

초음파 영상을 이용한 방광내 잔뇨량 측정에 있어서 측정오차 최소화를 위한 연구

황재운, 주세경, 김희찬* and 오승준 **

서울대학교 대학원 협동과정 의용생체공학전공, *서울대학교 의과대학 의공학과,

**서울대학교 의과대학 비뇨기과

Accuracy Enhancement of Residual Urine Measurement in Bladder through Ultrasound Image Analysis

J. Y. Hwang, S. Joo, H. C. Kim* and S. J. Oh **

Interdisciplinary Program-Biomedical Engineering Major, Seoul National University,

*Departments of Biomedical Engineering, Seoul National University College of Medicine and

Institute of Biomedical Engineering, Medical Research Center, and

**Department of Urology, Seoul National University College of Medicine and

Institute of Biomedical Engineering, Medical Research Center,

ABSTRACT

Clinically the way of measuring volume of bladder and residual urine through Ultrasound image is done. Since it enables to soothe patients' discomforts and pains and prevent urinary infection or urethral trauma though its accuracy is relatively inferior to the measurement by urethral catheter.

But in case of using existing methods [1]~[6], the problems that the error percentage is over 21% and expands to over 50% when the volume of residual urine is 150 mL and below are found out. In this paper the subject of examination is divided into men and women. And further classifying according to the proportional coefficient α which is 0.785 above or below, by data regression using linear least squares error method and 2rd order least squares polynomial fitting the volume of residual urine is assayed relating to sagittal depth. Measurement is took over 45 men and 62 women, totally 102 patients.

Measurement realized in this work has showed a 10% reduction in error, a above 7% reduction in standard deviation and a gain of 0.02 in correlation coefficient.

Key words : Ultrasound Image, Residual urine, Linear least squares error method, 2rd order least squares polynomial fitting, data regression.

다. 잔뇨량은 전통적으로 urethral catheter 방법을 통해서 측정되었다. 그러나 이 방법은 환자들에게 불편함과 고통을 줄 뿐 아니라, urinary infection, urethral trauma의 요인이 되기도 한다. 따라서 환자들의 불편함과 고통을 덜어주기 위해 방광 내 잔뇨량의 측정을 위한 non-invasive 방법들이 제안 되었다.[1]~[6]

Ultrasound Image를 이용한 잔뇨량 측정은 non-invasive하고 상대적으로 간단해서 임상적으로 널리 사용되고 있다. 많은 연구들이 이런 Ultrasound Image를 통한 방광 내 잔뇨량 측정의 정확성을 높이는 데 초점을 두고 이루어졌다. 그러나 기존 연구에서 제안된 방법들은 Ultrasound Image의 낮은 해상도와 남성 과 여성의 해부학적 차이 및 측정자세에 따른 방광의 구조 차이에 의하여 urethral catheter를 이용한 방법보다 정확성이 많이 떨어지고 있다. 특히, 150ml 이하의 방광 부피에서는 그 오차율이 50%까지 나타나기도 한다[2][3]. 그 이유는 GRIFFITHS, HAKENBERG 그리고 POSTON에 의해 제시된 기존의 방법들은 Data regression 방법을 통하여 얻은 계수를 단지 sagittal height와 depth 그리고 transverse width와 곱하여 측정하였기 때문이다.[1][4][5]

따라서, 본 논문에서는 Ultrasound Image를 이용한 방광 내 잔뇨량 측정에 있어서 누워 있을 때, image의 모양이 차이가 있는 남성과 여성 그리고, sagittal plane의 shape에 따라 환자를 분류하고 이것을 data regression 방법으로 sagittal depth와 실제 잔뇨량과 측정된 잔뇨량의 오차가 가장 낮아질 때의 α 값과의 관계식을 유도해 이것을 이용해 방광이 150ml이하일 때에도 정확성을 높일 수 있는 방법을 제안하였다.

서 론

소변 후에 남아있는 잔뇨량의 측정은 많은 비뇨기과 환자들의 소변 분비 장애 검사에 필수적인 요소로서 측정된 잔뇨량은 환자들의 치료에 커다란 영향을 준

재료 및 연구방법

본 논문에서 사용된 ultrasound image와 그와 관련된 sagittal height(H), depth(D) and transverse width(W)는 서울대학교 병원 방광경실에서 2002. 8~9월 사이에 측

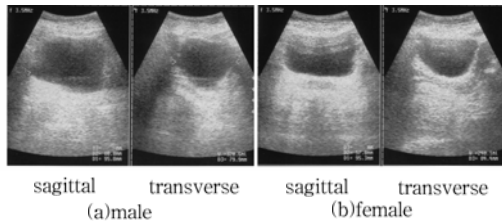


Fig.1. Bladder ultrasound image scanned by Combison 503 ultrasound scanner (a)male (b)female

정된 환자 데이터를 사용하였다. 환자는 남성 45명 여성 62명 총 107명으로 구성되어 있고, 나이는 남성은 22세부터 77세까지, 여성은 18세부터 83세까지이다. Ultrasound image 획득은 환자가 배뇨의 느낌이 강렬할 때까지 기다린 후 소변을 보고 즉시 편안하게 누운 자세에서 Combison 503 ultrasound scanner를 통해 이루어졌다. 모든 측정은 수작업을 통해서 생기는 error rate을 줄이기 위해 2회씩 시행되었고, 실제 방광의 잔뇨량은 urethral catheter를 이용하여 측정하였다[6]. Image는 남성과 여성으로 분리하고, 그림의 sagittal plane에서 가로축으로 가장 긴 길이를 sagittal height(H), 세로축으로 가장 긴 길이를 sagittal depth(D)으로 하고, transverse plane에서 가장 긴 transverse 길이를

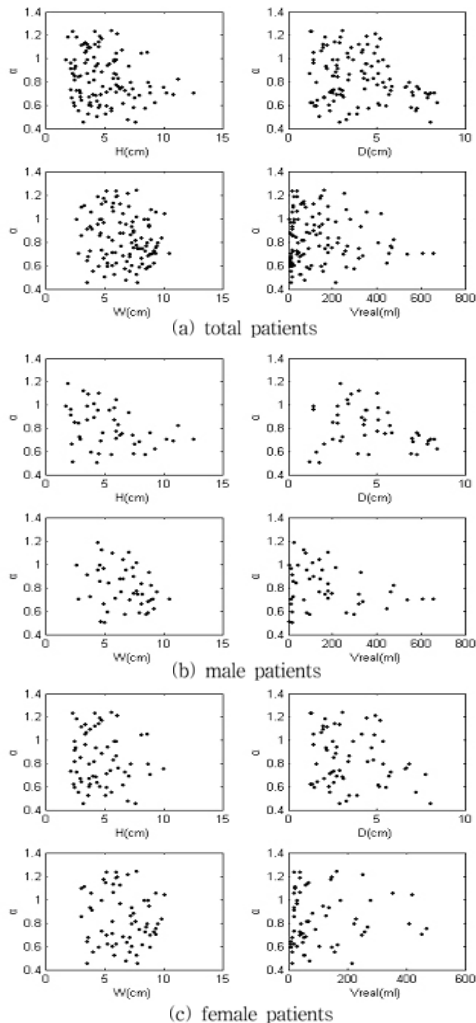


Fig. 2. Scatter-plot between and parameters used by linear least square error method.

transverse width(W)로 하였다(Fig. 1). urethral catheter를 이용해서 측정한 방광안의 잔뇨량의 부피를 실제 잔뇨량의 참 값 V_{real} 로 정의하고, Ultrasound Image를 통하여 예측한 값을 $V_{pre} = \alpha \times H \times D \times W$ 로 정의하였다.

A. Data Regression

Fig. 1와 같이 방광의 Ultrasound Image로부터 더 정확한 잔뇨량의 부피를 예측하기 위해 두 가지의 간단한 하지만 효과적인 방법을 사용하였다. 하나는 linear least squares error method이고 다른 하나는 2rd order least squares polynomial fitting 방법이다[7].

1) Linear least squares error method

data regression을 위한 방법은 여러 가지가 있지만 지금까지 가장 널리 쓰이는 방법은 linear least squares error method이다[7]. 이 방법은 식 (1)에서 $RSS(\alpha_i)$ 가 최소가 되는 α_i 를 찾는다.

$$RSS(\alpha_i) = \{V_{real}(i) - V_{pre}(i)\}^2 = \{V_{real}(i) - \alpha_i \cdot H_i \cdot D_i \cdot W_i\}^2 \quad (1)$$

여기서 $RSS(\alpha_i)$ 는 parameters들의 제곱 함수이다. 그러므로 항상 최소값이 존재한다. 여기서 최소값 일 때의 α_i 를 구하기 위해 각각 α_i 에 관하여 미분하면 우리는 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$\alpha_i = \frac{V_{real}(i)}{H_i \cdot D_i \cdot W_i} \quad (2)$$

여기서 구한 α 와 다른 data들 간에 scatter-plot은 fig. 2와 같다. fig. 2를 보면 α 와 D(cm)가 어떤 경향성을 보이는 것을 볼 수 있는데, $\alpha = f(D)$ 를 구하기 위해 2rd order least squares polynomial fitting 방법을 사용하였다.

2) 2rd order least squares polynomial fitting

2rd order least squares polynomial fitting하는 방법은 다음과 같은 절차에 의해서 이루어진다. 서로 다른 D값에 대하여 $\{(D_i, \alpha_i)\}_{i=1}^N$ 를 N개의 점으로 이루어지는 집합이라고 하면 이때 2rd order least squares polynomial fitting 식 (3)과 같다.

$$\alpha = f(D) = Ax^2 + Bx + C \quad (3)$$

식 (3)에서 계수 A, B, C는 식 (4), (5), (6)의 연립방정식의 해가 된다.

$$\left(\sum_{i=1}^N D_i^4\right)A + \left(\sum_{i=1}^N D_i^3\right)B + \left(\sum_{i=1}^N D_i^2\right)C = \sum_{i=1}^N \alpha_i D_i^2 \quad (4)$$

$$\left(\sum_{i=1}^N D_i^3\right)A + \left(\sum_{i=1}^N D_i^2\right)B + \left(\sum_{i=1}^N D_i\right)C = \sum_{i=1}^N \alpha_i D_i \quad (5)$$

$$\left(\sum_{i=1}^N D_i^2\right)A + \left(\sum_{i=1}^N D_i\right)B + NC = \sum_{i=1}^N \alpha_i \quad (6)$$

식 (3), (4), (5), (6)을 통해서 얻은 결과는 fig. 3과 table. 1과 같다. 또한 여기서 α 의 값에 따라 방광 sagittal plane의 모양을 예측할 수 있는데 만약에 α 가 $\frac{\pi}{4} = 0.785$ 보다 작으면 방광의 부피가 각 변의 길이가 H, W, D인 원기둥의 부피보다 작다고 예측할 수 있고, 크면 원기둥의 부피보다 크다고 할 수 있다. 따라서 각각

Table 1. 2rd order squares polynomial fitting equation according to patient groups

| Patient group | 2rd order least squares polynomial fitting equation |
|---------------|---|
| Total | $\alpha = -0.011 \times D^2 + 0.069 \times D + 0.76$ (7) |
| Male | $\alpha = -0.017 \times D^2 + 0.15 \times D + 0.56$ (8) |
| Female | $\alpha = -0.0075 \times D^2 + 0.035 \times D + 0.83$ (9) |

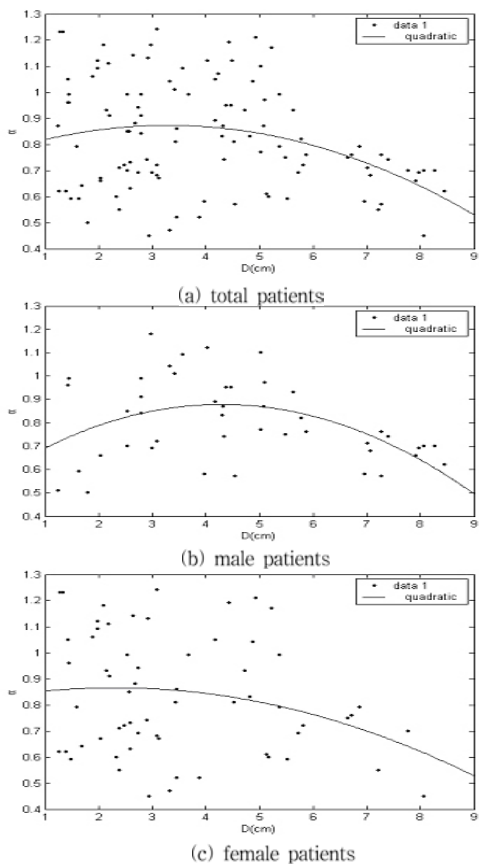


Fig. 3. 2rd order least squares polynomial fitting plot by α and sagittal depth (D)

의 환자들의 ultrasound image를 다시 α 가 0.785이상과 이하로 분류하여 2rd order least squares polynomial fitting을 실시하였다. 그 결과는 fig. 4와 table. 2와 같다.

결 과

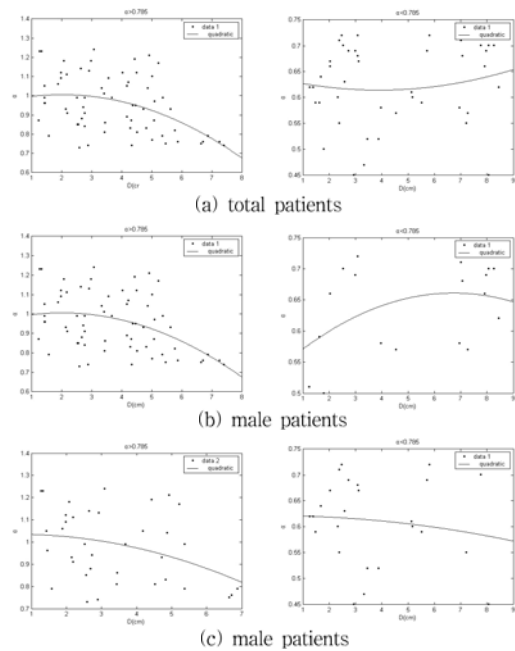


Fig. 4. 2rd order least squares polynomial fitting plot through classifying $\alpha > 0.785$ and $\alpha < 0.785$

본 연구에서 제안된 data regression방법을 이용해서 $V_{pre} = f(H, W, D, \alpha)$, $\alpha = f(D)$ 와 같은 결과식[7]~[15]을 얻었다. 각각의 경우에 대한 V_{pre} 와 V_{real} 의 정확성 비교를 위해 V_{pre}/V_{real} 의 비를 V_{real} 에 대해 plot한 것이 fig. 5와 같다. fig. 5에서 볼 수 있듯이 α 에 의해서 분류하면, 그렇지 않을 때보다 정확성이 더 높아지는 것을 볼 수 있다. 그리고 table. 3에서 볼 수 있듯이 역시 error percent(EP), standard deviation(STD), Correlation(R)는 α 에 의해 분류하는 것이 그렇지 않을 때 보다 더 정확성이 높아지는 것을 볼 수 있다. total patients 경우 EP가 분류하지 않았을 때 보다 약 9%정도 더 정확하게 나왔고, Hekenberg, Griffith, Poston보다 대략 10%이상

Table 2. 2rd order squares polynomial fitting equations for $\alpha > 0.785$ and $\alpha < 0.785$ cases

| Patient group | 2rd order least squares polynomial fitting equation | |
|---------------|--|---|
| | $\alpha > 0.785$ | $\alpha < 0.785$ |
| Total | $\alpha = -0.0092 \times D^2 + 0.037 \times D + 0.97$ (10) | $\alpha = 0.0015 \times D^2 - 0.012 \times D + 0.64$ (11) |
| Male | $\alpha = -0.0091 \times D^2 + 0.037 \times D + 0.94$ (12) | $\alpha = -0.0027 \times D^2 + 0.037 \times D + 0.54$ (13) |
| Female | $\alpha = -0.0053 \times D^2 + 0.0063 \times D + 1$ (14) | $\alpha = -0.00058 \times D^2 + 0.00024 \times D + 0.62$ (15) |

Table 3. Measurement errors for comparing the various method(EP : error percent, STD : standard deviation, R : correlation coefficient)

| | nonclassification by α | | | classification by α | | | | | | Hekenberg | Griffith | Poston |
|-----|-------------------------------|--------|--------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|----------|--------|
| | total | male | female | total | | male | | female | | | | |
| | | | | α 0.785 | α 0.785 | α 0.785 | α 0.785 | α 0.785 | α 0.785 | | | |
| EP | 20.8% | 16.09% | 24.5% | 11.73% | 10.66% | 9.16% | 9.08% | 12.96% | 11.11% | 24.4% | 43% | 21.8% |
| STD | 17.34% | 14.46% | 19.2% | 8.28% | 9.03% | 6.4% | 5.6% | 8.3% | 10.03% | 15% | 15% | 14.48% |
| R | 0.978 | 0.986 | 0.966 | 0.987 | 0.991 | 0.990 | 0.995 | 0.985 | 0.978 | 0.97 | 0.97 | 0.97 |

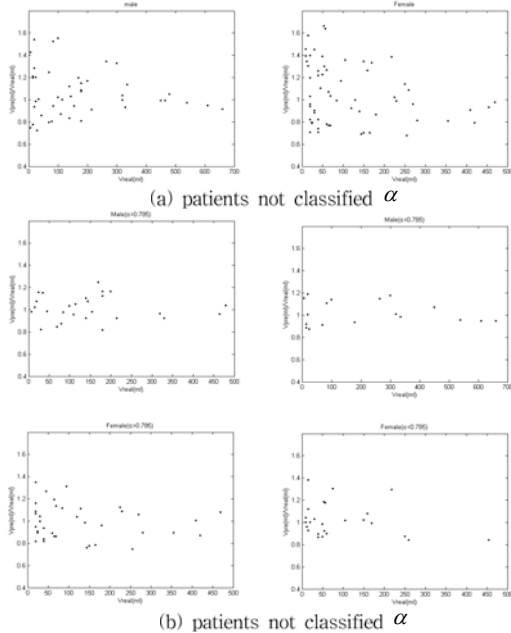


Fig. 5. V_{pre}/V_{real} , V_{real} scatter plot to compare the results between patients classified by α and patients not classified by α

더 정확성이 높아졌다. 그러나 여기서 다시 남, 여 성별을 분류했을 때 남성은 total patients(classification)보다 EP가 약 2.1% 더 정확성이 높아졌고 STD도 2.65% 향상 되었다. 그러나 여성은 이와는 반대로 EP는 대략 1%, STD는 0.5% 정확성이 떨어지는 것을 볼 수 있다.

토의 및 결론

본 연구에서 제안된 결과 식을 가지고 ultrasound image 통한 방광 내 잔뇨량을 예측 했을 때 기존의 방법들[1][4][5]에 비해서 정확성이 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 각각의 방법들에서 여성일 경우 남성보다 정확성이 떨어지는 것을 볼 수 있었는데 그 이유는 누워 있을 때 여성의 방광 image가 자궁의 구조 때문에 굴곡이 많고 또 변화가 심하기 때문에 남성보다 정확성이 떨어질 것이라 추측된다. 그러나 그 차이는 그리 크지 않아 환자의 방광 이상 유무를 진단하는 데는 커다란 영향을 끼치지 않을 것으로 판단된다. 향후 촉진해야 할 연구과제로는 결과 식에 측정된 sagittal height, depth, transverse width를 넣기 전에 ultrasound image상에서 α 가 0.785이상인지 이하인지

를 판단하는 방법의 개발인데, ultrasound image 의 sagittal plane 과 transverse plane image를 가지고 artificial neural networks을 이용한 분류 방법이 가능할 것으로 생각된다.

참고 문헌

1. J. GRIFFITHS, A MURRAY and D. RAMSDEN, "Accuracy and repeatability of bladder volume measurement using ultrasonic imaging," *The Journal of Urology*, vol. 136, pp.808-812, 1986.
2. B. T. HAYLEN, M. I. FRAZER, J. R. SUTHERST and C. R. WEST, "Transvaginal Ultrasound in the Assessment of Bladder Volumes in Women " *British Journal of Urology*, vol. 63, pp.149-151, 1989.
3. N. DIMFOROOSH, F. DADKHAH, S. Y. HOSSEINI, M. A. ASGARI, A. NASSERI and M. R. SAFARINEFAD, "Accuracy of residual urine measurement in men : comparison between real-time ultrasonography and catheterization ," *The Journal of Urology*, vol. 158, pp.59-61, 1997.
4. O. W. HAKENBERG, R. L. RYALL, S. L. LANGLOIS and V. R. MARSHALL, "The estimation of bladder volume by sonocytography," *The Journal of Urology*, vol. 130, pp.249-251, 1983.
5. G. J. POSTON, A. E. A. JOSEPH and P. T. RIDDLE, "The accuracy of ultrasound in the measurement of changes in bladder volume," *British Journal of Urology*, vol. 55, pp.361-363, 1983.
6. T. L. MASSAGLI, K. M. JAFFE and D. D. CARDENAS, "Ultrasound measurement of urine volume of children with neurogenic bladder," *Developmental Medicine and Child Neurology*, vol. 32, pp.314-318, 1990.
7. T. HASTIE, R. TIBSHIRANI, J. FRIEDMAN, *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*, Springer, 2001.