافته‌ها

در این پژوهش، با به کارگیری طبقه‌بندهای پیش‌گفته و استخراج سه ویژگی از سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام یک ثانیه‌ای با هم‌پوشانی ۵۰ درصد و با استفاده از اپراتور میانه برای هر بازه‌ی پنج ثانیه‌ای، عمل استخراج ویژگی انجام شد. سپس، بدون در نظر گرفتن وابستگی آن‌ها به صورت تصادفی ویژگی‌های پیش‌گفته مرتب و از روش k fold cross validation با K = ۳۰ برای ارزیابی استفاده شد. این روش معمول، ۱۰ بار تکرار گردید تا از عدم وابستگی نتایج به سایر عوامل تأثیرگذار بر تبیین مدل اطمینان حاصل شود و فرایند از تکرارپذیری بالایی برخوردار گردد. صحت مدل‌ها بر اساس نسبت بین تعداد بخش‌های الکتروانسفالوگرام که درست برچسب‌گذاری شوند، به کل بخش‌های اعمال شده تعریف شد. مقایسه‌ی نتایج به دست آمده از مدل‌های حاصل از سه رویکرد طبقه‌بندی، نشان می‌دهد که مدل‌های حاصل از RF از صحت بالاتری برخوردار بودند. نتایج ارزیابی مدل RF بر روی کل دادگان (شامل ۳۴۸۲ بخش الکتروانسفالوگرام) مطابق جدول ۱ می‌باشد. مقادیر میانگین طبیعی‌سازی شده‌ی شاخص Lyapunov و بعد فرکتال Higuchi برای هر گروه در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱. نتایج ارزیابی مدل Random forest (RF) بر روی کل دادگان

	FD & BSR	LLE & BSR	FD & LLE & BSR
میانگین صحت مدل	۹۲/۳۰	۹۲/۹۵	۹۳/۴۱
واریانس صحت مدل	۱/۰۸	۰/۶۷	۱/۰۸

FD: Fractal dimension; BSR: Burst suppression ratio; LLE: Largest Lyapunov exponent

جدول ۲. مقادیر میانگین طبیعی‌سازی شده‌ی شاخص Lyapunov و بعد فرکتال Higuchi برای هر گروه

	هوشیاری	بیهوشی سبک	بیهوشی عمیق
LLE	۳/۳۷۰ ± ۰/۰۱۹	۳/۲۶۰ ± ۰/۰۱۶	۳/۱۶۰ ± ۰/۰۱۸
FD	۱/۶۸۹ ± ۰/۰۶۳	۱/۴۳۴ ± ۰/۰۵۸	۱/۲۶۰ ± ۰/۰۲۷
تعداد بخش‌ها	۳/۳۷۰ ± ۰/۰۱۹	۳/۲۶۰ ± ۰/۰۱۶	۳/۱۶۰ ± ۰/۰۱۸
	۸۴۹	۶۴۸	۱۹۸۵

FD: Fractal dimension; LLE: Largest Lyapunov exponent

بدین ترتیب، با ترکیب این ویژگی‌ها مدل جدیدی برای تفکیک حالت بیهوشی عمیق از بیهوشی سبک و هوشیاری، مبتنی بر نظریه‌ی آشوب استخراج گردید.

میانگین و واریانس صحت عملکرد مدل در تفکیک سه دسته‌ی هوشیاری، بیهوشی سبک و بیهوشی عمیق در جدول ۱ آمده است. در این جدول، مقادیر میانگین و واریانس صحت مدل، در حالت‌های مختلف ترکیب شاخص‌های آشوب‌گونه، با شاخص BSR دیده می‌شود.

بحث

در این پژوهش، با ترکیب ویژگی‌های مستخرج از نظریه‌ی آشوب، مدل‌های جدیدی برای تفکیک حالت بیهوشی عمیق از بیهوشی سبک و هوشیاری مبتنی بر نظریه‌ی آشوب استخراج گردید. خلاصه‌ی نتایج ارزیابی این مدل‌ها بر روی دادگان، موجود در جدول ۱، کارآمدی مدل‌های پیشنهادی و بهبود صحت عملکرد مدل‌های مستخرج را با افزایش تعداد شاخص‌های به کار برده شده، منتج از نظریه‌ی آشوب، نشان می‌دهد و حکایت از تفکیک‌پذیری و انطباق مناسب این حالت‌ها با سایر شواهد بالینی ۲۰ بیمار در وضعیت‌های پیش‌گفته دارد. از طرفی، با افزایش سطح هوشیاری از بیهوشی عمیق به بیهوشی سبک و هوشیاری، مقادیر Higuchi و LLE در جدول ۲ افزوده شده است که نشان دهنده‌ی افزایش پیچیدگی فعالیت سیستم عصبی است؛ چرا که LLE مقدار ناپایداری یا قابلیت پیش‌بینی سیستم را کمی می‌کند. حضور LLE مثبت، مؤید آشوبناکی این سیستم است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مغز و فعالیت الکتریکی منتج از آن، دارای دینامیسم آشوب می‌باشد. از این رو، منطبق با نظریه‌ی آشوب، می‌توان به مغز و سیستم اعصاب مرکزی از منظر یک سیستم آشوبناک نگاه کرد و از دستاوردهای این نظریه، علاوه بر بهره‌گیری در گسترش نمایشگرهای سطح هوشیاری در بسیاری از تحقیقات و پژوهش‌های علوم شناختی نیز بهره برد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی به شماره‌ی ۱۹۵۱۱۴ مصوب معاونت پژوهش و فن‌آوری دانشگاه علوم پزشکی اصفهان است. نویسندگان از این معاونت جهت تأمین بودجه‌ی انجام طرح تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References

1. Liu SS. Effects of Bispectral Index monitoring on ambulatory anesthesia: A meta-analysis of randomized controlled trials and a cost analysis. Anesthesiology 2004; 101(2): 311-5.
2. Jameson LC, Sloan TB. Using EEG to monitor anesthesia drug effects during surgery. J Clin Monit Comput 2006; 20(6): 445-72.
3. Nguyen-Ky T, Wen P, Li Y, Malan M. Measuring the hypnotic depth of anaesthesia based on the EEG signal using combined wavelet transform, eigenvector and normalisation techniques. Comput Biol Med 2012; 42(6): 680-91.
4. Boeing G. Chaos Theory and the Logistic Map [Online]. [cited 2016]; Available from: URL: http://geoffboeing.com/2015/03/chaos-theory-logistic-map/
5. Shabanian-Boroujeni T, Kermani S, Barekatain M, Kashefpoor M. Proposing an approach for diagnosis of mild cognitive impairment based on approximate entropy. J Isfahan Med Sch 2017; 34(407): 1356-61. [In Persian].
6. Abbasi MR, Kermani S, Talebi A. A novel and more efficient approach for automatic diagnosis of acute lymphoblastic leukemic cells based on combining geometrical and statistical features of blood cells. J Isfahan Med Sch 2017; 35(433): 643-7. [In Persian].
7. Etehad Tavakol M, Lucas C, Sadri S, Ng EYK. Analysis of breast thermography using fractal dimension to establish possible difference between malignant and benign patterns. J Healthc Eng 2010; 1(1): 27-43.
8. McKay ID, Voss LJ, Sleigh JW, Barnard JP, Johannsen EK. Pharmacokinetic-pharmacodynamic modeling the hypnotic effect of sevoflurane using the spectral entropy of the electroencephalogram. Anesth Analg 2006; 102(1): 91-7.
9. Li D, Li X, Liang Z, Voss LJ, Sleigh JW. Multiscale permutation entropy analysis of EEG recordings during sevoflurane anesthesia. J Neural Eng 2010; 7(4): 046010.
10. Musizza B, Ribaric S. Monitoring the depth of anaesthesia. Sensors (Basel) 2010; 10(12): 10896-935.
11. Voss L, Sleigh J. Monitoring consciousness: the current status of EEG-based depth of anaesthesia monitors. Best Pract Res Clin Anaesthesiol 2007; 21(3): 313-25.
12. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 1981 p. 366-81.
13. Kuhlmann L, Manton JH, Heyse B, Vereecke EM, Lipping T, Struys MMRF, et al. Tracking electroencephalographic changes using distributions of linear models: application to propofol-based depth of anesthesia monitoring. IEEE Trans Biomed Eng 2017; 64(4): 870-81.
14. Scarpa F, Rubega M, Zanon M, Finotello F, Sejling AS, Sparacino G. Hypoglycemia-induced EEG complexity changes in Type 1 diabetes assessed by fractal analysis algorithm. Biomed Signal Process Control 2017; 38: 168-73.

15. Cukic M, Pokrajac D, Stokic M, Simic S, Radivojevic V, Ljubisavljevic M. EEG machine learning with Higuchi fractal dimension and Sample Entropy as features for successful detection of depression [Online]. [cited 15 Mar 2018] ; Available from: URL: https://arxiv.org/abs/1803.05985

16. Rosenstein MT, Collins JJ, De Luca CJ. A practical method for calculating largest Lyapunov exponents from small data sets. Physica D: Nonlinear Phenomena 1993; 65(1): 117-34.

17. Chemali J, Ching S, Purdon PL, Solt K, Brown EN. Burst suppression probability algorithms: state-space methods for tracking EEG burst suppression. J Neural Eng 2013; 10(5): 056017.

18. Sen B, Peker M, Cavusoglu A, Celebi FV. A comparative study on classification of sleep stage based on EEG signals using feature selection and classification algorithms. J Med Syst 2014; 38(3): 18.

19. Ho KT. Random decision forests. Proceedings of 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition; 1995 Aug 14-16; Montreal, Canada. p. 278-82.

DOI: *10.22122/jims.v36i482.9954* *Published by Vesnu Publications*

Journal of Isfahan Medical School **Vol. 36, No. 482, 2nd Week, August 2018**

Received: 18.04.2018 Accepted: 11.06.2018 Published: 30.07.2018

Evaluation of Chaos on Electroencephalogram in Different Depths of Anesthesia

Ehsan Mohammadi[1], Saeed Kermani[2], Mohammad Golparvar[3]

Original Article

Abstract

Background: Today having monitors and instruments which are able to automatically and precisely determine the depth of anesthesia from the electroencephalogram (EEG) signal is important. The purpose of this was is to provide an approach to assess the dynamics of brain chaos and its electrical activity in order to take advantage of the achievements of this theory in cognitive science.

Methods: According to the chaos theorem, the chaotic features of the electroencephalogram signal in different anesthesia levels have been extracted and evaluated as a chaotic system trajectories. In order to evaluate the effect of anesthesia level on the chaotic behavior of electroencephalogram signal, different models created based on the random forest, and the support vector machine modeling. We proposed a procedure to extract largest Lyapunov exponential and Higuchi's fractal dimension as chaotic features from one channel electroencephalogram in 20 patients under the different depths of anesthesia with sevoflurane; the evaluation was done using K-fold procedure.

Findings: Evaluation of extracted models indicated that mentioned models had repeatability and separability with the accuracy of more than 93%.

Conclusion: Results show that the brain and its electrical activities have chaotic dynamism. Therefore, we can take advantage of chaos theorem in developing of anesthesia monitoring, as well as in many other researches related to the cognitive sciences by analyzing the electroencephalogram signal based on the chaos theorem.

Keywords: Anesthesia, Chaos theory, Electroencephalogram, Fractals

Citation: Mohammadi E, Kermani S, Golparvar M. **Evaluation of Chaos on Electroencephalogram in Different Depths of Anesthesia.** J Isfahan Med Sch 2018; 36(482): 601-6.

1- PhD Student, Department of Bioelectrics and Biomedical Engineering AND Student Research Committee, School of Advanced Technologies in Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
2- Associate Professor, Department of Bioelectrics and Biomedical Engineering, School of Advanced Technologies in Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
3- Professor, Department of Anesthesiology, School of Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
Corresponding Author: Saeed Kermani, Email: kermani@med.mui.ac.ir