

척수손상 환자의 체위변화에 따른 뇌혈관 및 심혈관계 변화

-예비연구-

울산대학교 의과대학 서울중앙병원 재활의학과, ¹신경과, ²내과

최경효 · 성인영 · 하상배 · 권순억¹
이재홍¹ · 최기준² · 김유호²

= Abstract =

Cerebrovascular and Cardiovascular Changes According to Postural Change in Spinal Cord Injured Patients

-Preliminary report-

Kyoung Hyo Choi, M.D., In Young Sung, M.D., Sang Bae Ha, M.D.
Sun Uck Kwon, M.D.¹, Jae Hong Lee, M.D.¹, Kee-Joon Choi, M.D.²
and You-Ho Kim, M.D.²

*Departments of Physical Medicine & Rehabilitation, ¹Neurology and ²Internal Medicine,
Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine*

Objective: To investigate the changes of cerebral and cardiovascular hemodynamics in response to postural change in tetraplegics after cervical spinal cord injury.

Method: We studied 5 healthy volunteers and 14 cervical cord injured patients with orthostatic hypotension. We continuously monitored heart rate (HR), blood pressure (BP) by volume clamp photoplethysmography, and cerebral blood flow velocity (BFV), pulsatility index (PI) of middle cerebral artery (MCA) by transcranial Doppler sonography at rest and during head-up-tilt (HUT). Tilt table set at 30° initially and then increased gradually 10° every 5 minutes up to 80°.

Results: In the control group, BP and BFV of MCA remained unchanged during HUT. Although a decrease of BFV observed in all patients during both systolic and diastolic phases, the degree of BFV drop during diastolic phase, especially early diastolic phase was much greater than that during systolic phase. The change of BFV of MCA was significantly correlated with that of systemic hemodynamic parameters, especially systolic BP. After rehabilitative therapy for one month, there was no definite evidence of the change in cerebral autoregulation.

Conclusion: This study suggests that we can use systemic hemodynamic parameters for predicting changes of cerebral blood flow in response to orthostatic hypotension, but we fail to observe any compensatory mechanism of cerebrovascular system to maintain cerebral blood flow against systemic hemodynamic collapse.

Key Words: Transcranial doppler sonography, Spinal cord injury, Autoregulation, Cerebral blood flow

서 론

기립성 저혈압은 장기간 치료를 받게 되는 환자들에게서 흔히 볼 수 있으며 특히 상부 척수손상환자들에게서는 초기 재활치료과정에서 적극적인 재활치료를 진행하는데 매우 큰 저해요소가 된다. 척수손상후 발생하는 기립성 저혈압은 교감신경계의 차단으로 인한 전신 혈관계의 기능이상으로 인하여 발생하며, 재활치료에 의하여 점진적인 증상의 호전을 보이는데 그 기전에 대해서는 여러 가지 가설이 제시되고 있지만, 최근 Gonzalez등¹⁰⁾은 전신적인 혈압의 변화보다는 뇌의 혈류 자율조절능력이 증상의 완화에 중요한 결정요소가 된다고 보고하여 뇌혈관계에 대한 평가의 중요성을 강조한 바 있다. 지금까지 뇌혈관계 상태를 평가할 수 있는 방법 중 가장 유용하게 이용할 수 있는 것은 transcranial Doppler (TCD) 방법으로 여러 연구를 통해 뇌혈류량의 변화를 비교적 정확하게 측정할 수 있는 것으로 알려져 있다.⁵⁾ 하지만 척수손상으로 사지가 마비된 모든 환자들에게 이러한 검사를 시행하는 것은 현실적으로 용이하지 않을 것으로 생각된다.

이에 저자들은 상부 척수손상으로 사지마비가 된 환자들을 대상으로 경사대를 이용한 체위변동후 전신 및 뇌혈관계에 어떤 변화가 있는지 알아보고, 혈압이나 심박수와 같은 전신 혈액학적 지표들 중 어떤 것들이 뇌혈류량을 가장 잘 반영하는지 알아보아 실제 임상에서 뇌혈류량의 예측에 적용할 수 있는지 조사하였으며, 이들 환자들의 재활치료를 통하여 심혈관계나 뇌혈관계에 혈액학적으로 어떤 영향을 미치는지, 특히 전신 혈압의 변화에 비해 뇌 혈류량의 변화에 차이가 나는지 알아보아 향후 이들 환자들의 재활치료에 기초자료로 삼고자 연구를 기획하였으며, 본격적인 연구에 앞서 예비 연구로 본 연구를 시행하였다.

연구대상 및 방법

1) 연구 대상

대상이 되었던 환자군은 1997년 10월부터 1998년 6월까지 경수손상으로 인한 사지마비로 서울중앙병원에서 입원치료를 받았던 환자들 중 이번 검사에

참여하기로 동의한 사람들이었으며, 이들 중 검사에 영향을 줄 만한 동반 질병, 즉 기립성 저혈압을 제외한 심혈관계 질환, 뇌 병변, 이비인후과적 질환, 심한 빈혈이나 탈수 증상을 보이는 환자들은 제외하여 총 14명의 환자를 대상으로 하였고 5명의 정상대조군을 선정하여 비교하였다.

2) 연구 방법

대상자들을 전동 경사대에 10분 이상 앙와위로 휴식을 취하게 한 후 30도부터 80도까지 5분 간격으로 10도씩 경사도를 증가시키면서 어지러움이나 오심, 구토, 시야가 흐려짐, 또는 졸도 증세가 나타날 때까지 검사를 진행시켰다.

전신 혈액학적 변화는 Colin사의 2007-1 Hayashi를 이용한 tonometric 방법으로 우측 손목의 요골 동맥에서 연속적으로 혈압을 측정하였고, 1분 간격으로 우측 상완부의 심장과 비슷한 높이의 상완동맥에서 Oscillometric 방법으로 혈압을 측정하여 tonometric 방법에서의 측정치를 보정하였다. 이와 함께 4-lead 심전도검사를 시행하면서 연속적으로 심박수를 측정하여 기록하였다.

뇌 혈류량의 변화에 대해서는 transcranial doppler sonography (TCD)를 사용하여 측정하였는데, 본 연구에서 사용하였던 TCD는 EME사의 Transcan 2,000으로 2 MHz의 주파수에서 probe를 우측 temporal window에 두어 중대뇌 동맥의 혈류 속도를 측정하였으며 움직임으로 인한 검사오류를 줄이기 위해 probe를 headband로 고정시켰다. 각 개인별로 두개골의 두께 및 연조직의 차이가 있으므로 투과깊이는 45 mm와 60 mm사이에서 가장 혈류속도가 높게 나오는 지점에 고정시킨 후 검사하였다. 측정항목은 최고, 최저, 평균 혈류속도와 박동지수(pulsatility index), 그리고 혈관의 저항치를 구하였는데, 여기서 박동지수란 평균 유속에 대해 수축기와 이완기 유속의 차이의 비로서 혈류속도의 변화에 대해 수축기와 이완기 유속 중 어느 것이 더 영향을 미치는지 알기 위하여 사용된다.

기립성 저혈압에 대한 재활 치료의 효과를 알아보기 위하여 환자들에게 경사대에서의 기립치료를 비롯한 재활치료를 시행한 약 1개월 후 추적검사를 시행하였다.

자료의 통계적인 유의성을 검정하기 위해 PC SAS

Table 1. Changes of Parameters According to Postural Change

	Controls		Patients	
	Supine	Head-up tilt	Supine	Head-up tilt
Heart rate (/min.)	63.0±3.6	83.0±7.9*	60.0±8.3	81.0±13.4*
Mean BP (mmHg)	85.8±9.5	92.3±12.5	80.1±6.5	51.1±13.8*
Systolic BP (mmHg)	121.4±15.5	121.4±17.5	110.9±11.0	75.6±10.2*
Diastolic BP (mmHg)	68.0±6.8	76.4±10.1	64.7±5.7	41.8±9.7*
Mean velocity (cm/sec)	44.0±5.8	43.4±8.7	40.0±7.0	19.2±11.1*
Pulsatility index (%)	80.1±10.6	79.8±25.1	76.6±11.2	137.3±36.1*

Values are mean±S.D.

*p<0.05

version 6.11 프로그램으로 Wilcoxon rank sum test와 Wilcoxon signed rank test을 시행하여 p값이 0.05 이 하인 경우를 통계적으로 유의한 것으로 판정하였다.

결 과

1) 환자들의 일반적인 특성

대상이 되었던 환자군은 모두 14명으로 1명을 제외한 13명이 남자환자였고, 검사시의 연령은 19세부터 64세까지 평균 33.3±13.8세로 척수의 완전 손상이 10명, 불완전 손상이 4명이었다. 손상 부위는 5번 경수 마비가 7명으로 가장 많았고, 4번이 4명, 6번이 2명, 7번이 1명의 순서였다. 수상 후 검사 시행까지의 기간은 42일에서 150일까지로 평균 96.6±38.3일이 지난 상태에서 검사를 시행하였다. 5명의 정상 대조군은 4명의 남자와 1명의 여자였으며 검사시의 연령은 28세에서 57세까지 평균 37.4±11.6세로 환자군과 유의한 차이가 없었다.

2) 정상 대조군과 환자군의 비교

정상인에서의 혈액학적 변화를 보면 경사대를 기립시킴에 따라 심박수가 평균 분당 63.0±3.6회에서 83.0±7.9회로 증가하였지만 혈압과 중뇌 동맥에서의 혈류속도, 박동지수는 별다른 차이가 없었다. 그러나 환자군에서는 기립 후 심박수가 증가하고 혈압과 평균 뇌 혈류속도가 감소되었는데, 이때 박동지수가 증가하는 것으로 보아 주로 이완기 혈류량이 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

Table 2. Difference of Parameters¹⁾ between Complete & Incomplete Spinal Cord Injury

	Complete	Incomplete
Heart rate (/min.)	21.3±10.3	25.3±12.7
Mean BP (mmHg)	-33.0±6.4	-13.7±4.6*
Systolic BP (mmHg)	-41.5±10.0	-18.0±3.5*
Diastolic BP (mmHg)	-28.5±6.4	-11.7±8.1*
Mean velocity (cm/sec)	-41.7±11.0	-26.6±3.7*

Values are mean±S.D.

*p<0.05

1. The difference of parameters between supine and tilt-up

환자가 기립성 저혈압의 증상을 호소할 당시의 평균 혈압은 51.1±13.8 mmHg로서 전체 환자 중 4명이 평균 혈압 50 mmHg에서도 특별한 증상을 호소하지 않았다(Table 1).

3) 척수 손상 정도에 따른 비교

완전 손상 환자군과 불완전 손상 환자군의 비교에서 기립 전후의 심박수는 두 군간에 의미있는 차이가 없었지만, 혈압과 평균 뇌 혈류속도는 완전 손상군이 불완전 손상군에 비하여 유의하게 큰 폭으로 감소되었다(Table 2).

4) 뇌 혈류량 예측 가능인자

기립시의 뇌 혈류량을 예측할 수 있는 전신 혈액학적 인자들을 구하기 위하여 기립 후 시간이 지남에 따라 변화되는 심박수, 평균 혈압, 수축기 및 이

Table 3. Correlations of Parameters with Cerebral Blood Flow Velocity

	Controls	Patients
Heart rate	-0.51±0.19	-0.77±0.16
Mean BP ¹⁾	0.02±0.15	0.73±0.12
Systolic BP	0.17±0.18	0.77±0.09
Diastolic BP	-0.05±0.18	0.68±0.18

Values are mean±S.D. of correlation coefficient.

1. BP: Blood pressure

Table 4. Changes of Blood Pressure and Velocity of CBF¹⁾ after Rehabilitation

	Initial values	After rehabilitation	p value
Mean blood pressure			
Onset ²⁾ (min.)	0.4±0.5	3.0±3.3	0.116
Minimal (%)	62.8±5.2	65.5±6.3	0.502
Time-mini. ³⁾ (min)	13.4±16.5	21.4±9.3	0.012
Mean velocity of CBF			
Onset ²⁾ (min.)	0.7±0.5	2.0±1.7	0.082
Minimal (%)	57.7±11.6	57.0±4.5	0.874

Values are mean±S.D.

1. CBF: Cerebral blood flow, 2. Onset: Duration from tilt-up to initial deflection of parameters, 3. Time-mini.: Duration from tilt-up to complain symptom

완기 혈압의 뇌 혈류속도와의 상관관계를 조사하였는데, 대조군에서는 심박수만이 상관계수 -0.51로서 비교적 높은 역 상관 관계를 보였을 뿐 그 밖의 인자들은 상관관계가 매우 낮았다. 그러나 환자군에서는 혈압 및 심박수 모두에서 높은 상관관계를 보였다(Table 3).

최대 뇌 혈류속도 변화량과 전신 심혈관계 인자의 최대 변화치와의 상관관계를 조사하였는데 수축기 혈압은 상관계수가 0.82로 높은 상관관계를 보였지만($p < 0.05$) 심박수, 평균 혈압, 이완기 혈압은 상관계수가 각각 -0.03, 0.32, 0.02로 유의한 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

5) 재활치료 효과

환자들에게 경사대 기립 훈련을 비롯한 재활치료

를 시행 후 그 효과를 알아보기 위하여 첫 검사 후 1개월이 경과한 시점에서 같은 검사를 시행하였는데, 재활치료 전에 비하여 치료 후 환자들의 평균 혈압이나 뇌 혈류 속도가 하강하기 시작된 시간이 다소 늦어졌지만 통계적으로 유의하지 않았으며, 증상을 호소할 때의 평균 혈압이나 뇌 혈류 속도는 치료 전후 거의 변화가 없었다. 그러나 증상을 호소할 때까지의 시간은 치료 전 평균 13.4분에서 치료 후 평균 21.4분으로 유의하게 길어졌다. 최대 혈압 감소 정도에 비한 최대 뇌 혈류속도 변화는 치료 전후 유의한 차이가 없었다(Table 4).

고 찰

정상인에서 체위 변동이나 실혈 등의 혈압에 영향을 줄 만한 외부 요인이 발생되었을 때 정상혈압을 유지하게 하는 기전은 시기에 따라 크게 2가지로 나눌 수 있다. 우선 단기적으로는 심장으로의 정맥혈량의 감소를 경동맥동이나 대동맥에 주로 위치하는 압수용체가 감지한 후 미주신경이나 설인 신경을 통하여 연수가 자극을 받게 됨으로써 교감신경계의 활성화가 일어난다. 또한 혈압이 감소함에 따라 산소분압이 감소되고 이산화탄소 분압이 증가되는데 이에 따라 경동맥 소체에 주로 분포하고 있는 화학수용체에 반응이 일어나며, 혈압의 감소가 심화됨에 따라 어느 정도 유지하고 있던 뇌 혈류량까지 영향을 받게 되면 뇌간에 위치하고 있는 혈관운동중추를 자극하게 되어 매우 강력한 교감신경계의 활성화를 통해 혈관수축을 유도하게 되는 것이다. 단기적인 적응기전이 주로 신경계를 통하여 일어나는데 반해 장기적인 적응은 이른바 renin-angiotensin-aldosterone 계를 통한 신장에서의 조절로 가능하게 된다고 알려져 있다. 상부 척수손상으로 인하여 뇌간의 혈관 운동중추로부터 교감 신경까지의 경로에 차단이 일어나면 압수용체와 화학적 수용체를 통한 교감신경계의 활성화가 일어날 수 없게 되며 이에 따라 상기의 단기적인 적응 기전들이 작동할 수 없다. 그러나 반복적인 체위변동 등의 자극을 통해 이들 환자들의 증상이 호전되는 것을 알 수 있는데 그 기전에 대해서 Johnson 등은 다음의 가설들을 제시했다.¹⁴⁾ 첫째, 혈압을 조절하는데 관여하는 척수에서의 반사경로가 형성된다거나, 둘째, 혈중에 혈관수축을 일으키는 호

르몬들이 증가한다는 점, 셋째, 이들 호르몬에 대한 혈관의 감수성이 증가함으로 인해 차단된 교감신경의 기능들을 보상할 수 있다라는 것이다. 이와 함께 Kooner¹⁷⁾과 Groomes과 Huang¹¹⁾은 척수손상으로 인해 사지마비가 된 환자들에서 renin이나 aldosteron의 혈중 농도가 현저하게 증가함을 밝혀내고 교감신경계 이상에 대한 장기적인 적응기전인 신장을 통한 보상작용이 더욱 중요한 기전일 것으로 보고한 바 있으며, Poole²³⁾과 Sved²⁶⁾은 arginine vasopressin (AVP)이 환자들의 혈압 조절에 기여한다고 하여, 삼투압이나 압력에 관련된 자극에 대해 분비되는 AVP에 대한 감수성이 척수손상 환자들에게서 증가함을 보고한 바 있다. 이에 반하여 Osborn²²⁾은 동물실험을 통하여 경수손상 후 혈압의 정상화에 교감신경계나 AVP가 모두 영향을 주지 못한다고 하였고, 특히 1991년 Gonzalez¹⁰⁾은 척수손상을 당한 환자들 중 기립성 저혈압의 증상유무에 따라 두 군으로 나누어 체위변경을 시키면서 그들의 혈압, 심박수와 함께 transcranial doppler sonography (TCD)를 이용하여 뇌혈류속도를 측정한 결과 두 군간에 혈압이나 심박수의 변화는 유의하지 않은 반면, 증상이 있는 군에서 뇌혈류속도가 유의하게 낮은 것으로 미루어 척수손상으로 인한 교감신경계의 이상이 있는 환자들에게서 전체적인 혈압의 변화보다는 뇌혈류를 조정하는 자율조정능력의 차이가 증상 호전에 관여할 것이라고 주장하였다. 그러나 이들의 연구는 어떤 한 시점에서의 환자들의 상태를 조사한 것이어서 각 개인의 시간에 따른 차이를 보지 않았고, 환자 수가 많지 않았다는 점 등의 문제가 있었다. 본 저자들의 연구에서는 환자들이 재활치료를 시행한 후에도 이들이 주장한 뇌 자율조정능력의 변화를 시사할 만한 소견은 발견되지 않았다. 다만 전체적인 혈압의 하강속도가 둔화되는 것으로 보아 처음에 제시되었던 여러 가지 기전에 의한 혈압의 조정능력이 호전되고 있음을 시사하였다. 그러나 본 연구는 예비연구로서 추적기간이 너무 단기간이라는 점과 대상환자 수가 적다는 것, 그리고 혈중 호르몬 농도 등의 생화학적 검사가 동반되지 못했다는 점 등이 문제점으로 제시될 수 있어 이들 문제점을 보완하기 위한 추가 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 뇌혈류량을 측정하는 방법으로서 TCD를 이용하였다. TCD를 이용하여 뇌혈류의 변

화를 측정하는 방법은 Aaslid³⁾에 의하여 처음 보고된 이래 이것을 이용한 많은 연구들이 발표되고 있으며,^{2,4-6,8,13,19,21,24,25)} 국내에서도 최근 김등¹⁾이 정상인을 대상으로 한 실험 결과를 발표한 바 있다. 특히 Daffertshofer와 Hennerici⁹⁾는 심혈관계와 뇌혈관계의 혈역학적 변화양상에 따라 4가지의 반응 양상을 기술하기도 하였는데 추후 이와 관련한 연구에 유용하게 이용될 수 있을 것으로 생각된다. 이 방법은 비침습적으로 측정할 수 있다는 점 이외에도 연속적으로 측정 및 기록이 가능하기 때문에 본 연구에서처럼 순간적인 뇌혈류의 변화를 정확하게 측정할 수 있고 정적인 상태에서의 변화 뿐만 아니라 동적인 변화를 알 수 있다는 장점이 있다.²⁷⁾ 그러나 TCD는 뇌혈류속도를 측정하기 때문에 뇌혈류량을 직접 측정할 수 없다는 문제가 있다. 즉 뇌혈관의 직경에 대한 정보가 같이 주어져야만 혈류량을 정확히 판단할 수 있으나 직경의 변화에 대해서는 알 수 없다는 것이고, 이 점은 TCD가 뇌혈역학적 연구에 본격적으로 이용되기 시작할 당시부터 제기되어왔던 문제점이었다.²⁶⁾ 그러나 그 이후 여러 학자들의 연구를 통하여 뇌혈류량의 변화를 초래할 만한 환경에서도 중뇌동맥의 직경이 큰 변화를 일으키지 않고 뇌혈류량의 변화를 비교적 정확하게 나타내준다는 것이 알려졌다. 즉 Huber와 Handa¹²⁾는 혈관조영술을 통해 중뇌동맥과 같은 주요 뇌동맥들에서는 직경의 변화가 거의 없다고 하였고, Kontos¹⁶⁾는 TCD가 전신혈압의 변화에 대한 뇌혈류량의 변화를 정확하게 반영할 수 있는 방법이라고 하였으며, Newell²⁰⁾은 수술장에서 혈압을 떨어뜨리면서 electromagnetic flow-meter로 혈류량을 측정하였고, 동시에 TCD를 이용해 뇌혈류속도를 측정한 결과 거의 일치하는 상관관계가 있음을 보고하였으며, Busija⁷⁾은 동물실험을 통해 이것을 증명하기도 하였다. 또한 xenon 등을 이용한 간접적인 비교에서도 유용하게 사용될 수 있음이 밝혀져 있다.^{15,18)}

뇌혈관계는 혈압의 변화에 대해서 뇌혈류량을 일정하게 유지시키는 자율조정능력을 가지고 있으며 일반적으로 수축기 혈압이 80 mmHg, 평균 혈압이 50 mmHg가 될 때까지는 이러한 기전이 작동을 하고 그보다 더 악화되는 경우 조절능력을 상실하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 환자들이 증상을 호소할 때의 혈압이 대개 이 정도에 해당하고, 이렇

게 증상을 호소하는 시간을 전후해서 혈압이나 뇌 혈류속도의 변화가 매우 급격하게 일어나는 것으로 보아 뇌 혈관의 자율조절능력에 이상이 생길 정도로 혈압의 저하가 심화됨에 따라 증상을 호소하지 않나 하고 가정할 수 있다. 그러나 본 연구결과를 보면 전체 환자 중 4명에서 평균 혈압이 50 mmHg 이하가 될 때까지 전혀 증상을 호소하지 않았으며 심한 경우 35 mmHg가 되어야 증상을 호소하는 환자도 있어서 환자 개인간에 차이가 많음을 알 수 있고, 증상을 호소할 당시의 측정치들이 매우 급격히 변화하는 것을 생각한다면 일반적으로 경사대를 이용한 재활치료를 환자들의 증상 유무만으로 환자의 혈액학적 상태를 판단하는 것은 매우 위험하리라고 생각된다. 그러나 대부분의 경사대를 이용한 치료를 시행하는 환자들 상부 척수손상으로 마비가 온 상태여서 이들을 대상으로 TCD 등의 검사를 시행하기에는 현실적으로 어려움이 따를 것으로 판단된다. 따라서 적어도 경사대 치료 초기에는 경사대의 각도에 따른 혈압 및 맥박수의 변화를 측정한 후 측정치와 환자의 증상과의 관계를 알아보고 난 후 치료를 진행하는 것이 안전할 것으로 사료된다.

결 론

14명의 척수손상 환자들을 대상으로 기립시 일어나는 뇌혈관 및 심혈관계의 변화양상 및 경사대 등을 이용한 재활 치료 후의 변화를 알아보아 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 척수손상 환자의 체위 변동시 혈압이나 심박수와 같은 전신 혈액학적 변화 뿐만 아니라 뇌 혈류변화가 조기에 나타나며 이는 주로 이완기 혈류량의 감소에 기인할 것으로 생각된다.

2) 척수손상으로 인하여 체위성 저혈압의 위험이 있는 환자군의 뇌 혈류량의 평가는 전신 혈액학적 지표를 통하여 예측이 가능하며, 그 중에서도 특히 수축기 혈압이 유용한 지표로 사용될 수 있을 것으로 보인다.

3) 척수손상후 재활치료를 통하여 체위성 저혈압 증상의 호전과 함께 체위변동에 따른 혈압 및 뇌혈류량의 감소를 개선시키는 것으로 보이지만, 혈압의 변화에 비한 뇌 혈류량의 변화 정도에는 유의한 차이를 보이지 않았다. 즉 뇌 자율조절능력의 변화를

시사할 만한 소견이 관찰되지 않았다.

그러나 본 연구는 예비 연구로서 보다 정확한 결론을 얻기 위해서는 더 많은 대상자를 대상으로 한 연구가 보완되어야 할 것으로 생각되며 이와 더불어 좀 더 충분한 추적기간을 두고 관찰 및 검사가 필요할 것으로 사료되어 이에 관한 연구를 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

- 1) 김태호, 정순열, 정진상: 경두개 도플러 초음파를 이용한 정상 성인의 뇌 혈액학적 평가. 대한재활의학회지 1998; 22: 833-839
- 2) Aaslid R, Lindegaard KF, Sorteberg WM, Nornes H: Cerebral autoregulation dynamics in humans. Stroke 1989; 20: 45-52
- 3) Aaslid R, Markwalder TM, Nornes H: Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. J Neurosurg 1982; 57: 769-774
- 4) Blader AP, Bondar RL, Stein F, Dunphy PT, Moradshahi P, Kassam MS, Freeman R: Transfer function analysis of cerebral autoregulation dynamics in autonomic failure patients. Stroke 1997; 28: 1686-1692
- 5) Brass LM, Prohovnik I, Pavlakis SG, DeVivo DC, Piomelli S, Mohr JP: Middle cerebral artery blood velocity and cerebral blood flow in sickle cell disease. Stroke 1991; 22: 27-30
- 6) Brooks DJ, Redmond S, Mathias CJ, Bannister R, Symon L: The effect of orthostatic hypotension on cerebral blood flow and middle cerebral artery velocity in autonomic failure, with observations on the action of ephedrine. J Neurol Neurosurg Psychiatry 1989; 52: 962-966
- 7) Busija DW, Heistad DD, Marcus ML: Continuous measurements of cerebral blood flow in anesthetized cats and dogs. Am J Physiol 1981; 241: H228-34
- 8) Daffertshofer M, Diehl RR, Ziems GU, Hennerici M: Orthostatic changes of cerebral blood flow velocity in patients with autonomic dysfunction. J Neurol Sci 1991; 104: 32-38
- 9) Daffertshofer M, Hennerici M: Cerebrovascular regulation and vasoneuronal coupling. J Clin Ultrasound 1995; 23: 125-138
- 10) Gonzalez F, Chang JY, Banovac K, Messina D, Arizala AM, Kelley RE: Autoregulation of cerebral blood flow in patients with orthostatic hypotension

- after spinal cord injury. *Paraplegia* 1991; 29: 1-7
- 11) Groomes TE, Huang CT: Orthostatic hypotension after spinal cord injury: treatment with fluorocortisone and ergotamine. *Arch Phys Med Rehabil* 1991; 72: 56-58
 - 12) Huber P, Handa J: Effect of contrast material, hypercapnia, hyperventilation, hypertonic glucose and papaverine on the diameter of the cerebral arteries. *Invest Radiol* 1967; 2: 17-32
 - 13) Ide K, Pott F, Lieshout JJ, Secher NH: Middle cerebral artery blood velocity depends on cardiac output during exercise with a large muscle mass. *Acta Physiol Scand* 1998; 162: 13-20
 - 14) Johnson RH, Park DM, Frankel HL: Orthostatic hypotension and the renin-angiotensin system in paraplegia. *Paraplegia* 1971; 9: 146-152
 - 15) Jorgensen LG: Transcranial Doppler ultrasound for cerebral perfusion. *Acta Physiol Scand Suppl* 1995; 625: 1-44
 - 16) Kontos HA: Validity of cerebral arterial blood flow calculations from velocity measurements. *Stroke* 1989; 20: 1-3
 - 17) Kooner JS, Frankel HL, Mirando N, Peart WS, Mathias CJ: Hemodynamic, hormonal and urinary responses to postural change in tetraplegic and paraplegic man. *Paraplegia* 1988; 26: 233-237
 - 18) Leftheriotis G, Gerraud JM, Preckel MP, Saumet JL: Cerebral blood flow and resistances during hypotensive haemorrhage in the rabbit: transcranial Doppler and laser-Doppler flowmetry. *Clin Physiol* 1995; 15: 537-545
 - 19) Lindgaard KF, Bakke SJ, Grolimund P, Aaslid R, Huber P, Nornes H: Assessment of intracranial hemodynamics in carotid artery disease by transcranial Doppler ultrasound. *J Neurosurg* 1985; 63: 890-898
 - 20) Newell DW, Aaslid R, Lam A, Mayberg TS, Winn HR: Comparison of flow and velocity during dynamic autoregulation testing in humans. *Stroke* 1994; 25: 793-797
 - 21) Novak V, Novak P, Spies JM, Low PA: Autoregulation of cerebral blood flow in orthostatic hypotension. *Stroke* 1998; 29: 104-111
 - 22) Osborn JW, Taylor RF, Schramm LP: Determinants of arterial pressure after chronic spinal transection in rats. *Am J Physiol* 1989; 256: R666-673
 - 23) Poole CJM, Williams TDM, Lightman SL, Frankel HL: Neuroendocrine control of vasopressin secretion and its effect on blood pressure in subjects with spinal cord transection. *Brain* 1987; 110: 727-735
 - 24) Schondorf R, Benoit J, Wein T: Cerebrovascular and cardiovascular measurements during neurally mediated syncope induced by head-up tilt. *Stroke* 1997; 28: 1564-1568
 - 25) Sorteberg W, Lindgaard KF, Rootwelt K, Russell D, Dahl A, Hansen RN, Nornes H: Blood velocity and regional blood flow in defined cerebral artery systems. *Acta Neurochir* 1989; 97: 47-52
 - 26) Sved AF, McDowell FH, Blessing WW: Release of antidiuretic hormone in quadriplegic subjects in response to head-up tilt. *Neurology* 1985; 35: 78-82
 - 27) Tiecks FP, Lam AM, Aaslid R, Newell DW: Comparison of static and dynamic cerebral autoregulation measurements. *Stroke* 1995; 26: 1014-1019
-