

마취심도와 통증 측정 시 카오스 이론의 유용성에 대한 연구

부산대학교 의과대학 마취과학교실, *의공학과교실

백승완 · 김해규 · 신상욱 · 김경훈 · 민상기* · 예수영* · 전계록*

= Abstract =

Chaos Theory Using Pulse Wave Signal for the Evaluation of Anesthetic Depth and Pain Stiffness

Seong Wan Baik, M.D., Hae-Kyu Kim, M.D., Sang-Wook Shin, M.D.
Kyung-Hoon Kim, M.D., Sang-Ki Min*, Su-Young Ye*, and Gye-Rok Jeon*

Departments of Anesthesiology and *Biomedical Engineering
College of Medicine, Pusan National University, Busan, Korea

Background: During operation, patient's pulse wave signal among ECG, EEG and pulse wave, which are vital signals, are very useful to find out mechanical situation of heart, blood flow, and rarely received electrical noise from high frequency equipment. In this study, we analyzed anesthetic depth during surgical operation and pain stiffness of cancer patients using patient's pulse wave.

Methods: To analyze non-linear feature of physiological parameter, we reconstructed a strange attractor using time-serial data with quantity and quality methods. The quantity method is a return-map and the quality method is a correlation-dimension. For reconstructing a strange attractor, two factors were needed, delayed time and dimension. After detecting correlation dimension values based on delay-time, embedding dimension, we compare BIS index to indicate depth of anesthesia and pain stiffness of cancer patient to correlation-dimension values.

Results: According to the return-map, getting lower correlation-dimension values, it showed the more unstable patient's situation. Return-map of low correlation-dimension values showed that geometrical structures were small, discrete and simple. The results of correlation-dimension values using second differential in pain stiffness showed over 2.5 at normal, 1.5-2.0 at good, 1.1-1.3 at fair and below 1.1 at poor state. The results of correlation-dimension values from using second differential reflected patient's state of painless or painful. Also they showed over 90% accuracy respected to doctor's diagnosis.

Conclusions: Continuous and efficient studies analyzing the feature of parameters will be needed. In the future, they will be able to apply to the patients who have autonomic dysfunction, vascular disease, nerve system disease as well as patients in the intensive care unit by using pulse waves which reflect state of patient suffering from the pain.

Key Words: Anesthetics: isoflurane; propofol. Equipment: bispectral index; anemon; chaos. Pain: cancer.

서 론

일반적으로 마취의 심도와 통증의 강도를 분석하기 위해서는 뇌파를 이용한 bispectral index system (BIS: Aspect, 미국)이나 심전도를 이용하여 자율신경계의 반응을 측정하는 Anemon (MCSA, 스위스)이 현재 널리 보급되고 있다. BIS는 주로 환자의 각성상태와 의식 수준을 인덱스(index)로 나타내기 위해 사용되며, 통증의 강도를 분석하기는 어려운 점이 있다. 반면 Anemon은 통증의 정도를 인덱스로 나타내기 위해 사용되고 있으나, 수술 중 피부절개나 출혈 방지에 사용되는 전기 소작기(electrocautery system) 또는 심실제세동기(defibrillator)와 같은 고주파 신호와 고에너지를 발생시키는 의료기기와 함께 사용할 경우 신호의 전달이 원활하지 않은 단점을 지니고 있다.¹⁾

최근 이러한 시스템들을 사용하지 않고 맥파(pulse wave)를 이용하여 수술중 환자의 상태 또는 평상시의 환자 상태를 객관적이고 정확하게 감시할 수 있는 맥파를 이용한 기구가 소개되고 있다. 인체로부터 맥파를 검출하는 방법은 크게 침습적인 방법과 비침습적인 방법으로 구분할 수 있다. 이들 중 침습적인 방법은 스트레인지 게이지를 이용한 압력트랜스듀서(pressure transducer)를 직접 피검자의 혈관에 연결하여 맥파를 검출하는 방법이다. 이와는 달리 비침습적인 방법은 피검자에게 통증을 유발하지 않고 광학적 기법과 기계적 기법으로 측정 가능하다. 광학적 기법은 광소자(optic device)를 이용하며, 발광원에서 빛을 인체에 주사하고 인체를 투과한 빛을 검출하는 기법을 사용한다. 사용되는 발광원으로는 LED (light emitted device), 초음파, 마이크로웨이브 등이 사용되며, 광검출소자는 광다이오드(photo diode), 초음파 센서, 무선 안테나 등이 사용된다. 반면 기계적 기법은 맥동(pulsatile)이 피부를 통해 외부로 전달되는 현상을 이용하며, 주로 사용하는 압력 센서는 압전소자(piezo electric), 로드셀(load cell) 및 반도체(semiconductor) 등이 활용되고 있다.

저자들은 연구에서 마취심도의 검증은 마취제 즉, isoflurane과 propofol을 투여한 후 측정된 맥파 데이터를 카오스 이론에 적용하여 분석된 상관차원값과 BIS 측정값과 비교하여 분석하였다. 그리고 통증 강

도의 검증은 통증을 호소하는 환자에게서 측정된 맥파 데이터를 원신호, 1차 미분신호, 2차 미분신호에 의한 상관 차원값을 각각 구한 후 의사의 주관적인 통증의 강도 진단을 기준으로 비교하여 분석하여, 마취의 심도와 통증의 정도를 분석할 수 있는 자료를 얻고자 하였다.

대상 및 방법

본 연구에서는 맥파 신호를 이용하여 전신마취중의 마취의 심도와 말기 암 환자의 통증 강도를 객관적인 방법으로 분석하고자 하였다. 이를 위해 채택된 실험군은 다음과 같다. 먼저 마취심도의 실험군은 2000년 8월부터 10월까지 부산대학교병원에서 수술을 위해 전신마취를 받은 환자 8명을 선택하였다. 선택된 실험군을 isoflurane을 투여 받은 4명과 propofol을 투여 받은 4명에 대해 마취의 심도를 분석하였으며, 분석된 결과를 수술실에서 환자의 각성 및 의식 수준의 평가에 사용하고 있는 BIS 측정값과 비교하여 분석하였다. 그리고 통증 정도의 실험군은 2000년 10월부터 11월까지 부산대학교병원의 통증치료실에 입원한 환자 중 말기 암으로 진단 받은 환자군 9명과 정상군 2명을 채택하였다. 통증 환자의 경우는 의사가 측정한 통증의 강도와 연구방법에 의하여 측정된 통증 강도를 비교하고 분석하였다. 각 환자에게는 연구 목적을 설명하고 이에 대한 승낙을 받았다.

마취심도 및 통증 강도의 분석을 위해 선택된 병명별 환자군의 분포는 Table 1과 Table 2와 같다.

본 연구에서는 수술 중인 환자와 말기 암 환자로부터 획득한 맥파 데이터를 이용하여 수술 단계별 마취심도와 말기 암 환자의 통증 강도를 정성적·정량적인 방법을 이용하여 분석하고자 하였다.

이를 위하여 카오스 이론을 적용하였으며, 사용된 방법들은 아래와 같다. 수술 중인 마취 환자의 마취의 심도를 분석하고자 먼저 카오스계의 내부 역동학 정보를 관찰하기 위해서 맥파 데이터를 이용하여 어트랙터를 재구성하였다. 어트랙터를 재구성하기 위해 지연시간을 이용하여 상호 독립좌표를 구하였고, 매립차원을 이용하여 유효좌표축을 설정하였다. 지연시간을 설정하는 방법으로는 자기상관함수 값이 첫 번째로 최소가 되는 시간을 지연시간으로 설정하

Table 1. Demographic Data of Anesthetic Depth Groups

| Anesthetics | Sex/Age | Disease | Operation | Case number |
|-------------|---------|-------------------------|---|-------------|
| Isoflurane | F/42 | Uterine cervical cancer | Total abdominal hystrectomy | Case 1 |
| | F/42 | Uterine adenomyoma | Total abdominal hystrectomy | Case 2 |
| | F/49 | Ovarian tumor | Bilateral oophrecomy | Case 3 |
| | F/69 | Ovarian tumor | Total abdominal hystrectomy & Bilateral oophrecomy | Case 4 |
| Propofol | F/19 | Mandible prognathism | Bilateral sagittal splitting osteotomy | Case 5 |
| | F/33 | Uterine cervical cancer | Total abdominal hystrectomy | Case 6 |
| | M/41 | Stomach cancer | Subtotal gastrectomy | Case 7 |
| | F/44 | Uterine myoma | Total abdominal hystrectomy | Case 8 |

Table 2. Demographic Data of Terminal Cancer Group

| | Control | Breast cancer | Liver cancer | Lung cancer | Uterus cancer | Stomach cancer | Total |
|--------------------|---------|---------------|--------------|-------------|---------------|----------------|-------|
| Number of patients | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 11 |

는 자기상관함수(autocorelation function, ACF) 방법과 시계열 데이터의 일반적인 의존성을 고려하여 확률 분포에 의해 평균상호정보량이 첫 번째로 최소가 되는 시간을 지연시간으로 설정하는 평균상호정보량(average mutual information, AMI) 방법, 그리고 데이터의 속성을 바탕으로 주관적이고 경험적으로 지연 시간을 설정하는 geometry-based reconstruction expansion (GRE) 방법 등이 있다. 이러한 방법들 중에서 비선형적인 생체신호에 적합한 AMI 방법을 사용하였다. 매립차원을 설정하는 방법으로는 어트랙터 차원에 접근함에 따라 최소거짓이웃의 수가 점점 줄어드는 성질을 이용하는 최소거짓이웃(false nearest neighbor, FNN) 방법과 매립차원을 변화시키면서 각 차원에 따른 비선형 예측오차를 계산하여 가장 최소가 되는 차원을 매립차원으로 결정하는 비선형 예측오차(nonlinear prediction error, NPE) 방법들이 있다. 이러한 방법들 중에서 데이터의 크기와 잡음에 민감하지 않은 FNN 방법을 사용하여 매립환경 변수를 검출하였다. 다음으로 지연시간을 이용하여 어트랙터를 2차원 평면에 사상시켜 정성적 방법인 리턴 맵을 그래프로 나타내었고, 지연시간과 매립차원을 입력 파라미터로 이용하여 정량적 방법인 상관 차원값을

구하였다.

암 환자의 통증의 강도를 분석하기 위하여 환자로부터 획득한 원신호, 1차 미분 신호 및 2차 미분 신호 등을 구하고, 이들의 상관 차원값을 각각 구하여 비교하여 분석하였다.

맥파 데이터를 검출하기 위해 검지 손가락에 맥파 센서를 부착하여 손가락 끝 제동맥의 용적 변동을 검출하고 손가락 끝의 광전 용적 맥파를 측정하였다. 맥파 센서는 발광다이오드와 포토다이오드로 구성되며, LED에서 주사되는 660 nm 파장의 적색 빛이 손가락 끝의 모세혈관에 도달하면 혈관의 용적 변동에 따라 산화 헤모글로빈 양에 대응한 투과된 빛이 광 다이오드에 수광된다. 광 다이오드에서 검출된 미세한 광 전류의 변화를 전압으로 변환한 후 아날로그 필터를 거쳐서 증폭부로 입력된다. 증폭부에서 출력된 신호는 ADC에 의해 12-bit의 디지털 신호로 변환된 후 통신부에 의해 개인용 컴퓨터로 전송되며, 개인용 컴퓨터에서는 전송된 데이터를 저장하여 카오스 이론에 적용시키기 위해서 Matlab을 이용하여 프로그램을 작성하였다.

본 연구에서 구현한 맥파 검출 시스템의 회로도도 Fig. 1과 같다. 그리고 시스템의 안정된 전원 공급을

위하여 별도의 전원부를 설계하였다. 상기에서 기술한 내용을 흐름도로 나타내면 Fig. 2와 같다.

맥파 데이터를 이용한 상관 차원값과 환자의 상태를 비교하기 위하여 의사의 주관적인 통증 강도 진단을 기준으로 측정 당일의 상태를 3단계로 구분하였다. 의사에 의해 진단된 통증 강도에 따른 환자 상태의 구분은 Table 3과 같다.

결 과

마취심도에 따른 결과

피부절개 시 움직임이 나타나는 경우 isoflurane이 propofol에 비하여 BIS 측정값이 통계적으로 높게 나타나므로 수술 중 움직임의 판단에도 BIS가 이용될

수 있다.¹⁾

BIS 측정값을 사용하면 마취과정의 의식 소실 유무를 객관적으로 측정할 수는 있지만, 피부절개 과정이나 통증 여부의 판단에는 객관적인 자료로 활용하기 어려웠다.

Isoflurane을 투여하였을 경우와 propofol을 투여하였을 경우 마취심도 단계별로 측정되는 BIS 측정값의 평균과 표준편차를 나타내면 Table 4와 같았다.

마취제에 따른 카오스 이론에 의한 마취심도의 분석

Isoflurane와 propofol을 투여하였을 경우의 마취심도를 각각 분석하였다. 각각의 마취제를 투여 받은

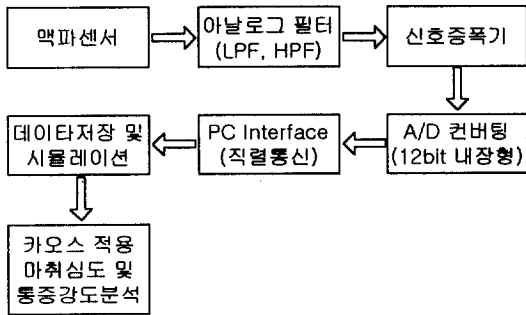


Fig. 1. This block-diagram shows a general system using this experiment.

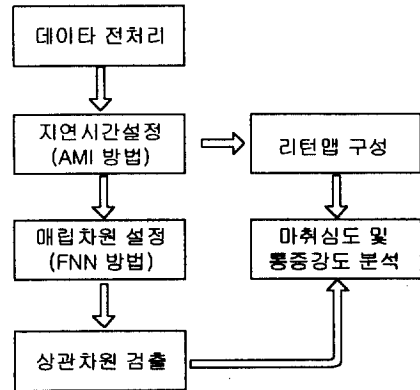


Fig. 2. This block-diagram shows the analysis-flowchart of return-map and correlation dimension.

Table 3. Pain Control Scale

| Pain control scale | Good | Fair | Poor |
|--------------------|----------------------|---------------------------|------------------------------------|
| Patient's status | No pain with comfort | Some pain with discomfort | Intractable pain with unstableness |

Table 4. BIS Index Score according to Anesthetic Procedures

| | Pre-anesthetic | Anesthetic induction | Tracheal intubation | Skin incision | Anesthetic emergence | Tracheal extubation |
|------------|----------------|----------------------|---------------------|---------------|----------------------|---------------------|
| Isoflurane | 87.7 ± 6.3 | 46.3 ± 9.4 | 40.9 ± 12.9 | 44.7 ± 4.8 | 77.1 ± 14.1 | 85.2 ± 15.0 |
| Propofol | 88.1 ± 7.6 | 41.5 ± 18.1 | 42.7 ± 5.4 | 42.4 ± 7.8 | 61.1 ± 13.9 | 80.7 ± 18.5 |

Values are mean ± SD.

수술 환자의 맥파 데이터를 측정하여 리턴 맵과 상관 차원값을 구하였다. 수술 환자로부터 측정된 맥파 데이터의 대부분의 에너지 분포는 1-2 Hz 대역에 분포되어 있음을 알 수 있었다. 각 마취제를 투여하였을 경우에 대한 리턴 맵과 상관 차원값을 분석한 결과, 객관적으로 마취심도 단계를 판단할 수 있는 뚜렷한 기하학적인 특징을 찾을 수 없었다. 따라서 어트랙터의 기하학적인 구조를 객관적인 수치

로 나타내는 상관 차원값에 의한 실험 결과를 비교하고 분석하였다. 측정된 시계열 데이터를 이용하여 어트랙터를 구하기 위해 각 단계별로 지연시간과 매립차원을 입력 파라미터로 사용하여 상관 차원값을 구하였으며, 그 결과는 Table 5와 Table 6과 같았다. 상기의 실험 결과에서 isoflurane과 propofol을 투여하였을 경우, 피부절개 단계를 제외하고는 맥파 데이터의 상관차원 값이 BIS 측정값과 유사한 각성 상

Table 5. Delay Time, Embedding Dimension and Correlation Dimension Scores under the Isoflurane Anesthesia

| Case | Parameter | Pre-anesthetic | Anesthetic induction | Trachea intubation | Skin incision | Anesthetic emergence | Tracheal extubation |
|--------|-----------|----------------|----------------------|--------------------|---------------|----------------------|---------------------|
| Case 1 | τ | 42 | 39 | 68 | 59 | 34 | 39 |
| | m | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| | D2 | 1.401 | 3.398 | 3.254 | 1.467 | 2.827 | 2.721 |
| Case 2 | τ | 46 | 64 | 41 | 45 | 40 | 33 |
| | m | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 |
| | D2 | 1.060 | 3.954 | 3.748 | 0.835 | 3.597 | 1.339 |
| Case 3 | τ | 52 | 36 | 38 | 33 | 53 | 47 |
| | m | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| | D2 | 0.400 | 3.014 | 3.537 | 2.245 | 3.687 | 0.529 |
| Case 4 | τ | 51 | 43 | 47 | 50 | 45 | 41 |
| | m | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 |
| | D2 | 1.223 | 2.832 | 2.753 | 1.034 | 3.122 | 1.826 |

τ : Delay Time, m: Embedding dimension, D2: Correlation dimension

Table 6. Delay Time, Embedding Dimension and Correlation Dimension Scores under the Propofol Anesthesia

| Case | Parameter | Pre-anesthetic | Anesthetic induction | Trachea intubation | Skin incision | Anesthetic emergence | Tracheal extubation |
|--------|-----------|----------------|----------------------|--------------------|---------------|----------------------|---------------------|
| Case 5 | τ | 48 | 35 | 40 | 46 | 32 | 27 |
| | m | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| | D2 | 1.258 | 2.806 | 3.101 | 2.908 | 3.220 | 1.523 |
| Case 6 | τ | 30 | 37 | 43 | 43 | 53 | 50 |
| | m | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 |
| | D2 | 1.552 | 2.873 | 3.493 | 2.571 | 3.080 | 1.309 |
| Case 7 | τ | 34 | 42 | 58 | 42 | 52 | 60 |
| | m | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| | D2 | 1.247 | 3.390 | 3.636 | 2.799 | 2.755 | 1.299 |
| Case 8 | τ | 47 | 47 | 45 | 51 | 51 | 46 |
| | m | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | D2 | 1.673 | 2.981 | 3.324 | 3.048 | 3.085 | 1.955 |

τ : Delay Time, m: Embedding dimension, D2: Correlation dimension

태의 의식 수준을 나타내는 결과 값이 얻어졌다. 맥파 데이터의 상관 차원값은 임상적으로 환자의 안정 또는 불안정한 상태나 통증 상태를 반영하였다. 그러나 BIS 측정값에서는 판단하기 힘든 피부절개 단계에서의 isoflurane과 propofol에 대한 상관 차원값이 propofol보다 isoflurane에서 더 낮은 상관 차원값을 나타내었다. Isoflurane과 propofol에서의 상관차원값의 통계치는 Table 7과 같다.

마취 전 단계와 마취유도 단계에서는 비교적 낮은

Table 7. Comparison of Correlation-dimension Scores between Isoflurane and Propofol

| | Isoflurane | Propofol |
|----------------------|---------------|---------------|
| Preanesthetic | 1.025 ± 0.439 | 1.432 ± 0.214 |
| Anesthetic induction | 3.316 ± 0.476 | 3.012 ± 0.461 |
| Tracheal intubation | 3.323 ± 0.431 | 3.387 ± 0.429 |
| Skin incision | 1.395 ± 0.625 | 2.831 ± 0.501 |
| Anesthetic emergence | 3.308 ± 0.405 | 3.034 ± 0.397 |
| Tracheal extubaion | 1.621 ± 0.642 | 1.151 ± 0.602 |

Values are mean ± SD. τ: Delay Time, m: Embedding dimension, D2: Correlation dimension.

Fig. 3. This figure shows a return-map of normal healthy state.

Fig. 5. This figure shows a return-map of fair state.

Fig. 4. This figure shows a return-map of good state.

Fig. 6. This figure shows a return-map of poor state.

상관 차원값을 나타내어 환자의 불안정한 상태를 나타내었으며, 피부절개 단계에서는 propofol이 isoflurane보다 약 1.5 이상의 높은 상관 차원값을 나타내었다.

카오스이론을 이용한 통증 강도의 분석

측정된 데이터로부터 지연시간을 구하여 Fig. 3에

서부터 Fig. 6까지와 같이 정상인과 통증 강도별로 리턴 맵을 2차원으로 나타내었다.

리턴 맵에서 정상인의 경우 복잡한 구조와 활동적인 어트랙터를 구성하지만 poor 상태로 갈수록 구조가 단순해지면서 이산적인 형태를 나타내었으며, 선이나 면의 형태가 아닌 점의 형태에 가까운 기하학

Table 8. Comparison between Doctor's Pain Scale Score with Vital Signs and Correlation Dimension Values Based on Delayed Time and Embedding Dimension in a Lung Cancer Patient

| Date (M-D) | BP (mmHg) | Temp (°C) | HR (BPM) | RR (BPM) | Pain scale | Parameters | Original signal | Primary differential calculus | Secondary differential calculus |
|------------|-----------|-----------|----------|----------|------------|------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 10-23 | 140/90 | 37 | 96 | 20 | good | DT | 27 | 31 | 12 |
| | | | | | | ED | 2 | 2 | 2 |
| | | | | | | CD | 1.310 | 2.3383 | 1.634 |
| 10-24 | 140/90 | 37 | 102 | 20 | good | DT | 32 | 24 | 11 |
| | | | | | | ED | 2 | 2 | 2 |
| | | | | | | CD | 1.216 | 1.238 | 1.734 |
| 10-26 | 120/80 | 37 | 120 | 20 | fair | DT | 28 | 16 | 8 |
| | | | | | | ED | 2 | 2 | 2 |
| | | | | | | CD | 1.297 | 1.240 | 1.219 |
| 10-27 | 120/80 | 36 | 110 | 20 | fair | DT | 33 | 27 | 7 |
| | | | | | | ED | 2 | 2 | 2 |
| | | | | | | CD | 1.3088 | 1.208 | 1.245 |
| 10-30 | 110/70 | 36 | 92 | 20 | poor | DT | 52 | 10 | 6 |
| | | | | | | ED | 2 | 2 | 1 |
| | | | | | | CD | 1.089 | 0.998 | 0.999 |
| 11-06 | 110/80 | 37 | 120 | 20 | poor | DT | 29 | 24 | 10 |
| | | | | | | ED | 2 | 2 | 2 |
| | | | | | | CD | 0.991 | 1.002 | 1.010 |
| 11-07 | 100/60 | 37 | 120 | 28 | poor | ET | 32 | 28 | 16 |
| | | | | | | ED | 2 | 2 | 2 |
| | | | | | | CD | 0.999 | 0.990 | 1.002 |
| 11-08 | 100/60 | 36 | 120 | 20 | poor | DT | 31 | 24 | 11 |
| | | | | | | ED | 2 | 2 | 2 |
| | | | | | | CD | 0.972 | 0.923 | 0.952 |
| 11-09 | 110/70 | 36 | 110 | 20 | poor | DT | 27 | 16 | 9 |
| | | | | | | ED | 2 | 2 | 2 |
| | | | | | | CD | 0.998 | 1.021 | 0.982 |

DT: Delayed time, ED: Embedding dimension, CD: Correlation dimension

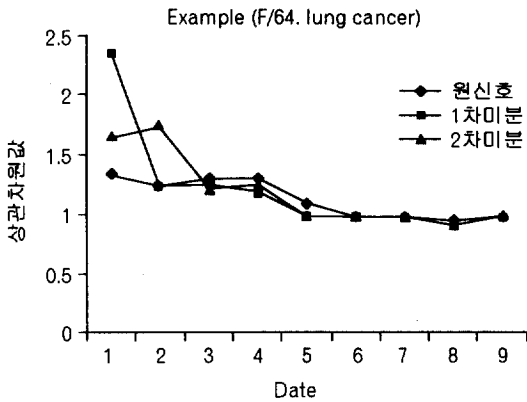


Fig. 7. This graph shows the correlation dimension values of 64 year-old woman who suffered from lung cancer pain.

적인 구조를 나타내었다.

Table 8과 Fig. 7에서는 폐암 환자(통증환자 1번 예)의 맥파 데이터를 이용하여 지연시간, 매립차원, 상관 차원값을 측정 한 결과를 예를 들어 나타내었다. 투여한 약물은 fentanyl 75 ug/h이고, 마약성 진통제의 투여는 정맥내 통증자가조절법을 사용하였다. 통증환자 1번 예에서는 5번째 측정일로부터 심한 통증을 호소하였고, 10번째 측정일에 사망하였다. 2차 미분 신호의 상관 차원값은 5번째 측정일로부터 지속적으로 1 미만의 낮은 값을 나타내었다.

통증 강도에 대한 2차 미분 신호에 의한 상관 차원값을 단계별로 나타내면 정상인의 경우 2.5 이상의 높은 값을 나타내었고, good 상태에서는 1.5-2 정도의 값을 나타내었으며, fair 상태에서는 1.1-1.3 정도의 낮은 값을 나타내었다(Table 9).

고 찰

의학의 상당 부분은 치료분야 보다는 예방 및 진단 분야에서 발전하였으나, 마취과학은 예방 및 진단분야 보다는 치료분야에서 발전을 하였다. 특히 치료방법 중 가장 세심하고 고도의 기술을 필요로 하는 수술 시 가장 기본적이고 필수적인 의료행위를 담당한다. 그러므로 많은 환자들은 수술이나 마취를 시행하는 데 있어서는 다른 의료행위에 비해서 불안감을 나타내고 기피하는 수가 많으며, 수술이나 마취를 생존을 위한 필수적인 의료행위로 받아들일 때

Table 9. Comparison between Doctor's Pain Scale Score with Vital Signs and Correlation Dimension Values Based on Delayed Time and Embedding in 2 Healthy Persons

| | Control group | Pain scale | | |
|--------------------|---------------|------------|-------|-------|
| | | Good | Fair | Poor |
| Mean | 2.414 | 2.086 | 1.218 | 0.992 |
| Standard deviation | 0.538 | 0.530 | 0.068 | 0.036 |
| Maximal value | 3.454 | 3.398 | 1.230 | 1.081 |
| Minimal value | 1.893 | 1.512 | 1.070 | 0.910 |

Values are mean ± SD.

는 보다 안전하고 편리하면서도 간단한 방법으로 시행 받기를 원하게 된다. 이와 같은 요구는 수술을 받는 환자들뿐만 아니라 수술을 집도하는 의사들도 원하고 있기 때문에 이에 부응하기 위하여 마취과학은 비약적인 발전을 하고 있다.^{1,2)} 그중 하나가 마취 중 마취의 심도를 측정하여 환자에게 최소량의 마취제를 투여하여 최적의 마취 상태를 유지하기 위함이다. 이에 대한 연구는 국내에서도 BIS를 이용하여 길호영 등과³⁾ 함석희 등이⁴⁾ 연구하였고 그 외 많은 의료기관에서 환자의 관리에 이용되고 있다. 그러나 BIS는 환자의 수면상태를 측정하는데는 객관적인 자료를 제공한다고 하지만 통증이나 자율신경계에 대한 평가는 미흡하다고 알려져 있다. 자율신경계의 변화중 심전도를 이용하여 마취제의 영향, 심혈관계 질환 진단, 흡연과의 관계를 연구하는 시도가 이루어져 있다.⁵⁻⁸⁾ 그러므로 아직까지는 국내외에서 이에 대한 발표가 전혀 없는 카오스이론을 환자의 통증이나 마취심도 측정에 이용하기 위하여 연구를 하게 되었으나 서로 비교할 만한 자료를 얻지 못한 것이 이 연구에서의 단점이라고 할 수 있다. 초기의 연구이므로 정확한 평가를 하기에는 미흡하지만 향후에 이와 같은 연구가 계속되면 더욱 정확하고 객관적인 장비의 개발이 될 수 있으리라 사료된다.^{9,10)}

카오스 이론의 기본은 우리 주위에서 복잡하다고 여겨지는 현상들 속에는 단순한 규칙이나 법칙에 의해 기술될 수 있는 경우가 많이 있다. 겉보기에는 일정한 규칙 없이 아무렇게나 보이는 자연 현상들도 근본적으로는 어떤 결정적인 법칙에 따라 행동한다. 예를 들어 유체의 난류(turbulence), 지구자계의 변화,

액체 헬륨의 대류현상, 천체 운동, 소혹성 띠의 간격, 날씨 변화, 자연 생태계에서 곤충이나 동물의 증감, 수도꼭지에서 떨어지는 물방울, 화학 반응, 심장 박동, 뇌신경, 주식가격 및 환율 등 셀 수 없을 만큼 많다. 이런 현상들 속에는 어떤 자연의 숨겨진 법칙이 있다. 따라서 이런 계에 의해 나타나는 시계열 신호를 분석하고 예측하는 것은 아주 중요하다. 의학에서의 활용도 이와 같은 이론의 정립으로 가능할 것이라는 주장으로 현재 이에 대한 연구가 계속 진행 중이다.

마취과 영역에서는 마취 중 심도의 관리와 마취에서 회복되고 있는 과정을 측정함으로써 보다 안전하게 수술 후 관리를 할 수 있다. 통증환자의 관리에서도 이와 마찬가지로 통증의 자극에 대한 자율신경계의 반응이 환자의 개개인에 따라 차이가 있어 이산적인 반응으로 나타나지만 이를 하나의 공식으로 정리하면 모든 환자에서 공통적으로 측정이 가능한 감시기구의 개발이 가능하게 되어 환자의 삶의 질을 보다 높일 수 있게 될 것으로 생각된다.

또한 수술 중에 여러 가지 원인으로 환자의 갑작스런 의식 회복으로 인한 환자의 통증 인지와 정신적 고통을 예방하기 위하여, 기존에 사용되고 있는 혈압이나 맥박수 등을 이용한 주관적인 판단에 의해 마취심도를 결정하지 않고 객관적이고 정량화 된 자료에 의해 마취심도를 분석함으로써 개개인의 차이에 따른 마취제의 양을 마취 단계에 따라 증감할 수 있다.

본 연구에서는 수술 중에 흡입전신마취제인 isoflurane과 정맥마취제인 propofol을 투여 받아 마취된 환자와 말기 암 통증 환자의 맥파 데이터를 획득하고 이를 카오스 이론을 적용시켜 수술 단계별 마취심도와 통증 강도의 단계를 분석하였다. 이를 위하여 카오스 이론의 매립정리 중 2가지 요소인 지연시간과 매립차원을 구하였다. Isoflurane을 투여한 경우와 propofol을 투여한 경우 피부절개 부분에서 진통효과를 높이기 위한 propofol 마취의 환자에서는 fentanyl을 적당량 투여함에도 불구하고 상관 차원값이 1.5 이상 높게 측정되어 의식상태 뿐만 아니라 BIS 측정값에서는 발견할 수 없는 통증의 가능성을 판단할 수 있었다. 그리고 마취 전 단계와 발판 단계에서는 1.3 정도의 상관 차원값을 나타내었으며, 마취 유도 단계, 삽관 단계, 마취제 중단 단계에서는 2.5

-3 정도의 상관 차원값을 나타내었다. 이는 아직까지 완전한 해석의 단계는 아니지만 마취유도시, 삽관시와 회복시에는 보다 세심한 마취관리가 필요하다는 것을 시사한다고 할 수 있다.

통증 강도의 3단계 분석에서는 2차 미분 신호에 의한 상관 차원값이 의사의 주관적인 진단과 90% 이상 일치하였다. 상관 차원값이 높다는 점은 카오스적인 역동학적인 정보를 가지고 있으며, 생체가 외부의 영향에 대항하여 외부로부터의 변화를 피하지 않고 탈 주기적인 카오스적 진동을 가지며 생리적, 심리적으로 적응성이나 유연성을 가지고 있음을 나타낸다. 정상인의 경우 2.5 이상의 높은 상관 차원값을 나타내었으며, good 상태에서는 1.5-2 정도의 상관 차원값을 나타내었고, fair상태에서는 1.1-1.3 정도의 상관 차원값을 나타내었으며, poor상태에서는 1.1 이하의 상관 차원값을 나타내었다. 리턴 맵의 분석 결과 상관 차원값이 높을수록 복잡하고 활동적인 2차원 어트랙터를 구성하였지만 상관 차원값이 낮아질수록 이산적인 구조를 가지면서 면이 아닌 점들의 집합체에 가까운 기하학적인 구조를 나타내었다.

결론적으로 맥파 데이터를 이용하여 수술 환자의 마취심도나 말기 암 환자의 통증 강도를 보다 정확하게 단계별로 분석하기 위해서는 보다 많은 환자 데이터를 이용하여 데이터 베이스를 구축하여야 하며, 본 연구에서 사용한 방법 이외에 다른 매립환경 변수의 검출 방법을 위한 알고리즘 개발에 관한 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

1. 최영규, 백승완: 정맥마취와 BIS 감시장치. 서울, 의학문화사. 1999, pp 8-18.
2. 백승완, 최영규: 정맥마취. 서울, 의학문화사. 1998, pp 65-69.
3. 길호영, 황석미, 이승준, 백승완, 박영주: Propofol TCI를 이용한 전신마취시 최면상태의 판정을 위한 BIS 감시장치의 사용경험. 정맥마취 1999; 3: 124-30.
4. 함석희, 최영규, 김동욱, 김건식, 권무일, 신광일: Midazolam 사전 정주가 propofol에 의한 마취유도와 기관내삽관시 Bispectral Index와 혈역학적 변화에 미치는 영향. 정맥마취 2000; 4: 11-8.
5. Baselli G, Cerutti S, Civardi S, Lombardi F, Malliani A, Merri M, et al: Heart rate variability signal processing: A quantitative approach as an aid to diagno-

- sis in cardiovascular pathologies. *Int J Biomed Comp* 1987; 20: 51-70.
6. Hayano J, Yamada M, Sakakibara Y, Fujinami T, Yokoyama K, Watanabe Y, et al: Short and long term effects of cigarette smoking on heart rate variability. *Am J Cardiol* 1990; 65: 84-8.
 7. Kato M, Komatsu T, Kimura T, Sugiyama F, Nakashima K, Shimada Y: Spectral analysis heart rate variability during isoflurane anesthesia. *Anesthesiology* 1992; 77: 669-74.
 8. Ireland N, Meagher J, Sleigh JW, Henderson JD: Heart rate variability in patients recovering from general anaesthesia. *Br J Anaesth* 1996; 76: 669-74.
 9. 조현상: 뇌와 카오스. 서울, Ohm사. 1998, pp 48-54.
 10. 김수용: 사람의 뇌전위 신호에 대한 카오스 이론의 적용 및 감정좌표 구성. 서울, 한국과학재단. 1998, pp 44-62.
-