

**Tutorial Lecture 3****Physiology of Fluctuations****— Analytical Method and Meaning of EEG, ECG, etc. —****Yoshihiro UEDA**¹*Dept. of Physiology, Kansai College of Oriental Medicine (Osaka , Japan)*

Abstract : Electrical signals (EEG, EMG, ECG etc.) in the human body fluctuate and are used for clinical diagnosis as vital signs. Recently, there have been some efforts to apply chaos theory to them, to make a diagnosis, and apply them to treatment. Therefore, using our data such as EEG, pulse, ECG, and RE-EMG (H-wave), we show an analytical method of fluctuation in the human body (focussing on frequency analysis and chaos analysis) and the physiological meaning of fluctuation.

Keywords : frequency, EEG, α -wave, chaos theory, attractor

SUMMARY

There are phenomena with disorderly fluctuations in nature (such as wind, temperature, pressure, etc.). Also, in living things the internal state of their own physiological activities always changes within some range. Though these internal and external fluctuations, physiological functions are also moving as a kind of stress; living things have a counterbalancing mechanism. (The principle of additivity cannot be applied to these physiological effects, and they are called "non-linear" phenomena..)

W.B.Cannon called the characteristic stability of a living thing to the environment "homeostasis", and physiologically advocated that there was a specific control system in living things. It has been thought that this control system works by setting a specific value (a set point) which was determined by the linear method as a goal. However, recently chaos theory has been applied to this control system, and the idea of specific values is changing into something random.

The characteristics of electrical signals (EEG, ECG, pulse, respiration, EMG etc.) observed in the human body are estimated with a statistical method and they are applied to clinical diagnosis as vital signs. (For example, the ECG analysis and its frequency analysis are used to and make a diagnosis of autonomic nerve functions, and the

emerging ratio of α -wave and β -wave and the EEG topography are used to make a diagnosis of abnormal EEG.)

These signals seem to move regularly within a limited range, but their movement is very complicated. Recently, there have been some efforts to apply chaos theory to these physiological signals, to make a diagnosis of the fatigue condition, derive mechanisms of EEG formation and apply them to treatment.

The idea of "homeostasis" by Cannon et al. is changing into that of "homeodynamics" with a chaotic factor. The human body can maintain its independent character as a living individual more stably with its own chaotic factor. In other words, the linear phenomenon does not return to its original state when disturbed by some external force. "Chaos" which is found in the non-linear phenomenon takes this force in and has a stable tendency to get back to its original state.

For example, the pulse of a healthy human does not beat to a regular rhythm, but fluctuates within a certain range or beats to a non-periodic fluctuation, and it has been reported that the latter case is a healthier adaptation for the human body. It has been reported that both the change of pulse and external stress could cause sudden death as a peculiar case even if there is no abnormality on the affected part (resonance fluctuation), and that the development of pulse periodicity from infancy to adolescence could involve the chaotic complication with age.

Finally, on the basis of our data such as EEG, pulse, ECG, H-wave RE-EMG etc, we show some

Yoshihiro UEDA, in1., 2-11-1 Wakaba, Kumatori-cho, Sennan, Osaka 590-04, Japan. Phone +81-0724-53-8251, Fax+81-0724-53-0276, E-mail: ueda-y1@mahoroba.ne.jp



examples of the analytical method of fluctuation in the human body, acupuncture effects and chaotic phenomenon.

The chaotic analysis enabled us to interpret the characteristic of EEG signals under acupuncture anesthesia (A.A.). For example, when EEG waves are recorded for healthy adults with the eyes closed and while physically relaxed, the alpha-wave (α -wave) at a frequency of 8-13 Hz is derived from the posterior regions of the head. On the other hand, the same α -wave (called diffuse alpha pattern) is also seen over large areas of the head under A.A. However, though these two waves are treated as the same α -waves in the frequency analysis, each characteristic of the waves is detected in them, when observed clinically.

The change of EEG activities is detected by introducing attractor and Lyapunov exponent to psychology or acupuncture techniques (the tonification and sedation method, acupuncture point and inserting techniques) though it has been difficult to observe them objectively. It seems that acupuncture has an influence on fluctuations in the human body, also restoring the human body to its natural state. And, A.A. intercepts control from the superior brain and influences the locomotive system. Meditation practice shows a chaos state similar to that of Qi-gong practice, but the chaos state during visualization differs from that of meditation practice or Qi-gong practice.

APPENDIX

A) Representation of fluctuation and attractor

Fluctuation is of various types, and its representation can be shown by two typical methods; one represents the locus of phenomena which occur along a conventional time axis and the other is a representation by topology with the same data. According to the topological way of thinking, each phenomenon that occurs along a time axis in nature contains all information. By making the relation between each adjoining phenomenon as consecutive figures (one dimension is implanted in a figure), regularity is looked for (implantation theory). The locus which represents a phase and space is called an attractor.

B) Lyapunov exponent and chaos

The locus converges to one fixed point at an attractor of monotonous damped oscillation and it revolves, tracing the same pattern in a periodic oscillation (limit cycle). But even phenomena of nature which look chaotic are related to one another through the spot where they occur, and

the figure called a "strange attractor" is obtained by superposing them. In order to confirm whether phenomena are chaotic or not, whether they have the structure of an attractor and a fractal (interpenetrating structure) or not is generally examined and discussed, and with the complication of the superposed locus, as the Lyapunov exponent the interpenetrating structure is shown as fractal dimension. In this connection, in the case of white noise, no attractor is obtained and dots are seen all over the screen.

C) Evoked EMG of H-wave

H-wave is a late muscle action potential which is evoked from a muscle by electrically stimulating mingled nerves and it has a constant latency. It is thought that by stimulating a different fiber, the action potential passes through a single synapse combination in the medulla spinalis (spinal reflex; Hoffman reflex), a motor neuron is activated, and the activated signal is reflected to the muscle.

The peculiarity of the H-wave is that the medulla spinalis is included in the evoked line, and the amplitude of the usual H-wave is in proportion to the excitement of the spinal anterior cell. It is reasonable to assume a complex intervention from the central nerve. In particular, various characteristic fluctuations of known duration appear in the brain stem which has a facility for motor response.



ゆらぎの生理学 — 解析方法とその意味（脳波、他） —

(Physiology of Fluctuations — Analytical Method and Meaning of EEG, ECG, etc. —)

上田至宏

(Yoshihiro UEDA)

関西鍼灸短期大学 生理学（日本、大阪）

¹Dept. of Physiology, Kansai College of Oriental Medicine (Osaka, Japan)

要旨：生体から観察される電気信号（脳波、筋電図、心電図等）はゆらいでいる。そしてこれら信号はバイタルサインとして臨床診断の場で使用されている。最近、これら生理信号にカオス理論を適用し、積極的に診断、治療へ応用しようという試みもでてきている。そこで筆者が行った、脳波、脈拍、心電図、H波反復誘発等の測定データを例に、生体のゆらぎの解析方法（周波数解析とカオス解析を中心に）とゆらぎの生理学的な意味をのべる。

Keywords： frequency, EEG, α -wave, chaos theory, attractor

概要

自然界には至るところに（風、気温、気圧、重力など多様な環境要素に）無秩序のゆらぎを伴った現象がある。又、生物では自らの生理活動において内部環境がつねにある限られた範囲で変化している。これら内と外からのゆらぎはある種の刺激（ストレス）として、生理機能にゆさぶりをかけるが、生物は1つの個体として対応するメカニズムをそなえている。（この様な環境の働きは重ね合わせの原理が働かず、この現象のことを非線形現象と呼ぶ。）

この生物特有の環境への適応の仕方をキャノンは生体の恒常性と呼び、生物特有の調節系があると生理学的にとなえてきた。この調節系は線形的な方法で決められた基準値（セットポイント）を目標に調節していると考えられてきたが、最近この調節系にカオス理論が取り入れられ、“基準値は偶然のなせるものであり、特殊な場合の特異点である”に変わりつつある。

生体から観察される電気信号（脳波、心電図、脈拍、呼吸、筋電図など）はバイタルサインとして統計的な手法でもってその性質が処理され、臨床診断の場で応用されている。（例えば心電図による波形異常と周波数分析による自律神経機能の診断、脳波では周波数解析による α 波、 β 波等の出現率とそれから得られる脳波トポグラム等）。これら信号の動きは限られた範囲で規則的な振舞いをしているように見えるが、非常に複雑である。最近、これら生理信号にカオス理論を適用し、疲労度の診断、脳波生成のメカニズムとその振舞いを積極的に診断、治療に応用しようという試みがでてきている。

刺激を受けとる側の恒常性もカオス的な要素をいれたホメオダイナミックスな考え方に変わりつつある。生物は自己が持つカオス性でもって生物個体としての独立性をより安定に維持することができる。すなわち、線形現象はちよとした外力でゆり動かされると、元には戻らないものだが、非線形現象に内在するカオスは、その動きを取り込み、再び元の状態に引き戻す安定指向がある。

例えば、健康な人の心拍はきまった機械的なリズムで打つのではなく、ある枠のなかでゆらいだりあ

上田至宏、 関西鍼灸短期大学 医学情報センター長 生理学
〒590-04 大阪府泉南郡熊取町若葉 2-1 Tel 0724-53-8251
E-mail ueda-y1@mahoroba.ne.jp Fax 0724-53-0276



るいは脱周期的なゆらぎで脈を打っており、その方が生体にとってより健康的な適応であるという報告がある。突然死のような場合は、患部に異常がなくとも、ある特異な場合、心拍と外部ストレスとの重なりで起こりうること（ゆらぎの共振）、新生児期から青年期までの心拍の周期性の成長にも年齢を重ねるに従いカオス性の複雑化が学習されるなどの報告もある。

最後に演者が行った、脳波、脈拍、心電図、H波反復誘発筋電図等の測定データをもとに、生体のゆらぎの解析方法と鍼灸効果と生体のカオス現象にたいする取り組み例の結果を示す。

鍼鎮痛発現時の脳波信号の特徴はカオス解析をすることで、よりくわしく解釈できた。たとえば健常人で安静閉眼時に脳波を測定すると周波数8～13Hz成分のアルファ波（以下 α 波）が頭頂部から後頭部にかけて導出される。一方、鍼鎮痛発現時でも頭皮上に広汎に分布した α 波（Diffuse Alpha patternと呼ばれる）が観察される。ところが、周波数分析からは同じ α 波として扱われる波形も、臨床的に観察すると、所々に両者で異なった特徴が認められた。

いままで客観化することが難しかった、精神心理学や鍼灸技法（補法と瀉法、取穴部位、刺激方法など）に、アトラクターと、リアプノフ指数を導入することで、その影響と経過が観察できた。鍼灸の効果は生体のゆらぎに影響を与え、生体本来が示す状態に引き戻す効果があるようである。また鍼麻酔は上位脳からの制御を遮断し、運動系にも影響していた。氣功、瞑想はよく似たゆったりとしたカオス状態を示し、イメージとはちがうことが脈拍からも判断できた。

（カオス解析での用語）

A) ゆらぎの表現とアトラクター

ゆらぎ（振動）にはいろいろなタイプがあるが、その表現は代表的な2つの方法で示すことができる。普通に使われている時間軸に沿って起こる事象の軌跡を表現したもの（波動表示）と、同じデータのトポロジー（位相幾何学）での表現である。トポロジー的な考え方では自然界の時系列で起こる要素の1つ1つは全ての情報を持っている。このとなり合う要素間の関係を順次連続した図形にして（1つの元を図形に埋め込む）そこから規則性を見つけ出そうとするものである（埋め込み理論）。この位相空間表示された軌跡をアトラクターと呼ぶ。

B) リアプノフ指数とカオス

単調な減衰振動のアトラクターでは1定点に収束し、周期振動では同一模様の軌跡を周回する（リミットサイクル）。しかし自然界にある一見無秩序におもわれる現象でも、現象の起こる場を通じて関連があり、重ね合わせることでストレンジ・アトラクターと呼ぶ図形が得られる。

カオスかどうかの確認は一般にアトラクターの構造とフラクタル（入り子構造）かどうかを調べて議論し、この重積した軌跡の複雑さをリアプノフ指数として、入り子構造をフラクタル次元として示す。ちなみに白色雑音の場合、アトラクターは得られず、画面一面に点が描かれる。

C) H波の反復誘発筋電図（RE-EMG）

H波は混合神経を電気刺激する事により筋から誘発される晩期合成筋活動電位のことで一定の潜時を持つ。求心性線維の電気刺激により、脊髄内の単シナプス結合（脊髄反射、ホフマン反射）を経て、運動ニューロンが賦活され、それが筋に反射されるものと考えられている。

H波の特徴はその誘発経路中に脊髄が含まれていることで、通常のH波の振幅は脊髄前角細胞の興奮性に比例し、そこに上位からの複雑な関与も考えられる。特に脳幹の運動促進機能の障害時には種々の特徴あるゆらぎが現れる。