

운동 영상을 이용한 정자운동특성의 검출에 관한 연구

A study on the detection of sperm characteristics using moving images

○
심 훈섭, 지 영준, 박 광석*

서울대 공과대학원 협동과정 의용생체공학전공

*서울대 의과대학 의공학교실

<요약>

정자 운동의 분석은 불임의 원인 규명과 진단에 중요한 정보를 제공한다. 본 논문에서는 연속된 정자 운동 영상을 이용해 정자 운동성의 주요 척도인 선형속도, 곡선속도, 선형성, 운동력등의 운동특성을 검출해 내는 알고리즘을 구현했다. 비디오 신호로 보내진 정자 영상을 컴퓨터에 의해 디지털화하고, 각 정자 머리의 위치를 계산해내었고, 이로부터 정자 이동 경로 및 주요 운동특성들을 찾았다.

1. 서론

정자 운동이 지닌 복잡성 때문에 아직 그것이 지닌 잠재적인 진단정보가 완전히 규명되지는 않았지만 정자 운동성은 불임등의 분야에서 중요한 진단정보로서 중요한 관심사가 되어 왔다. 기존의 정자 운동 분석 기법들은 근본적으로 수작업중심이어서 비효율적이고, 개별적인 정충들을 구별해내지 않고 포괄적으로 정자운동을 분석해내었으므로 정확도가 떨어진다. 단점을 안고 있었다. 그러나 마이크로 컴퓨터와 영상처리기술의 발달은 이러한 정자 운동성에 대한 정량적이고 자동화된 분석을 가능하게 하고 있다.

본 연구에서는 비디오 신호로 받아들여진 정자 운동 영상을 영상획득장치를 사용해서 디지털화한 뒤, 컴퓨터를 이용해 각 frame 에서 개별적인 정충의 위치 정보를 자동적으로 결정하고, 0.1 초 간격의 10장의 연속된 정자 영상으로부터 정자 이동 경로 및 주요 운동특성들을 계산해내었다.

2. 정자 운동 특성 검출 시스템

2.1 영상획득부

비디오신호로 보내진 정자운동영상은 영상획득장치(본 연구에서는 PCVISION plus)에 의해 디지털화된다. PCVISION plus 는 1/30 초 간격으로 두 장의 512*512*8bit 연속 영상을 snap 할 수 있는 영상획득장치이다. 본 연구에서는 가능한 여러 장의 연속 영상을 얻어내기 위해 주컴퓨터에서 frame memory 로 한 번에 인접한 8개 화소의 지정된 bit 를 액세스하는 방식을 사용함으로써 초당 10장의 256*256*1bit 연속 영상을 획득할 수 있었다. 정자 영상은 배경, 머리, 꼬리만으로 이루어지는 단순한 영상이므로, 1bit 로 표현되어도 운동분석에 적합하게 된다.

2.2 주컴퓨터부

초당 10장의 256*256*1bit 영상을 획득하기 위해서 컴퓨터의 주 메모리가 640K 로 제한되어 있는데다 디스크와 같은 보조 기억장치는 액세스 시간이 오래 걸려 증첩 확장 메모리를 사용하였다. 획득된 영상은 다음과 같은 처리 과정을 거쳐 정자 운동 특성이 분석되었다.

단계 1. 각 정충 머리의 중앙의 위치를 계산한다. 정충 머리로 취급되어지기 위한 최대, 최소 화소수를 미리 정의함으로써 이 계산과정에서 배경에 나타나는 비정충 영상들은 제외된다. 중앙 위치 결정에는 다음의 식이 사용되었다.

$$x_{cent} = \frac{\int x f_x(x) dx}{\int f_x(x) dx}$$

$$y_{cent} = \frac{\int y f_y(y) dy}{\int f_y(y) dy}$$

여기에서 각 정충 머리들의 크기 정보가 저장된다.

단계 2. 정충 머리 중앙 정보로부터 개별적인 정충의 운동경로를 계산한다. 이는 다음과 같은 운동경로 추정 알고리즘에 의해 이루어졌다.

현재 frame 의 각 정충 머리 중앙 주위로 31*31 window 내에 있는 다음 frame 정충 머리 중앙 정보를 찾아낸 뒤 단계 1. 에서 저장된 정충 머리 크기 정보를 이용해서 현 정충 머리 중앙이 이동된 다음 frame 의 정충을 결정한다. 이 과정에서 이동거리가 미리 정의된 것보다 짧은 경우는 계산에서 제외된다. 이동경로와 운동특성 계산에 사용하기 위해 이와 같이 결정된 각 정충 머리 중앙 정보는 다음과 같은 match matrix 에 저장된다. matrix 의 행 좌표는 현재의 frame number, 열 좌표는 현 frame 내의 정충 머리 중앙, 구성원소는 다음 frame 에서의 정충 머리 중앙 정보를 지시한다.

단계 3. match matrix 내의 정충 머리 이동 정보를 이용하여 motility, 선형속도, 곡선속도, 선형성등 주요 정자 운동 특성을 계산한다.

3. 실험 및 결과

정자 운동 특성들은 다음과 같이 계산되었다.

motility는 이동경로 계산에 사용된 정충(운동한 정충)의 수를 전체 정충의 수로 나누어 준 값이다. 선형속도는 정충 이동 경로의 처음과 끝 정충 머리간의 거리를 시간으로 나누어 준 값으로 전통적인 주요 운동특성 parameter 이다. 곡선속도는 정충 머리의 연속적인 위치를 잇는 곡선을 따라 이동한 거리를 시간으로 나누어 준 값으로 다음의 식에 의해 계산되었다.

$$v_{cl} = \frac{1}{2 \cdot \Delta t} \cdot \left(\sqrt{((x_{1,i} - x_{1,i-1})^2 + (y_{1,i} - y_{1,i-1})^2)} + \sqrt{((x_{1,i-1} - x_{1,i-2})^2 + (y_{1,i-1} - y_{1,i-2})^2)} \right)$$

곡선속도는 정자의 활동성에 대한 중요한 척도가 된다. 선형성은 선형속도와 곡선속도의 비로써, 정자운동의 유형을 판단하는 척도가 된다.



< 그림 1 >



< 그림 2 >



Motility = 0.882971
 V_sl(straight line velocity) = 115.409243
 V_c(curvilinear velocity) = 141.821616
 LI(linear index) = 0.813763

< 그림 3 >

< 그림 1 > 에 실험에서 얻어낸 256*256*1bit 영상이 나타나 있다. 꼬리가 유실되었지만 정중 머리 중앙 계산에 사용되는 정중머리는 잘 보존되었다. < 그림 2 > 에는 0.1 초 간격으로 연속한 두 장의 영상이 겹쳐 나타나 있다. 0.1초 간격에서는 급격한 위치의 이동은 관찰되지 않는다. < 그림 3 > 에는 0.1초 간격의 10장의 연속된 정자 영상에서 찾아낸 이동경로와 정자 운동 특성이 나타나 있다. 3 frame 이상에 나타나는 정중의 이동 경로만이 도시되었다.

4. 토의

정자 운동 특성을 정량적이고 자동화된 방법으로 계산하는 알고리즘에 대해 논하였다. 정자 운동 특성은 크게 활동성을 나타내는 척도와 운동 유형을 나타내는 척도로 나눌 수 있다. 현재까지의 정자 운동 분석은 주로 정자의 활동성을 나타내는 속도에 대한 연구만이 주를 이루어 왔다. 그러나 최근의 연구들은 활동성만으로 진단이 불가능한 사례를 보고하고 있다.[6] 따라서 정자 운동 유형의 특성에 대한 새로운 척도의 도입과 검증이 필요해지고 있다. 본 연구를 정자의 활동성을 나타내는 척도와 운동 유형을 나타내는 척도 간의 상호 관계를 분석하고 fractal dimension 과 같은 새로운 운동 유형 척도를 제안하는 방향으로 확장하고자 한다.

5. 참고 문헌

- [1] Davis RO, Katz DF. "Spectral Analysis of sperm motion kinematics." Biophys J 1986;49:418a
- [2] Mahony MC, Alexander NJ, Swanson RJ. "Evaluation of semen parameters by means of automated sperm motion analyzers." Fertil Steril 1988;49:876-880
- [3] Katz DF, Davis RO. "Automatic Analysis of Human Sperm Motion." J Androl 1987;8:170-181
- [4] Katz DF, Overstreet JW. "Sperm motility assessment by videomicrography." Fertil Steril 1981;35:188-193
- [5] Walker JS, Wient H, Freud M. "A comparison of subjective and objective sperm motility evaluation." J Androl 1982;3:184-192