

원발개방각녹내장 환자에서 일차 치료 방법에 따른 비용과 분포 비교

곽동윤¹ · 박지현² · 김연덕³ · 임혜빈⁴ · 백혜정⁵ · 박치준⁶ · Aman Shah B. Abdul Majid¹ · 강규동^{1,4}

옥스포드대학교, 옥스포드, 영국¹, 고려대학교 뇌공학과², 한길안과병원³, 가톨릭대학교 의과대학 안과학교실⁴,
가천의과대학교 의과대학 안과학교실⁵, 홍익대학교 컴퓨터공학과⁶

목적: 한국의 실정에서 녹내장 환자에게 초기 치료로 약물, 레이저 또는 수술적 치료를 선택하였을 때 시간에 따라 각각의 치료에 소요되는 비용과 환자의 분포를 알아보았다.

대상과 방법: 세 가지 초기 치료에 대해 각각 독립적인 Markov process를 만들어 Markov model을 제작하고 시간에 따른 상태들의 확률적인 분포를 나타냈다. 1 stage를 1년으로 정의하고 5, 10, 20년 동안의 비용을 Monte Carlo Simulation을 통해 구하였다.

결과: 5년을 기준으로, 레이저를 초기 치료로 선택할 경우에 가격이 가장 낮았고 10년을 기준으로 수술을 초기 치료로 선택할 경우에 가격이 가장 낮았다. 10년을 기준으로 수술 성공률이 30.1% 이상이면 수술을 초기 치료로 선택하는 것이 약물치료보다 경제적이고 레이저를 초기 치료로 선택할 경우, 레이저 성공률이 16.3% 이상이면 약물치료보다 경제적이다. 약제값이 연간 약 5만 5천원, 6만원 이하로 내려가야 각각 수술과 레이저 치료보다 경제적일 수 있다.

결론: 레이저섬유주성형술은 단기간(5년) 동안에 비용 대 효용이 우수하고 수술은 장기간(10년 이상)에 걸쳐 비용 대 효용이 우수하다. <대한안과학회지 2010;51(6):865-874>

녹내장 환자를 일차적으로 치료하는 데 있어서 약물치료, 수술적 치료(섬유주절제술) 또는 레이저 치료 중 어떠한 방법을 선택할 것인지에 관하여 의사들이 원칙적으로 가장 중요하게 생각하는 기준은, 어떠한 치료방법이 부작용이 적 으면서 우수한 안압 하강 효과를 나타내는지이다. 이는 안 압이 녹내장성 시야손상의 진행을 막는 데 가장 중요한 위험요소 중 한 가지이기 때문이다.¹ 이러한 원칙이 있지만 실제로 임상에서 부작용이 적고 안압 하강 효과가 우수한 치료방법이라고 해도 이에 따른 비용이 환자에게 부담을 주어 환자가 치료를 지속하기 어려운 경우도 있다. 더욱이 최근에는 새로운 고가의 기계들이 녹내장의 진단(빛간섭단층촬영기(Optical Coherence Tomography), 레이저 시신경유두 분석기(Heidelberg Retina Tomography), 주사레이저편광측정기(Scanning Laser Polarimeter) 등)과 치료(선

택적 레이저 섬유주성형술(Selective Laser Trabeculoplasty)에 활용되면서 녹내장 환자를 진단하고 치료하는 데 따른 비용이 증가하고 있다. 녹내장의 진단과 치료에 따른 비용을 나누어 지불하는 환자와 보험사에게 이러한 비용의 증가는 경제적인 부담으로 이어질 수 밖에 없고 때로는 녹내장 치료의 장애가 되기도 하여 서구에서는 녹내장의 진단과 치료 방법에 따른 비용에 대한 관심이 지속적으로 있었다. 이러한 관심의 일환으로 녹내장 환자를 치료하는 데 있어서 비용 대 효용을 Markov model을 이용하여 분석한 연구²⁻⁶뿐만 아니라 녹내장이라는 질환 자체가 환자에게 어떠한 영향을 주고 어느 정도의 경제적인 손실을 주는지에 대한 연구는 매우 흥미롭다.^{7,8} 하지만 국내의 실정을 감안한 연구는 Lee et al⁶이 유일하고 대부분의 기존 연구는 국내의 현실과 거리가 있는 외국의 연구 결과들이 대부분이다. 국내의 약제값과 외국의 약제값에 현저한 차이가 있다는 점 뿐만 아니라 섬유주절제술이나 레이저 시술에 대한 수가도 국내와 국외에 있어서 큰 차이가 있다는 점을 직시할 때 국내의 실정을 감안한 자료의 필요성이 대두된다. 또한 국내의 보건의료체계는 영리를 추구하는 민간자본 중심의 공급체계이고 건강보험심사평가원에서 최근 발표한 자료에 의하면 매년 건강보험의 지출(expenditure)이 지속적으로 증가하고, 특히 녹내장(상병기호 H40)과 관련된 의료보험의 지출 역시 증가하고 있는 것으로 나타났다(Fig. 1).

■ 접수 일: 2009년 9월 8일 ■ 심사통과일: 2010년 3월 16일

■ 책임저자: 강 규 동

Oxford Eye Hospital, West Wing
The John Radcliffe Hospital
Headley Way, Headington, Oxford OX3 9DU
Tel: 44-01865-231099, Fax: 44-01865-234795
E-mail: kuidongkang@gmail.com

* 본 논문은 Korea Institute of Ophthalmology and Neuroscience의 지원으로 가능하였음.

* 본 연구는 가톨릭중앙의료원에서 연구비의 일부를 보조 받았음.

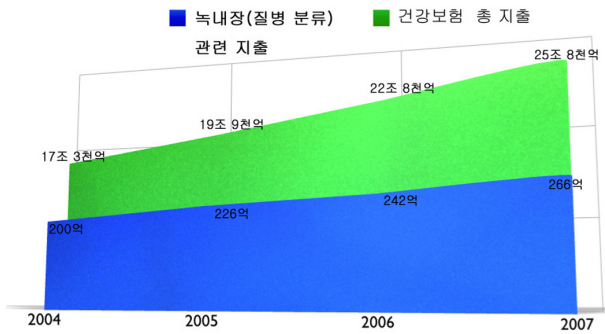


Figure 1. Increase in costs of national health insurance. Note that there is a steady increase in both the total cost and disease (glaucoma)-specific cost from 2004 to 2007.

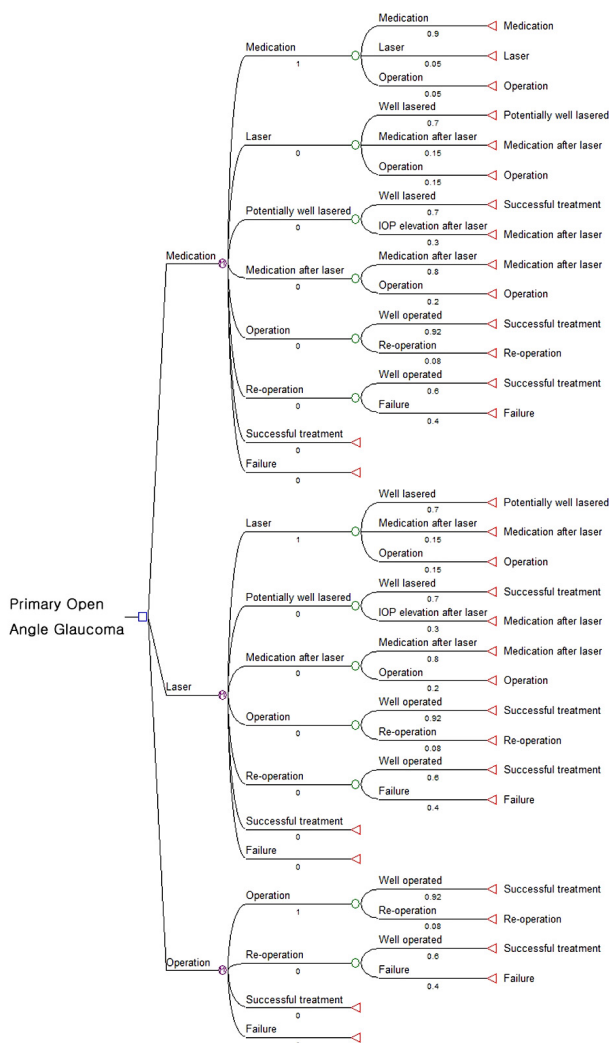


Figure 2. The Markov model used in this study. Three independent Markov chain models were constructed for each treatment option (medication, surgery, laser) to simulate the transition of treatment progress and to evaluate the total treatment costs associated with each strategy.

또한 녹내장은 2008년에 질병소분류별 다빈도 통계에서 발생빈도 120위로 조사되었고 지속적으로 그 순위가 올라가고 있다. 결국 이러한 비용의 증가는 건강보험수가의 인상으로 이어져 매년 약 2% 정도의 수가가 인상이 되고 있는 현실 속에서 비용 대 효용이 우수한 치료방법을 선택하는 것에 대한 필요성이 대두되고 있다.

이 연구의 목적은 한국의 의료 실정에서 녹내장 환자에게 각각 세 가지 다른 일차 치료 방법을 선택하였을 때 시간에 따른 그 비용을 분석하고 그에 따른 환자의 분포를 통계학적인 방법을 통하여 알아보고자 하는데 있다. 근래에 국내에서 많이 시행되고 있는 선택적섬유주성형술(selective laser trabeculoplasty)을 약물치료와 수술적 치료와 함께 유용한 치료 방법에 포함시켜서 기존의 모델들과 차별화를 하였다. 또한 Markov 모델을 통한 비용 분석시 가장 큰 어려움인 각각의 치료의 성공률을 정하는데 있어서 국내의 수치를 포함시켜 국내의 현실을 반영하였고 각각의 치료방법의 성공률이 어느 정도 상승 또는 하강할 때 상대적인 효용을 상실하는지를 제시하였다. 또한 치료기간을 다양하게 변화시켜(5, 10, 20년) 각각의 기간에 따른 비용을 제시함으로써 현실적으로 환자 각각의 상황에 맞추어 치료 비용의 효용성을 판단하는 데 도움을 주고자 하였다.

대상과 방법

TreeAge Pro 2009 (TreeAge Software Inc., Williamstown, MA, USA) 프로그램을 이용하여 Markov model을 제작하였다. 이 Markov model은 크게 다음과 같은 8개의 상태로 이루어져 있다. (1)약물치료를 하고 있을 상태 (Medication), (2)레이저 치료를 하고 있을 상태(Laser), (3)레이저 치료 성공 후 재발의 위험이 있는 상태, (4)레이저 치료 후 약물치료를 하고 있을 상태(Medication after Laser), (5)수술을 받은 상태(Operation), (6)재수술을 받을 상태(Re-operation), (7)치료에 성공한 상태(Successful treatment), (8)치료에 실패한 상태(Failure). 이 중 흡수 상태인 치료에 성공한 상태(Successful treatment), 치료에 실패한 상태(Failure)에서는 Markov process가 정지된다. 이 모델은 총 3 개의 독립적인 Markov process로 구성되어 있다(Fig. 2). 각각 process의 초기 분포(initial distribution)는 초기 선택 확률을 1로 지정하였고, 나머지 상태들을 0으로 지정하였다. 이후, 시간에 따른 상태들의 확률적인 분포를 나타내었고 1000명의 가상 환자의 치료비를 알아보기 위해서 총 1000회에 걸친 Monte Carlo Simulation을 통해 각각의 치료 기간(5, 10, 20년) 동안의 치료비를 구하였다. 치료과정의 반복된 처리는 Markov

Table 1. List of the eye drops with respective cost (2009 July current cost)

Drug	Cost (Won/bottle)	Cost (Won/year)
Xalatan (latanoprost, 2.5 ml)	25,115	150,690
Xalacom (latanoprost and timolol maleate 2.5 ml)	23,563	141,378
Travatan (travoprost, 2.5 ml)	22,743	136,458
DuoTrav (travoprost and timolol maleate, 2.5 ml)	22,925	137,550
Lumigan (bimatoprost 3 ml)	27,171	135,855
Ganfort (bimatoprost and timolol maleate, 3 ml)	27,252	136,260
Combigan (brimonidine and timolol maleate, 5 ml)	15,365	92,190
Cosopt (dorzolamide and timolol maleate, 5 ml)	22,015	132,090
Betoptic (betaxolol, 5 ml)	9,615	57,690
Betoptic-S (betaxolol, 5 ml)	9,500	57,000
Rescula (isopropyl unoprostone, 5 ml)	18,795	112,770
Timoptic-XE (timolol maleate 0.5%, 2.5 ml)	10,852	65,112
Average (Won/year)		112,920.3

Table 2. The cost for surgery and selective laser trabeculoplasty (2009 July current cost)

	Cost (Won/time)
Surgical treatment	
Operation cost including anesthesia (Trabeculectomy)	391,500
Admission cost (4 day and 3 nights)	167,994
Medication cost after surgery and examination cost	143,000
Total cost for surgery	702,494
Laser treatment	
Operation cost	322,360
Medication cost and examination cost	9,140
Total cost for laser	331,500

process의 matrix calculation을 이용하여 분석하였고, 1 stage를 1년으로 정의하여 각각의 치료 기간 동안 치료 방법에 따른 비용과 환자의 분포를 분석하였다. 이는 임상에서 환자의 경과관찰과 치료 방법의 변화가 1년 단위로 바뀔 수 있고 환자는 단기간 또는 장기간 추적관찰이 가능하다는 현실적인 상황을 모두 포함한 것이다.

원발개방각녹내장으로 진단을 받은 모의환자를 대상으로 설정한 이 모델의 구체적인 가정은 다음과 같다.

첫째, 현실적으로 각각의 약물에 대한 치료의 성공률을 구하는 것이 불가능하고 녹내장환자의 약물치료는 진행과정에 따라 다른 다양한 조합이 나타날 수 있으나, 모델에서는 원발개방각녹내장 환자에서 일반적으로 일차로 선택되는 약제들로 약물치료를 시작하는 것으로 생각하였다. 네 가지 약제군(베타차단제, 프로스타글란딘 제제, 탈산탈수 효소억제제, 혼합제제(combination drug))이 녹내장 환자에서 일차로 선택되는 약제군들이라고 가정을 하고 각각의 약의 목록을 Table 1과 같이 표시하고 평균 약제값을 구하였다. 약제를 한 가지만을 사용하도록 하여 Markov process를 구성한 이유는 약제를 두 가지로 사용할 경우 Markov process가 지나치게 복잡해지기 때문이며 이러한 가정은 문헌검색상 타당하다.^{2,6} 또한 실제 임상에서 일시적으로는 환자들에게 세 가지 이상의 약을 점안하도록 할 수 있지만 많은 약물을 사용하게 되면 환자의 순응도(compliance)가

떨어지고 약물의 부작용이 나타날 가능성이 있으므로 상기 단일 약제를 사용하지 못하게 될 경우를 약물치료의 실패로 가정하고 다른 치료로 넘어가도록 하였다. 실제로 임상에서 일시적인 안압하강효과를 보기 위해서 경구 이노제(acetazolamide) 등의 추가 치료를 통하여 최대약물치료(maximum medication therapy)를 시행할 수는 있으나 환자에 따라 내성(tolerance)이 다르고 모델에서 지정한 장기간(10, 20년) 동안에 지속적으로 최대약물치료를 시행하는 경우는 극히 드물기 때문에 제외하였다. 레이저 치료(선택적 섬유주성형술)와 수술 치료에 따른 비용은 본원을 기준으로 하였다(Table 2).

둘째, 환자는 원발개방각녹내장으로 진단받은 후 약물치료, 레이저치료, 수술적치료를 무작위(random)로 선택할 수 있다. 약물치료의 경우 약물치료는 지속적으로 이루어져야 하며, 약물치료를 시행하고 실패한 경우 레이저 치료와 수술적 치료를 같은 확률로 시행받는다. 만약에 레이저 치료를 일차치료로 시행 받고 실패한 경우에는 역시 약물치료와 수술적 치료를 같은 확률로 시행받는다. 단 이러한 경우, 레이저 치료를 시행받은 환자가 약물치료를 선택하게 되면 이는 지속적으로 이루어져야 하며, 레이저 치료는 최대 한번까지만 가능하다고 가정하였다. 일단 레이저 치료를 받은 후에 약물치료를 실패할 경우 다시 레이저 치료를 시행할 수 없고 수술적 치료만이 가능하며, 일차 레이저 치료

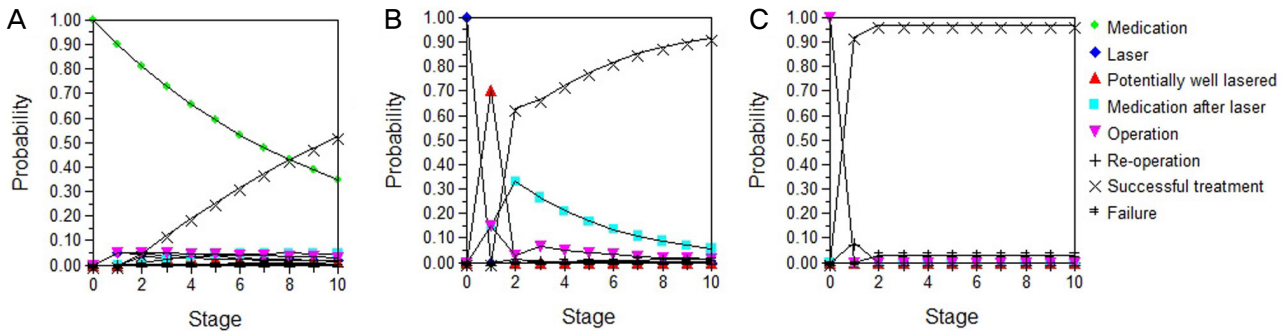


Figure 3. Markov probability analysis for the group primarily treated with medication (A), primarily treated with laser (B) and primarily treated with surgery (C). One stage is regarded as 1 year. Note that in panel (B), potentially well lasered status only appear once after initiation of the treatment as laser treatment is only performed once. The people who are eventually successfully treated with laser therapy are incorporated into successful treatment after stage 1.

Table 3. The total cost for each treatment methods during different time scales (5, 10, 20 years) (2009 July current cost)

	5 years	10 years	20 years
Medication	689,921	1,188,383	1,706,869
Laser	656,194	835,811	901,366
Surgery	757,400	758,100	758,800

로 안압이 성공적으로 하강하였다고 하더라도 시간이 지남에 따라 안압이 다시 상승하게 되면 약물치료나 수술적 치료를 시행하도록 하였다. 이는 시간이 지남에 따라 레이저 치료의 성공률이 떨어지는 임상 경험을 반영한 것이다. 수술적 치료를 시행한 경우 레이저 치료나 약물치료를 시행하지 않으며 재수술은 최대 한번까지만 가능하며 재수술이 실패할 경우에는 치료의 실패로 정의한다.

셋째, 각각의 치료의 성공률은 국내외의 보고를 모두 반영하여 정의하였다. 섬유주절제술의 경우 국내외의 보고와⁹⁻¹² 저자 자체의 성공률(92%)을 고려하여 섬유주절제술의 1 stage의 성공률을 92%라고 정의하였다. 약물치료의 경우 본 연구에서는 해외의 보고와¹¹⁻¹² 저자 자체의 자료를 이용하여 약물 치료의 1 stage의 성공률을 90%라고 정의하였다. 재수술의 경우 성공률을 기존 보고¹³를 바탕으로 60%로 정의하였다. 레이저 치료의 성공률은 국내외의 보고와¹⁴⁻²¹ 저자 자체의 성공률을 반영하여 1년의 성공률을 70%로 가정하였다. 또한 1 stage가 지남에 따라 레이저 치료를 받아 성공적으로 안압이 하강한 환자 중에서 30%는 안압이 다시 상승하여 약물치료나 수술적 치료를 받는 것으로 하였다. 동시에 두 가지 치료를 시행하는 경우는 없다고 가정을 하였고 한 치료 방법에서 다른 치료방법으로 넘어가는 단위(stage)는 1년으로 정의하였다.

넷째, 약제값은 다음과 같은 가정을 근거로 산출하였다.

안약 1방울의 용량을 40 μ l라고 하고 하루 1회 점안시 두 달동안 사용량을 계산하면 $40 \mu\text{l} \times 60 = 2.4 \text{ ml}$ 로, 두 달에 1병(2.5 ml 기준)을 사용하고 하루 2회 점안시에도 두 달동안 사용량을 계산하여($80 \mu\text{l} \times 60 = 4.8 \text{ ml}$) 5 ml 기준으로 1병을 사용하는 것으로 가정하여 연간 사용량을 계산하였다. 마지막으로 다음 단계로의 이동은 현재 상태의 전이확률(transition probability)에 의하여 독립적으로 결정된다고 가정하였다.

결 과

2009년 7월 1일 보험수가를 기준으로 하여 Monte Carlo Simulation을 시행한 결과는 초기 치료 방법에 따른 10년까지의 각각의 치료 방법에 대한 분포는 다음과 같다(Fig. 3). 각각의 그래프에 대한 10년 동안의 평균 가격을 구하게 되면, 초기 치료로 약물치료를 할 경우 1,188,383원, 초기 치료로 레이저를 할 경우 835,811원, 초기 치료로 수술을 할 경우 758,100원의 비용이 나온다(Table 3). 상기 비용은 각각의 치료법을 초기 치료로 선택하였을 경우에 10년 후의 평균 값이며, 약물치료를 초기 치료로 할 경우 평균가격이 가장 높게 계산되고 수술적 치료를 초기 치료로 할 경우에는 평균 가격이 가장 낮게 계산되었다. 초기에 약물치료를 선택하였을 때 10년 후에 환자들이 약물치료만을 계속하고 있을 확률은 34.86%, 수술적 치료를 받고 성공적인 안압조절을 보일 확률은 39.49%, 레이저 치료 후 성공적인 안압조절을 보일 확률은 13.95%였다(Fig. 3A). 레이저 수술을 일차 치료로 선택하였을 경우에 각각의 stage에 따른 상태의 분포 양상은 Figure 3B와 같으며 10년 후에 약물치료를 하고 있을 확률은 6.27%, 레이저 시술 후 성공했을 확률은 18.2%, 수술적 치료를 받았을 확률은 71.49%였다.

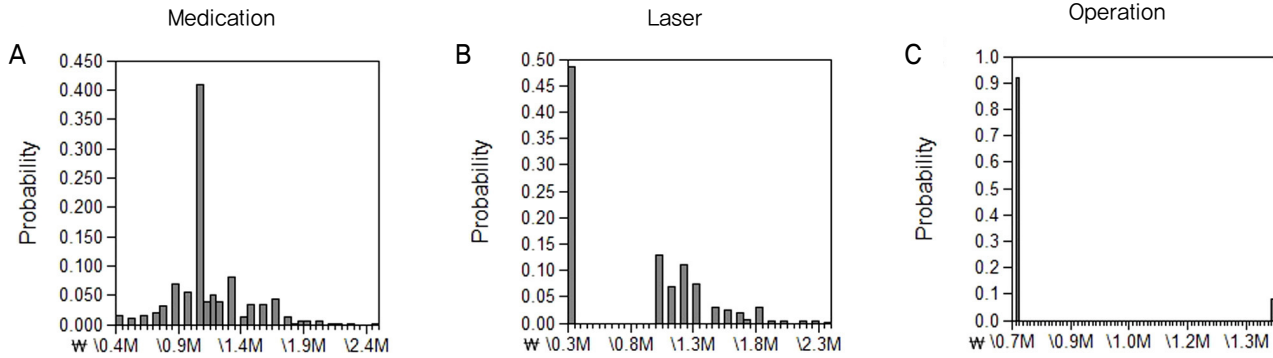


Figure 4. Monte Carlo for the group primarily treated with medication (A), primarily treated with laser (B) and primarily treated with surgery (C). The 10-year cumulative costs were 1,188,383 won, 835,811 won and 758,100 won for patients selecting medication, laser trabeculoplasty and operation as the initial treatment strategy, respectively.

Table 4. The total cost for surgery and selective laser trabeculoplasty depending on the success rate of each treatment after 10 years (2009 July current cost)

Period		Success rate					
		70%	60%	50%	40%	30%	20%
5 years	Surgery	925,400	993,300	1,051,400	1,123,500	1,201,900	1,274,000
	Laser	656,194	720,752	751,508	839,215	889,005	941,890
10 years	Surgery	907,900	987,000	1,044,000	1,095,500	1,188,405	1,243,200
	Laser	835,811	870,447	967,933	1,017,002	1,088,765	1,144,290
20 years	Surgery	911,400	978,600	1,062,600	1,111,600	1,171,800	1,264,200
	Laser	901,366	949,800	1,020,956	1,109,699	1,154,634	1,228,002

Table 5. The total cost for medication depending on the annual cost of medication. Only if the annual cost of medication decreases to 55,000 won, then the cost of choosing medication of the initial treatment strategy will be economical than choosing laser or operation

Period		Annual cost				
		70,000	65,000	60,000	55,000	50,000
5 years		491,960	462,320	453,060	432,780	426,290
10 years		875,250	838,955	807,500	755,580	740,090
20 years		1,282,130	1,220,910	1,150,970	1,129,310	1,072,130

초기 치료로 수술을 시행하였을 경우 각 stage에 따른 상태의 분포 양상은 Figure 3C와 같으며 10년 후에 수술적 치료를 받았을 확률은 96.8%였다.

치료 기간을 5년으로 정할 경우 초기 치료로 약물치료를 할 경우 689,921원, 초기 치료로 레이저를 할 경우 656,194원, 초기 치료로 수술을 할 경우 757,400원의 비용이 계산되어 레이저를 초기 치료로 선택하였을 때 평균가격이 가장 낮게 선정되었고 수술적 치료의 평균가격이 가장 높았다(Table 3).

같은 모델을 이용하여, 수술의 성공률과 레이저의 성공률이 어떠한 수준 이하로 떨어졌을 때 약물치료의 효용이 더 우수한지를 알아보기 위하여 동일한 모델에 각각의 치료 방법(수술, 레이저)의 성공률만을 새로 대입하면서 1000회에 걸쳐 Monte Carlo Simulation 결과를 관찰해 본 결과,

약물치료의 비용이 10년 동안 평균 1,188,383원이라고 가정할 경우 수술 성공률이 30.1% 이상만 되면 초기 치료로 수술을 하는 것이 더 경제적인 것임을 알 수 있었다(Table 4). 초기 치료를 레이저로 할 경우는, 레이저 성공률은 16.3% 이상만 되어도 초기 치료를 약물로 하는 것보다 더 경제적인 것임을 알 수 있었다. 또한 약제값이 어느 수준 이하로 내려가야 수술이나 레이저 치료보다도 더 경제적인 수 있는지를 알아본 결과, 초기 치료를 수술로 하였을 경우보다 경제적으로 효용성이 있으려면 10년을 기준으로 약제값은 연간 약 5만 5천원 이하로 내려가야 함을 알 수 있었다. 또한 초기 치료로 레이저 치료를 시행하였을 때보다 경제적 효용성이 있으려면 10년을 기준으로 약제값은 연간 약 6만원 이하로 내려가야 한다는 것을 알 수 있었다(Table 5). 상기 비용의 1원 단위까지의 정확한 값을 알기는 힘들고 대

략적인 값만을 알 수 있는 이유는 Monte Carlo Simulation의 특징인 무작위화(randomization)로 인한 결과이다.

상기 결과는 초기 치료의 선택에 따른 가격과 비용의 효용성을 비교한 것인데 만약 환자가 내원하여 세 가지 치료 방법을 임의로(randomly) 선택할 수 있다고 가정을 하여(각각의 치료 방법을 1/3의 확률로 선택할 수 있다) 동일하게 1000회에 걸친 Monte Carlo Simulation 결과를 관찰해 본 결과, 10년 동안의 평균 비용은 941,433원으로 계산되었으며 총기간을 10년으로 하지 않고 단축시켜 5년으로 가정을 한 결과 5년 동안의 평균 비용은 693,691원, 20년 동안의 평균비용은 1,088,935원으로 계산되었다.

고 찰

본 연구에 의하면 단기간(5년) 동안의 비용에서는 일차 치료로 레이저를 선택할 경우 656,194원으로 가장 낮게 계산이 되었고 수술을 선택할 경우 757,400원, 약물을 선택할 경우에는 689,921원의 비용이 소요되어 레이저섬유주성형술이 가장 비용이 적게 드는 것으로 나타났다. 반면, 장기간(10, 20년) 동안의 비용에서는 일차 치료로 수술을 선택하는 것이 가장 비용이 낮게 계산이 되었고 약물을 선택할 경우가 가장 비용이 높게 계산되었다.

약물치료를 초기 치료로 선택할 경우 상대적으로 많은 비용이 소요되는 것은 기존의 연구⁶와 일치하지만 본 연구는 다음과 같은 점에서 기존의 연구와 차별화가 된다. 첫째, 본 연구는 최근에 많이 시행되고 있는 레이저섬유주성형술을 Markov 모델에 추가하여 각각의 경과관찰 기간에 따른 비용을 알아보았고 그 결과 레이저섬유주성형술이 단기간(5년)에서는 가장 낮은 비용이 소요되는 것으로 나타났다. 더욱이 이는 시간이 지남에 따라 레이저 치료의 성공률이 감소하는 현실을 반영한 후에 나온 결과이기 때문에 흥미롭다. 비록 Cantor et al²이 수술적 치료, 약물치료, 레이저 치료 중에서 레이저 치료가 단기간(5년) 동안에는 가장 저렴한 치료 방법이라고 보고하였지만 그들의 연구는 미국의 현실을 보다 반영하였고 장기간 치료를

할 경우에 대한 결과는 보고하지 않았다. 또한 그들이 사용한 Markov model에서는 약물치료, 레이저 치료 및 수술적 치료를 같이 사용할 수 있도록 구성되어 있어서 본 연구에서 사용한 모델과는 차이가 있다. 둘째 각각의 치료 방법의 성공률이 어느 정도까지 떨어질 때 그 상대적인 가격 경쟁력을 잃는지를 제시하였고, 마지막으로 약제값이 어느 정도까지 떨어져야 다른 치료방법에 대하여 가격 경쟁력이 있는지를 제시하였다. 이러한 수치는 국내의 수가와 자료를 바탕으로 계산한 것이기에 지금까지 이러한 자료를 제시한 연구는 없었다.

레이저섬유주성형술이 저렴한 비용으로 높은 효용을 보인다는 것을 암시하기도 하지만 상기 결과를 해석하는 데 있어서 몇 가지 주의해야 할 점이 있다. 우선 레이저섬유주성형술의 효과와 유용성에는 아직도 많은 논란이 있다. 하지만 일반적으로 안과의사들 사이에 공통적으로 동의하는 것은, 선택적 레이저섬유주성형술이 기존의 아르곤 레이저섬유주성형술과 적어도 동등한 효과를 보여 줄 수 있다는 점이다.^{22,23} 비록 레이저섬유주성형술이 녹내장 환자에 있어서 약제의 개수를 줄이는데 유용하지만 그 효과가 일시적이고 약 50% 정도의 환자들이 레이저섬유주성형술을 통한 안압조절에 실패하여 결국에는 섬유주절제술을 받아야 하는 경우가 있다는 점을 고려한다면 레이저섬유주성형술은 수술과는 근본적으로 다른 차이가 있다. 본 모델에서는 레이저섬유주성형술의 1년 성공률을 70%로 측정하였는데 이 수치는 기존의 보고들 보다 높은 수치는 아니다. 더욱이 레이저 시술을 받은 후에 시간이 지남에 따라 안압이 상승하는 임상 경험을 Markov model에 반영하여 현실을 보다 정확하게 반영하고자 하여 본 모델에서는 1 stage가 지남에 따라 안압이 상승하여 안압 조절에 실패하는 환자의 비율을 30%로 가정하였다. 또한, 시술자마다 차이가 있지만 레이저섬유주성형술을 시행할 때 두 번에 나누어서 시행을 하는 경우도 있고 이러한 경우 치료비용이 2배로 증가가 되기 때문에 상기 결과를 해석하는데 주의가 필요하다. 실제로 레이저섬유주성형술을 2회에 나누어서 시행하고 비용을 2배로 계산하여 Monte Carlo Simulation을 시행하면 5년 후의 총 비용의 평균은 1,011,214원으로 다른 치료 방법에 비하여 비용이 많이

Table 6. The cost of each treatment options depending on the cost of laser treatment. This analysis was performed to simulate the clinical situation where selective laser trabeculoplasty is first applied over 180 degrees followed by additional trabeculoplasty over remained 180 degrees. Note the increase of the cost for laser treatment in the latter case.

		5 years	10 years	20 years
Laser (Once)	Medication	689,921	1,188,383	1,706,869
	Laser (once)	656,194	835,811	901,366
	Surgery	757,400	757,400	758,800
Laser (Twice)	Medication	730,856	1,277,062	1,835,544
	Laser (twice)	1,011,214	1,186,090	1,263,250
	Surgery	757,400	760,200	746,900

들어가는 것으로 나타난다(Table 6). 본 연구의 또 다른 흥미로운 결과는 레이저를 1회 시행한다고 가정하였을 때 레이저 성공률은 16.3% 이상만 되어도 초기 치료를 약물로 하는 것보다 더 경제적인 것으로 나타났다. 이는 약제값이 상대적으로 높기 때문이라고 해석할 수 있으나 다른 관점에서 보면 레이저 섬유주성형술의 수가가 낮게 책정되어 있기 때문이기도 하다.

의사의 행위료에 대한 수가가 지나치게 낮게 책정되어 있다는 사실은 수술의 성공률이 어느 수준 이하로 낮아졌을 때 약물치료가 비용 대 효용이 더 우수한지를 알아본 결과에서도 극명히 나타난다. 10년을 기준으로 본 연구에서는 수술의 성공률이 30.1% 이상만 되면 초기 치료로 수술을 하는 것이 더 경제적인 것으로 나타났다. 30.1%라는 수치는 상대적으로 매우 낮은 수치인데, 이러한 결과는 의사의 행위료에 대한 평가가 적절치 않게 이루어져 있어 상대적으로 고난이도의 기술을 요구하는 술기들이 단순한 약제 처방과 비교하여 경제적으로 낮은 가치로 평가받고 있음을 반영하는 것이다. 실제로 미국에서 섬유주절제술을 시행할 때 시술 자체에만 드는 비용이 대략 1,734달러(약 208만원)²인 점을 상기한다면 국내의 수가의 상대적인 수준을 알 수 있다.

본 연구의 특징은 각각의 치료의 성공률을 국내와 국외의 보고를 모두 반영하여 정의하였다는 점이다. 섬유주절제술의 경우 국내 자료는 12개월째 성공률을 82.0%로 보고였고,⁹ Nouri-Mahdavi et al¹⁰은 3년과 5년 후의 섬유주절제술의 성공률은 각각 62%, 60%라고 보고하였다. The Collaborative Initial Glaucoma Treatment Study (CIGTS)의 경우는 5년간 수술 성공률이 87%였고¹¹ Migdal et al¹²은 5년간의 성공률을 98%라고 하였다. 이처럼 다양한 보고를 반영하여 정의한 수술 성공률(92%)의 부정확성을 보완하기 위하여 본 연구에서는 수술의 성공률을 변화시키면서 각 치료방법에 따른 비용 대 효용을 추가로 비교하였다. 약물치료의 경우에도 본원 자체의 성공률과 국외의 보고^{11,12}를 반영하도록 하였다. 레이저 치료의 성공률은 국내의 보고의 경우 선택적 레이저섬유주성형술의 성공률은 6개월에 70%,¹⁴ 국외의 경우에는 6개월에 69~92%,¹⁵⁻¹⁷ 1년에는 52~98%,¹⁷⁻²¹ 2년에는 88%,¹⁷ 3년에는 52~76%^{17,20}로 나타나 연구자에 따라 성공률에 많은 차이가 있어 정확한 성공률을 구할 수는 없어서 대략적인 성공률(70%)을 이용할 수 밖에 없었다.

본 연구에서 또 한가지 주의해야 할 점은, 모델의 가정에서 약물치료의 범위를 네 가지 약제군(베타차단제, 프로스타글란딘 제제, 탈산탈수효소억제제, 혼합제제)으로 제한을 한 것이다. 가장 이상적인 것은 국내에서 시판되고 있는 모든 녹내장 약제를 포함시키고 각각의 약제의 시장 점유

율에 따른 가중치를 적용하여 보다 정확한 약제값을 계산하는 것이 바람직하나 이러한 자료는 구하기도 어렵고 설사 구한다고 하여도 그 정확성 역시 판단하기가 어렵기 때문에 본 연구에서는 약제군을 제한하였다. 또한 두 가지 이상의 약제를 동시에 투약하고 있는 환자들이 많이 존재하는 것이 현실이지만 두 가지 이상의 약제를 투약하고 있는 환자들의 경우 약제비가 하락하기보다는 상승할 가능성이 높아 결국 이것은 비용의 증가로 이어질 것이기 때문에 본 논문에서 도출한 결론의 타당성을 훼손시키지 않는다. 한국의 실정을 고려하여 2002년에 보고된 녹내장 환자에 있어서 일차치료방법의 선택에 대한 분석에 의하면 수술치료가 약물치료보다 효과적이라고 하였는데, 이 연구에서는 단일 약물치료로는 베타차단제 또는 프로스타글란딘 유사제를 사용하는 것으로 가정을 하였으나 최근에는 보다 강력한 안압하강 효과를 얻을 수 있고 환자의 순응도를 높일 수 있다고 알려진 혼합약제(combination drug)가 등장하면서 기존의 약제들보다 우수한 안압하강효과를 나타내는 것으로 알려져 있다. 또한, 기존의 연구에서는 5년을 1 stage로 보고 전체를 5 stage라고 가정하였지만 실제로 1 stage의 기준이 되는 5년은 상당히 긴 기간이고 총기간 25년 역시 상당히 긴 기간 동안에 환자들의 상태와 치료 방법은 바뀔 가능성이 높으며 약제값이 그 동안 큰 폭으로 변화했기 때문에 기존의 보고를 보완하고 갱신(update)한다는 의미에서도 본 연구는 의미가 있겠다.

본 연구에서 도출된 또 다른 흥미로운 결과는 환자가 내원하여 세가지 치료 방법(약물치료, 레이저 치료, 수술적 치료)을 무작위로 선택할 경우 10년 동안의 평균 비용은 941,433원으로 나타났는데 이 비용은 초기에 레이저 치료나 수술적 치료를 할 때보다는 높지만 초기치료로 약물치료를 선택하는 것보다 낮았다. 즉, 초기 치료로 약물치료를 하는 것은 의사가 무작위로 환자의 치료 방법을 결정하는 것보다도 비용이 더 많이 든다는 것을 알 수 있다. 또한 약제값이 연간 약 5만 5천원 이하로 내려가야 수술보다 더 경제적인 것으로 나타났고 레이저 치료보다 경제적으로 효용성이 있으려면 약제값은 6만원 이하로 내려가야 한다는 것을 알 수 있었다. 현실적으로 약값이 일년에 6만원 이하로 떨어지는 것은 어렵기 때문에 레이저 치료나 수술을 하는 것이 약물 치료를 하는 것보다 비용 대 효용이 높다는 것을 알 수 있다.

국내의 의료 수가는 여전히 저가로 책정되어 있다. XalatanTM (Latanoprost)을 예로 들면, 약물치료를 할 경우 미국에서는 평균 536달러(1달러=1,200원, 643,200원)가 연간 소요되는 반면² 국내에서는 150,690원이 소요되는 것으로 나타나 약 4배의 차이가 났으며 섬유주절제술의 경우 미국은

1회당 평균 1,734달러의 비용이 소요되는 것으로 나타나 국내의 수가와 약 3배정도의 차이가 있었다. 이러한 현상은 레이저섬유성형술도 예외가 아니어서 레이저섬유성형술은 1회 시행 시 미국의 경우 평균 583달러(699,600원)가 소요되는 것으로 나타나² 국내의 수가와 약 2배 정도의 차이가 있었고 그 차이의 정도가 약제값이나 수술비용보다는 적었다.

본 연구에서 레이저 치료와 수술 치료에 있어서 비용을 계산할 때 시술에 따르는 검사 비용을 포함한 반면 약물치료에서는 치료에 필요한 검사 비용을 포함하지 않고 약제의 비용만을 포함하였다. 이는 실제로 약물치료를 진행하면서 소요되는 검사 비용이 기관마다 많은 차이가 있고 경과 관찰의 간격에도 차이가 있어서 비용 계산이 쉽지 않기 때문이다. 또한 레이저 치료와 수술 치료에 포함된 검사 비용은 시술에 필요한 검사 비용이기 때문에 시술 후에 환자를 경과관찰하면서 추가되는 비용은 포함되지 않아 약물치료에 따른 비용을 계산할 때와 비슷한 조건이 유지되도록 하였다.

2007년 국내 녹내장 시장은 약 400억원대로 집계되었으며 향후 새롭게 출시될 약제들로 녹내장 치료제의 시장은 매우 급격하게 팽창하고 있다. 또한, 전 세계적으로 최근에 녹내장 약제의 처방이 약제별로 30%에서 59%까지 증가하였고 그에 따른 비용의 증가 폭은 더욱더 커서 약제별로 비용이 78%에서 227%까지 증가한 것으로 나타났다.²⁴ 더욱이 인구의 고령화 추세로 시장은 빠른 속도로 성장하고 있으며 질환에 대한 상대적으로 낮은 인지도와 진단을 고려할 때 향후 증가할 약제비는 예상을 뛰어넘을 가능성이 높다. 이러한 비용의 증가는 비단 안과에서만 나타나는 현상이 아니고 전체적인 의료시스템 차원에서 나타나고 있으며 이러한 현실 속에서 치료법의 경제성을 고려한 의료행위의 중요성이 증대될 것임을 잘 알 수 있다.

어떠한 질환을 치료할 때, 치료 방법에 따른 경제성에 대한 정보는 비단 의사들에게만 중요한 정보를 제공해 주는 것 뿐만 아니라 환자에게 각각의 치료 방법을 선택할 때 설명을 해 주거나 향후 치료 방향을 상의할 때 중요한 정보를 제공해 준다. 환자의 알 권리가 지속적으로 강조되어 온 서구 사회에서는 일찍이 이 문제에 관심을 가지고 안과 뿐만 아니라 다양한 분야에 있어서 효용 대 비용을 분석한 연구들이 많이 발표되었다.²⁵⁻²⁹ 이러한 흐름은 국가별 의료 체계에 따라 그 정도가 다르다고 할 수 있는데, 미국의 경우에는 사보험의 영향으로 보험사들이 이러한 보고서에 관심을 가지고 있고 영국과 같이 의료서비스의 공공성이 강조되는 시스템에서는 국가에서 이러한 보고서를 작성한다. 국내에서는 건강보험공단의 건강보험통계연보가 기본적인 정보를 제공해 주지만 비용과 효용을 고려한 체계적인 연구

는 부족한 실정이다.

의료분야에서 비용 대 효용을 계산할 때 Markov 모델을 활용하는 경우가 많은데 Markov 모델은 다음과 같은 한계를 지니고 있다. Markov 모델은 기본적으로 주어진 확률들에 전적으로 의존하게 되는데 이 확률들을 구하기 위해서 시행된 자료 수집의 과정에 따라서, 혹은 수집된 데이터의 양에 따라서 확률들은 변할 수 있다. 본 논문에서도 각각의 치료방법의 성공률을 수집하는 과정에서 제한된 자료를 활용할 수밖에 없었기 때문에 이러한 한계를 극복하기는 어려웠다.

결론적으로, 본 연구는 한국의 의료 실정에서 녹내장 환자에게 어떠한 일차 치료방법이 가장 경제적으로 효과적인지(Cost effective)를 Markov model을 통하여 알아보았다. 본 연구와 기존 연구와의 차별점은 현재 녹내장 약제의 주된 처방이 되는 프로스타글란딘 제제, 베타 차단제, 혼합제제, 탈산탈수효소억제제를 기준으로 약제비용을 보다 현실적으로 계산하려고 하였다라는 점이며, 최근에 많이 시행되고 있는 선택적 레이저섬유성형술을 치료방법에 포함시킴으로써 현재 임상에서 사용되고 있는 치료방법에 가장 근접한 모델을 만들려고 하였다라는 점이다. 비용 대 효용 분석시 결정하기가 가장 어려운 각각의 치료의 성공률에 국내의 수치를 최대한 이용하려 하였고 추가로 각각의 치료방법의 성공률이 어느 정도 상승 또는 하강할 때 효용을 상실하는지도 제시하여 본 논문을 통하여 유출한 결론의 타당성을 제시하였다. 향후 녹내장 환자의 치료시 추가적인 치료방법이 도입되었을 때도 본 논문의 결과는 새로운 치료방법의 비용 대 효용을 제시해 줄 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1) Friedman DS, Wilson MR, Liebmann JM, et al. An evidencebased assessment of risk factors for the progression of ocular hypertension and glaucoma. *Am J Ophthalmol* 2004;138:S19-31.
- 2) Cantor LB, Katz LJ, Cheng JW, et al. Economic evaluation of medication, laser trabeculoplasty and filtering surgeries in treating patients with glaucoma in the US. *Curr Med Res Opin* 2008;24:2905-18.
- 3) Payet S, Denis P, Berdeaux G, et al. Assessment of the cost effectiveness of travoprost versus latanoprost as single agents for treatment of glaucoma in France. *Clin Drug Invest* 2008;28:183-98.
- 4) Zaninetti M, Ravinet E. Two-year outcomes of selective laser trabeculoplasty in open-angle glaucoma and ocular hypertension. *J Fr Ophthalmol* 2008;31:981-6.
- 5) Stewart WC, Stewart JA, Mychaskiw MA. Cost-effectiveness of latanoprost and timolol maleate for the treatment of glaucoma in Scandinavia and the United Kingdom, using a decision-analytic health economic model. *Eye* 2009;23:132-40.
- 6) Lee KW, Park CK, Moon JI. Cost-effectiveness of early surgical or medical therapy for primary open angle glaucoma: a decision analytic model. *J Korean Ophthalmol Soc* 2003;44:1543-50.

- 7) Kobelt-Nguyen G, Gerdtham UG, Alm A. Costs of treating primary open-angle glaucoma and ocular hypertension: a retrospective, observational two-year chart review of newly diagnosed patients in Sweden and the United States. *J Glaucoma* 1998;7: 95-104.
- 8) Traverso CE, Walt JG, Kelly SP, et al. Direct costs of glaucoma and severity of the disease: a multinational long term study of resource utilisation in Europe. *Br J Ophthalmol* 2005;89:1245-9.
- 9) Moon SC, Rho SH, Ahn HB. The clinical effect of trabeculectomy. *J Korean Ophthalmol Soc* 1997;38:839-48.
- 10) Nouri-Mahdavi K, Brigatti L, Weitzman M, Caprioli J. Outcomes of trabeculectomy for primary open-angle glaucoma. *Ophthalmology* 1995;102:1760-9.
- 11) Feiner L, Piltz-Seymour JR. Collaborative Initial Glaucoma Treatment Study. Collaborative Initial Glaucoma Treatment Study: a summary of results to date. *Curr Opin Ophthalmol* 2003; 14:106-11.
- 12) Migdal C, Gregory W, Hitchings R. Long-term functional outcome after early surgery compared with laser and medicine in open-angle glaucoma. *Ophthalmology* 1994;101:1651-6.
- 13) Shirato S, Kitazawa Y, Mishima S. A critical analysis of the trabeculectomy results by a prospective follow-up design. *Jpn J Ophthalmol* 1982;26:468-80.
- 14) Park MH, Moon JI. Selective laser trabeculoplasty in fertile women with open angle glaucoma or ocular hypertension. *J Korean Ophthalmol Soc* 2007;48:1494-9.
- 15) Latina MA, Sibayan SA, Shin DH, et al. Q-switched 532-nm Nd:YAG laser trabeculoplasty (selective laser trabeculoplasty): a multicenter, pilot, clinical study. *Ophthalmology* 1998;105:2082-8.
- 16) Kano K, Kuwayama Y, Mizoue S, Ito N. Clinical results of selective laser trabeculoplasty. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi* 1999; 103:612-13.
- 17) Gracner T, Pahor D, Gracner B. Efficacy of selective laser trabeculoplasty in the treatment of primary open-angle glaucoma. *Klin Monbl Augenheilkd* 2003;220:848-52.
- 18) McIlraith I, Strasfeld M, Colev G, Hutnik CM. Selective laser trabeculoplasty as initial and adjunctive treatment for open-angle glaucoma. *J Glaucoma* 2006;15:124-30.
- 19) Melamed S, Ben Simon GJ, Levkovitch-Verbin H. Selective laser trabeculoplasty as primary treatment for open-angle glaucoma: a prospective, nonrandomized pilot study. *Arch Ophthalmol* 2003; 121:957-60.
- 20) Juzych MS, Chopra V, Banitt MR, et al. Comparison of long-term outcomes of selective laser trabeculoplasty versus argon laser trabeculoplasty in open-angle glaucoma. *Ophthalmology* 2004;111:1853-9.
- 21) Lai JS, Chua JK, Tham CC, Lam DS. Five-year follow up of selective laser trabeculoplasty in Chinese eyes. *Clin Experiment Ophthalmol* 2004;32:368-72.
- 22) Buys YM. Economics of selective laser trabeculoplasty as primary therapy for glaucoma. *Can J Ophthalmol* 2006;41:419-20.
- 23) Damji KF, Bovell AM, Hodge WG, et al. Selective laser trabeculoplasty versus argon laser trabeculoplasty: results from a 1-year randomised clinical trial. *Br J Ophthalmol* 2006;90:1490-4.
- 24) Knox FA, Barry M, McGowan B, O'Brien C. The rising cost of glaucoma drugs in Ireland 1996-2003. *Br J Ophthalmol* 2006;90: 162-5.
- 25) Oba Y. Cost-effectiveness of salmeterol, fluticasone, and combination therapy for COPD. *Am J Manag Care* 2009;15:226-32.
- 26) Wu JM, Siddiqui NY, Amundsen CL, et al. Cost-effectiveness of botulinum toxin A versus anticholinergic medications for idiopathic urge incontinence. *J Urol* 2009;181:2181-6.
- 27) Rowe AJ, Meneghetti AT, Schumacher PA, et al. Perioperative analysis of laparoscopic versus open liver resection. *Surg Endosc* 2009;23:1198-203.
- 28) Tilney HS, Lovegrove RE, Purkayastha S, et al. Comparison of colonic stenting and open surgery for malignant large bowel obstruction. *Surg Endosc* 2007;21:225-33.
- 29) Goodnough LT, Despotis GJ, Merkel K, Monk TG. A randomized trial comparing acute normovolemic hemodilution and preoperative autologous blood donation in total hip arthroplasty. *Transfusion* 2000;40:1054-7.

=ABSTRACT=

Economic Evaluation of Different Initial Treatments for Primary Open Angle Glaucoma: A Markov Model

Tong Yun Kwag¹, Jee Hyun Kwag, PhD², Yeon Deok Kim, MD³, Hye Bin Yim, MD, PhD⁴,
Hae Jung Paik, MD, PhD⁵, Chi Jun Park⁶, Aman Shah B. Abdul Majid, BSc, MBChB¹, Kui Dong Kang, MD, MSc^{1,4}

Oxford Eye Hospital, Oxford University¹, Oxford, UK

Department of Brain and Cognitive Engineering, Korea University², Seoul, Korea

Glaucoma and Cataract Services, HanGil Eye Hospital³, Incheon, Korea

Department of Ophthalmology, The Catholic University of Korea, School of Medicine⁴, Seoul, Korea

Department of Ophthalmology, Gachon University of Medicine and Science, Gil Medical Center⁵, Incheon, Korea

Department of Computer Engineering, Hongik University⁶, Seoul, Korea

Purpose: To perform an economic evaluation of the different treatment methods available for primary open-angle glaucoma in a Korean setting, including medication, selective laser trabeculoplasty, or surgery.

Methods: Three independent Markov chains were constructed for each treatment option to simulate treatment progress and to evaluate the total treatment costs for each initial strategy. The Markov chain consisted of different stages (5, 10, 20 stages), with each stage being one year. Assuming 1000 patients, a Monte Carlo simulation was iterated 1000 times to evaluate the cost of treatment over 5, 10 and 20 years.

Results: During the initial five years, medication as the initial treatment was the most expensive, whereas laser trabeculoplasty was the cheapest. After ten years, surgery became the cheapest treatment. In ten years, if the success rate of surgery is greater than 30.1%, it was more economic to choose surgery as the initial treatment. For laser trabeculoplasty, if the success rate was greater than 16.3%, laser treatment was more economical than was medication. Our model shows that only if the annual cost of medication decreases to 60,000 won or 55,000 won, then the cost of choosing medication as the initial treatment strategy will be more economical than that of laser therapy or surgery, respectively.

Conclusions: The economic value of choosing laser therapy as the initial treatment strategy is the greatest over five simulated-years, whereas surgery had the greatest economic value over more than ten years.

J Korean Ophthalmol Soc 2010;51(6):865-874

Key Words: Economic evaluation, Glaucoma, Laser trabeculoplasty, Markov model, Monte Carlo simulation

Address reprint requests to **Kui Dong Kang, MD, MSc**

Oxford Eye Hospital, West Wing, The John Radcliffe Hospital

Headley Way, Headington, Oxford OX3 9DU

Tel: 44-01865-231099, Fax: 44-01865-234795, E-mail: kuidongkang@gmail.com