

요류검사 시스템의 구현과 요류파라미터의 유용성 평가

한봉효, 정도운, 김우열, 배진우, 손정만, 김재현, 박준모, 정문기*, 전계록**
부산대학교 대학원 의공학협동과정, 부산대학교 의과대학 비뇨기과학교실*,
부산대학교 의과대학 의공학교실**

Implementation on the Uroflowmetry System and Usefulness Estimation of the Uroflow Parameters

. B. H. Han, D. U. Jeong, U. Y. Kim, J. W. Bae, J. M. Shon, J. H. Kim,
J. M. Park, M. K. Chung*, G. R. Jeon**

Dept. of Interdisciplinary program in Biomedical Engineering, Pusan National University,
Dept. of urology, College of Medicine, Pusan National University*

Dept. of Biomedical Engineering, College of Medicine, Pusan National University**

Abstract

In this study, the object is a development on uroflowmetry system to detect a voiding symptom conveniently in home or hospital. The hardware was composed of mechanism and system circuit part, the software was divided into firmware and PC program part. The following experiment was performed to evaluate an ability of classification and fitness. First, the following parameters was calculated in each flow curve pattern. The parameters are MFR, AFR, VOL, VT, FT, and TMF. A significant difference among parameters was examined through a statistical analysis for extracted parameters between normal and abnormal group. In the next work, the following experimentation was performed to classify the voiding symptom. Analysis of congregate rate was examined to find out classification possibility about each symptom of BPH, voiding difficulty, detrusor failure and hyperreflexia, unstable bladder. The uroflow data with the above symptom was divided into normal and abnormal group using fuzzy classifier. and that was performed appending the other group again. Fuzzy classification result using MFR and AFR was superior by 89.6 % more than grouping evaluation including VOL.

I. 서론

급속한 경제 성장과 더불어 노령화 사회로의 변화는 의료분야에도 큰 변화를 가져오고 있다. 노인성 질환 중 대표적인 증상 중에 하나인 하부요로 증상(LUTS: lower urinary tract symptom)과 관련된 질환은 고령화에 접어드는 남성에게 있어서는 매우 관심이 높은 증상으로 인식되고 있으며, LUTS와 관련된 질환에는 전립선비대증, 전립선암, 요도협착, 그리고 급성요도염 등 여러 질병들이 있다.[4] 특히 배뇨증상을 동반하는 대표적인 질환인 전립선비대증은 전립선의 양성 증양으로서 중년 이후의 남성에게 가장 흔하게 발생하는 질환 중의 하나이다. 그리고 무엇보다도 전립선비대증은 LUTS 악화 요인의 80%를 차지할 만큼 주요한 질환이다.[1-2] 현재 병·의원에서 시행되는 전립선비대증검사방법은 초음파검사 및 요류검사를 제외한 다른 검사들은 대부분 침습적인 방법에 의해 시행되는 검사이므로 환자들에게 많은 부담감을 주게된다.[4,5]

본 연구에서는 환자 개인의 지속적인 증상을 모니터링 할 수 있는 간편한 요류검사 시스템을 구현하고, 하부요로 증상의 진단에 유용한 파라미터를 검출하여 자동으로 질환의 유무를 검출 할 수 있는 시스템을 구현하였다.

II. 본 론

2.1. 요류 파라미터 추정

일반적으로 정상적인 배뇨는 방광배뇨근 (bladder detrusor muscle)이 수축할 때 요도괄약근 (urethral sphincter)이 이완되면서 이루어진다. 배뇨는 요속 (flow rate)으로 표현되며, 보통 총배뇨량 (total voided volume)과 단위 시간당 배뇨량 (ml/sec)으로 표현한다. 이들 중 요속은 출구저항 (outlet resistance)에 대한 배뇨근 활동의 결과에 의해 나타나므로 요속이 정상일 때는 배뇨근 수축과 출구저항에 뚜렷한 이상이 없음을 의미한다. 그러나 요속은 배뇨량이 많을수록 높아지고 검사자의 나이가 많을수록 낮게 나타나는 경향이 있다.[3,6]

일반적으로 배뇨장애를 진단하기 위하여 사용되는 요류 파라미터로는 배뇨 중의 가장 빠른 최대요속, 평균요속, 총배뇨량, 배뇨시간, 유효 요류시간, 최대요속까지 소요된 시간 등이 있다. 이들 파라미터 중에 가장 중요한 지수는 최대요속이며 배뇨량과 요속 곡선의 형태도 중요한 의미를 지니며 상기에서 언급한 요류 파라미터를 요속 곡선 상에 나타내면 그림 1과 같다.

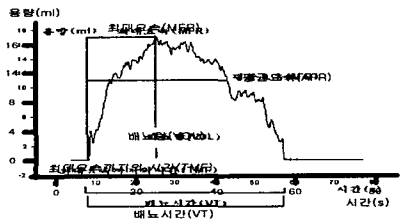


그림 3. 정상인의 시간당 배뇨량의 요속곡선

그림 1에서 나타난 각각의 파라미터의 정의와 의미는 다음과 같다.

$$Q_{ura}(t) = V_{ura}(n) - V_{ura}(n-1) \quad (1)$$

$$MFR = \text{MAX}[Q_{ura}(t)]_{\text{last first}} \quad (2)$$

$$AFR = \frac{VOL}{FT} \quad (3)$$

$$FT = \sum_{t=0}^{\text{last}} u(t) \quad \text{if } Q_{ura}(t) > 0.5 \quad (4)$$

$$TMF = \text{Time}[Q_{ura}(t)] \quad \text{when } Q_{ura}(t) = MFR \quad (5)$$

$$VOL = \int Q_{ura}(t) dt \quad (6)$$

2.2 요류검사 시스템의 하드웨어 구성

구현된 시스템은 크게 하드웨어부와 소프트웨어부로

구분하였다. 하드웨어부는 메커니즘부와 시스템회로부로 구분하였으며, 소프트웨어부는 펌웨어와 PC 프로그램으로 구분하였다. 시스템에는 힘형 로드-셀을 사용하였고, 로드-셀의 아날로그 출력을 획득하기 위해서 전용 전압전송기(LVT : load cell voltage transmitter)를 사용하였다. 또한 출력된 신호를 처리하기 위하여 마이크로 프로세서(80C196KC)를 사용하였으며, ROM과 RAM을 부착하였다. 또한 사용자의 인터페이스를 위해 LCD와 키-패드를 사용하여 검사자의 정보를 입력할 수 있도록 하였으며, 아날로그의 출력 신호를 디지털 신호로 변환하기 위해서 마이크로 프로세서에 내장되어 있는 10비트 ADC를 사용하였다. 또한 PC와의 원활한 데이터 송·수신을 위하여 RS232 직렬 통신을 사용하였다. 구현된 시스템의 구성도를 그림 2에 나타내었다.

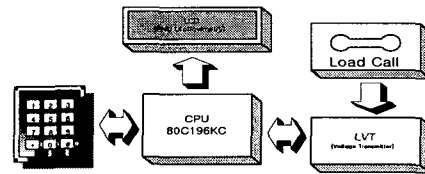


그림 4. 요류검사 시스템의 구성도

2.3 요류검사 시스템의 펌웨어와 분석 프로그램

구현된 요류검사 시스템의 펌웨어는 피검자의 성별과 나이 등의 정보 입력, 로드-셀의 교정 작업, 로드-셀에서 측정된 배뇨량에 대한 신호의 분석, 시스템 운용에 관한 초기치 설정, 주변 장치부와 PC의 직렬통신에 의한 데이터 전송 등의 주요 기능을 수행하도록 구성되었으며, 구성도는 그림 3과 같다.

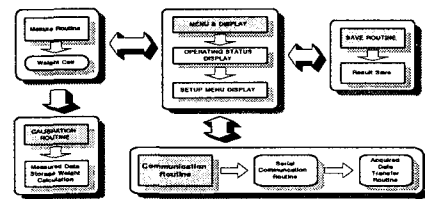


그림 5. 요류검사 시스템의 펌웨어 구성도

2.4 퍼지 분류기의 구성

본 연구에서 구현한 요류검사 시스템에 의해 측정된 배뇨량과 요류곡선을 이용하여 배뇨증상의 이상유무 분류의 정확도와 정밀도를 높이기 위하여 퍼지이론을 적용하였다. 임상이가 진단한 요류검사 결과지의 증상을 기반으로 정상 요류패턴과 비정상 요류패턴을 수집

하여 최대요속, 평균요속, 총배뇨량, 배뇨시간, 유효 요류시간, 최대요속의 6 개의 파라미터를 추출하여 퍼지 분류기의 입력으로 사용하였으며, 멤버십 함수는 삼각형 함수를 사용하고, Mamdani가 제안한 min 연산 추론방법을 사용하였다. 그리고 'min 연산 추론방법에 따라 무게 중심법을 사용하여 비퍼지화를 구현하였으며, 분류기의 구성도를 그림 4에 나타내었다.

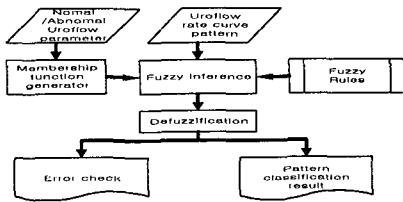


그림 6. 퍼지분류기의 구성도

III. 실험 및 결과

3.1. 정상군과 비정상군의 요속파라미터 비교

하부요로 증상의 진단에 유용한 파라미터를 검출하기 위하여 정상군과 비정상군의 요속파라미터 비교실험을 수행하였다. 실험대상군은 20대의 대학생 30명의 요속곡선을 정상군으로 사용하고, 부산대학교병원 비뇨기과에 내원하여 하부요로 증상 진단을 받은 50대의 27명을 비정상군으로 선정하였다.

요속 데이터의 획득을 위하여 본 연구에서 구현된 시스템을 이용하였고 요속곡선으로부터 여러 가지의 파라미터를 검출하였으며, 대표적으로 최대요속 (MFR), 평균요속 (AFR), 배뇨량 (VOL), 배뇨시간 (VT)을 비교 평가하여 그림 5에 나타내었다.

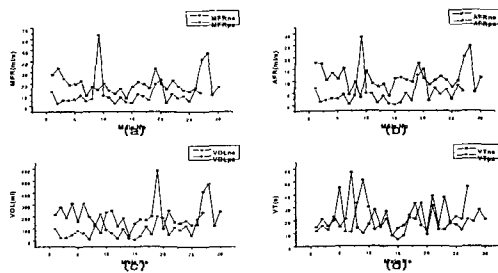


그림 7. 정상군과 비정상군의 요속파라미터 비교 (a)최대요속, (b)평균요속, (c)배뇨량, (d)배뇨시간

정상군과 비정상군의 유의성을 객관적으로 평가하기 위하여 ANOVA test를 사용하였으며, p값이 유의수준 0.05보다 크면 비교 대상 두 집단은 서로 유의성을

가지지 않는다는 의미이다. 따라서 두 집단을 분류하기는 어렵다는 의미를 내포하고 있다. 요류 파라미터 군을 One-Way ANOVA를 사용하여 비교 평가한 결과 MFR, AFR, VOL 등이 유용한 파라미터로 판별되었으며, 유의성 평가 결과를 표 1에 나타내었다.

표 2. 요류파라미터의 ANOVA평가 결과

Data	Mean	Variance	N	Analysis
MFRno	20.05333	83.70671	30	F = 12.01046
MFRpa	10.38519	140.5867	27	P = 0.00103
AFRno	11.24667	23.02464	30	F = 18.31569
AFRpa	5.21481	34.03285	27	P = 7.54245E-5
VOLno	209.8	13648.30345	30	F = 22.24025
VOLpa	88.74074	4585.58405	27	P = 1.68741E-5
VTno	19.3	89.38966	30	F = 1.50454
VTpa	22.88889	157.64103	27	P = 0.2252
FTno	18.93333	55.71954	30	F = 0.99178
FTpa	21	67.30769	27	P = 0.32367

3.2. 배뇨증상별 군집도 분석 결과

임상전문의에 의해 정상판정을 받은 환자와 배뇨증상이 진단을 받은 환자들의 요류곡선에서 요류 파라미터를 추출하여 전립선비대증, 배뇨곤란, 배뇨곤 장애, 불안정 방광 등을 분류하기 위하여 군집도 분석 실험을 수행하였으며, 그 결과를 그림 6에 도시하였다. 분석 결과는 요류 파라미터의 통계적 분석 결과에서 최대요속, 평균요속, 배뇨량이 배뇨증상 분류에 유의한 파라미터로 선정된 결과와 같이 군집도 분석에서도 최대요속, 평균요속, 배뇨량이 포함된 파라미터의 조합에서 양호한 결과를 나타내었으며, 배뇨시간 등의 시간 요소 파라미터들은 배뇨증상 구분에 유용하지 못함을 알 수 있다.

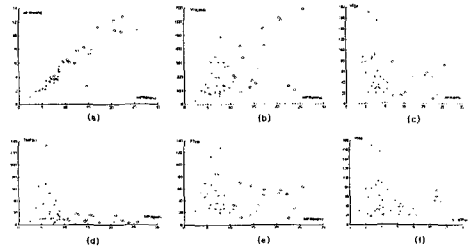


그림 8. 배뇨증상별 군집도 분석결과

(a)최대요속-평균요속, (b)최대요속-배뇨량, (c)최대요속-배뇨시간, (d)최대요속-최대요속시간, (e)최대요속-요류시간, (f)평균요속-배뇨시간

3.3. 퍼지분류 결과

본 연구에 의해 구현된 배뇨증상 분류기의 타당성을 검증하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다. 임

상의가 진단한 요류검사 결과지의 증상을 기반으로 정상 요류패턴과 비정상 요류패턴을 수집하였다. 수집된 요류패턴을 분석하여 배뇨증상을 정상군과 비정상군으로 구분하였으며, 비정상군에 속하는 배뇨증상은 전립선비대증, 배뇨 곤란, 배뇨근 장애, 불안정 방광, 배뇨근 과반사 등으로 두었으나, 이를 다시 비정상군과 기타군으로 구분하였다. 즉 전립선비대증과 배뇨곤란은 배뇨증상의 기전이 거의 유사하므로 비정상군으로 두었으며, 나머지 배뇨증상들은 별도의 기타군으로 분류하였다. 분류된 실험군은 정상군이 17 명, 비정상군이 31 명, 그리고 기타군이 9 명으로 총 57 명이였다. 이들 실험군으로부터 수집된 요류패턴에서 6 개의 파라미터 즉, 최대요속, 평균요속, 총배뇨량, 배뇨시간, 유효요류시간, 최대요속 등을 추출하여 퍼지 분류기의 입력으로 사용하였다. 먼저 추출된 정상과 비정상 요류패턴의 파라미터들로부터 구한 통계치들을 이용하여 멤버십함수 (membership function)를 설정하였다. 다음으로 요류검사 시스템에서 측정된 측정치를 퍼지 분류기에 입력하고, 생성된 멤버십 함수와 퍼지규칙 과정을 통하여 분류 결과를 추론하도록 하였다. 그리고 퍼지 분류기의 성능을 알아보기 위해 분류 정답율과 분류 에러율을 계산하도록 하였다. 이를 위하여 구현된 퍼지 분류기에 입력되는 파라미터들은 입력 순서를 처음에는 최대요속과 평균요속, 다음에는 최대요속, 평균요속, 총배뇨량, 그 다음에는 파라미터 하나씩을 추가하여 입력하여 배뇨증상별 퍼지 분류기의 분류율을 평가한 결과를 표 2에 나타내었으며, 정상군과 비정상군의 분류 정답율은 최대요속과 평균요속 두 개의 파라미터만을 사용한 분류 결과가 89.58 %로 가장 우수한 결과로 나타났었다. 그리고 배뇨량 파라미터를 추가한 경우에는 분류 정답률이 81 %로 나타났다. 기타군을 포함한 퍼지 분류 결과는 정상·비정상군의 분류 시 양호한 분류 정답율을 나타낸 최대요속과 평균요속 파라미터 조합에서도 모든 기타군이 정상군으로 분류되는 에러가 발생하였다. 따라서 요류검사 자체만으로는 기타군의 배뇨증상들을 판단 할 수 없음을 알 수 있다.

표 2. 퍼지분류 결과.

nomal/abnomal class	MFR & AFR	MFR & AFR & VOL	MFR & AFR & VOL & VT	MFR & AFR & VOL & VT & FT
Good rate	89.58	81.25	81.25	83.33
Error rate	10.42	18.75	18.75	16.67
Error class	abnomal 5	abnomal 9	abnomal 9	abnomal 8
nomal/abnomal/ etc class	MFR & AFR	MFR & AFR & VOL	MFR & AFR & VOL & VT	MFR & AFR & VOL & VT & FT
Good rate	75.44	-	-	-
Error rate	24.56	-	-	-
Error class	abnomal 5 etc class 9	-	-	-

IV. 결론 및 고찰

본 연구에서는 가정이나 병원에서 간편하게 배뇨증상의 유무를 선별할 수 있는 요류검사 시스템을 구현하였으며, 구현된 시스템의 타당성과 획득된 요류 데이터의 분류 기능 평가를 위한 실험을 수행하였다.

정상군과 비정상군의 요속파라미터 비교실험에서는 MFR과 AFR, VOL 등의 파라미터가 하부요로의 이상 유무 진단에 유용한 것으로 평가되었으며, VT와 FT는 진단에 부적절한 파라미터로 판명되었다. 그리고 요속곡선의 시간영역에서의 분석으로는 각 질환별 분류는 어려운 것으로 사료되며, 단지 정상과 비정상의 분류만이 가능함을 알 수 있었다.

요속곡선의 분석에 다양한 분석기법을 도입하여 새로운 분류방법에 관한 지속적인 연구가 수행되면, 요류검사 시스템은 병·의원뿐만 아니라 가정에서도 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 또한 인터넷과 전화를 활용하여 검사결과를 임상에게 전달할 수 있다면 환자 및 일반인의 지속적인 건강 정보관리가 가능 할 것이고 적절한 치료시기 결정에도 도움을 줄 수 있어 환자에 대한 의료비 절감 효과도 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 대한비뇨기과학회, "제3판 비뇨기과학", 고려의학, 2001
- [2] 정연희, "요류역학검사에 대한 사전정보제공이 환자의 불안 및 불편감에 미치는 영향", 경희대 대학원 석사 논문, 1997. 8.
- [3] Chande. P.K. Katiyal, S. Shrivastava, M. Ramani, A. K. , "Expert based uroflow metering system", IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, p1521~p1524, 1991.
- [4] Vikas Gupta, M.Parameswaran, L.Goldenberg and J.McEwen, "Toward The Development of A Non-Invasive Pressure-Flow Sensor System For The Detection of Prostate Cancer In Men", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, MEMS and Sensors, p81-88, 1996.
- [5] 최홍호, 최창근, 이용혁, "노실금 환자를 위한 초음파뇨의 경보 시스템에 관한 연구", 대한의용생체공학회, 22권, 1호, p101~108, 2001
- [6] 윤재영, 이현보, 정호석, 서홍진, 한창희, 박용규, "한국 남아의 연령 및 배뇨량에 따른 요속 Nomograms", 대한비뇨기과학회지 39권 5호, 1998.