

논문 2007-44SC-3-1

TcpO₂를 이용한 당뇨병성 신경병증 환자의 조기진단

(A new diagnostic method for diabetic neuropathy using TcpO₂)

홍 현 기*, 김 성 우*, 남 기 창**, 차 은 중***, 김 덕 원****

(Hyun Ki Hong, Sung Woo Kim, Ki Chang Nam, Eun Jong Cha, and Deok Won Kim)

요 약

당뇨병성 신경병증은 당뇨병성 신증, 당뇨병성 망막병증과 함께 당뇨병의 가장 흔한 합병증 중의 하나로 임상에서는 신경전도검사(nerve conduction velocity: NCV)를 실시하여 신경병증의 유무를 진단한다. 그러나 신경전도검사는 피부에 직접적으로 최대 100mA의 전기가극을 가하므로 피검자가 놀라거나 고통을 호소하는 경우가 많다. 본 논문에서는 TcpO₂를 이용하여 비관혈적으로 신경병증이 있는 그룹과 정상인 그룹 간의 TcpO₂와 SpO₂의 차이를 확인하고, TcpO₂와 SpO₂가 어떠한 관계인지 살펴 보았다. 또한 TcpO₂ 측정방법을 당뇨병성 신경병증의 새로운 조기 진단 방법으로 제안하고자 하였다. 실험은 정상인 50명과 NCV를 통해 신경병증으로 확진 받은 당뇨병 환자 50명을 대상으로 하였으며, 분석 파라미터는 TcpO₂, TcpCO₂, SpO₂이었다. 측정결과 TcpO₂는 정상인과 당뇨병성 신경병증 환자 그룹 간에 손과 발에서 모두 통계적으로 유의한 차이가 있었다(p<0.01). SpO₂는 검지에서는 정상인과 당뇨병성 신경병증 환자 간에 통계적으로 차이가 없었지만(p>0.05), 엄지발가락에서는 유의한 차이가 있었다(p<0.01). 손가락의 SpO₂와 손의 TcpO₂는 상관관계가 0.400(p<0.01), 발가락의 SpO₂와 발의 TcpO₂는 0.471(p<0.01)로 통계적으로 유의한 상관관계를 발견하였다. 정상인과 당뇨병성 신경병증 환자 그룹 간에 손과 발의 TcpO₂ 방법의 민감도는 66%, 특이도는 92%로 나타났다. 본 연구를 통해서 TcpO₂ 방법이 신경병증의 유무를 확인할 수 있는 사전검사 도구로 사용이 가능할 수 있으며, 주기적인 TcpO₂ 검사를 통해 혈관폐색과 신경병증을 조기에 발견할 수 있어 당뇨병으로 인한 혈관폐색과 신경병증을 조기에 진단 할 수 있는 유용한 방법이 될 것으로 사료된다.

Abstract

PDiabetic neuropathy is one of the most common diabetes related complications including diabetic nephropathy and retinopathy. In clinical practices, nerve conduction velocity (NCV) has been used as a standard method for diagnosing diabetic neuropathy. However, it applies maximum current of 100mA to nerves causing stress and pain to patients. In this study, as a non-invasive method, TcpO₂ was utilized to investigate the difference and relationship between TcpO₂ and SpO₂ of normal and diabetic neuropathy subjects. In addition, a new method of diagnosing diabetic neuropathy using TcpO₂ is suggested. 50 normal subjects and 50 diabetic patients with neuropathy diagnosed by NCV participated in this study. Parameters used in this study were TcpO₂, TcpCO₂, and SpO₂. As a result of the TcpO₂ measurements, statistical significances were found from TcpO₂ of hands and feet from normal and patients group(p<0.01). SpO₂ measured from index finger of normal and patient groups showed no statistical significance(p>0.05). On the other hand, SpO₂ measured from great toes of normal and patient groups showed statistical significance(p<0.01). Correlation coefficient between SpO₂ of finger and TcpO₂ of hand was 0.400 (p<0.01) and SpO₂ of toe and TcpO₂ of foot was 0.471(p<0.01). Both correlation values were statistically significant. Sensitivities and specificities of the TcpO₂ method were found to be 66 % and 92 %, respectively. If the suggested TcpO₂ method is used periodically, prevention and early diagnosis of diabetic neuropathy would be possible.

Keywords : Neuropathy, TcpO₂, TcpCO₂, SpO₂, NCV

* 학생회원, 연세대학교 생체공학협동과정

(Graduate Program in Biomedical Engineering, Yonsei University)

** 정회원, AIST

(National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

*** 정회원, 충북대학교 의과대학 의공학교실

(Dept. of Biomedical Engineering, College of Medicine, Chungbuk National University)

**** 중신회원, 연세대학교 의과대학 의학공학교실-교신저자

(Dept. of Medical Engineering, College of Medicine, Yonsei University)

* 이 논문은 보건복지부 보건의료기술진흥사업 휴대형 진단치료기기 개발센터의 지원에 의하여 연구되었음
(과제교유번호 : A040032).

접수일자: 2006년12월6일, 수정완료일: 2007년3월29일

I. 서 론

당뇨병의 유병률은 민족이나 종족, 생활환경 등에 따라 차이가 있으나 경제가 발전하고 생활양식이 서구화됨에 따라 전 세계적으로 유병률이 증가하고 있다^[1]. 우리나라에서도 1970년대에는 1%미만으로 추정되던 것이 1980년대 말에는 약 3%, 1990년대에는 보고자에 따라 5~8%의 유병률을 보고하고 있다^[1]. 그러나 더 큰 문제는 일반인들이 당뇨에 대해 위기의식을 느끼지 않는다는 것이다. 당뇨병은 유병기간이 길수록 각종 합병증을 불러오며 그 중 가장 심각한 합병증 중의 하나가 바로 당뇨병성 족부병변이다. 이러한 당뇨병성 족부병변의 병인은 신경병성(neuropathic), 신경-허혈성(neuro-ischemic), 허혈성(ischemic)의 3가지로 구분되며 원인 별 빈도는 각각 50~60%, 20~30%, 10~20% 정도이다. 이중 당뇨병성 신경병증이 70~90%로 가장 높은 비율을 차지한다^[2].

당뇨병성 신경병증의 증상은 각종 감각의 소실, 따끔 거림(pins and needles), 짝 조이는 느낌, 발가락이나 발에 양말이나 신이 닿아 있는 느낌 등이 있고, 신경통, 둔통(aching), 압박감(pressing), 경련통(cramping), 작열통(burning), 찌르는 듯한 통증(stabbing), 베는 듯한 통증(lancinating) 등을 동반한다^[1].

신경병증의 진단을 위해 임상에서는 신경전도검사(nerve conduction velocity; NCV)를 실시하여 신경병증의 유무를 진단한다. 그러나 신경전도검사는 피부에 직접적으로 최대 100mA의 전기자극을 가하므로 피검자가 놀라거나 고통을 호소하는 경우가 많고, 측정시간도 20~30분으로 긴 시간이 소요된다. 따라서 환자들의 고통을 최소화하고, 측정시간을 줄일 수 있는 새로운 신경병증 판별검사방법이 요구되어왔다.

본 논문에서는 비관혈적인 TcpO₂ 방법을 이용하여 당뇨병성 신경병증이 있는 그룹과 정상인 그룹 간의 TcpO₂와 SpO₂(oxygen saturation)의 차이를 확인하고, TcpO₂와 SpO₂ 사이에 어떠한 관계가 존재하는지 살펴보고, TcpO₂ 측정방법을 당뇨병성 신경병증의 조기 진단을 위한 새로운 방법으로 제안하고자 하였다.

II. 본 론

경피성 산소압(TransCutaneous Oxygen tension, TcpO₂)의 정의는 “호흡기 시스템으로부터 공급되는 산소의 정도이거나, 세포내로 들어가는 혈액에서의 산소

의 정도”로 표현된다^[3].

TcpO₂ 측정법은 1970년대 Huch에 의해 개발되었으며, 조직의 산소 공급과 소모사이의 산소분압(partial pressure of oxygen; pO₂)을 반영한다. TcpO₂는 기존에 여러 분야에서 사용되었다. Benschotter et al.(1984)는 상처 난 부위를 치료하는데 TcpO₂의 수치를 이용하여 판단하였으며^[13], 이상적인 절단 정도를 결정하는데 사용되기도 하였다^[14]. Bunt et al.(1996)는 TcpO₂의 값이 30mmHg 이상이 되었을 때 크거나 작은 접합 수술이 성공을 했다고 보고하였다^[15].

현재 TcpO₂와 동맥혈의 산소분압(partial pressure of oxygen in arterial; PaO₂), TcpCO₂와 동맥혈의 이산화탄소분압(partial pressure of carbon dioxide in arterial; PaCO₂)이 높은 상관관계를 보인다는 결과가 많이 발표되었다.

TcpO₂는 PaO₂, 말초의 혈류량, 피부의 구성(두께, 부위, 모세혈관의 분포 정도), 측정센서 및 피부의 온도 등의 여러 가지 측정 요소로 인하여 그 수치가 영향을 받는다. 이 중에서 PaO₂와 말초의 혈류량이 TcpO₂에 가장 큰 영향을 미친다. PaO₂가 낮은 경우는 환자가 심폐질환 종류를 앓고 있을 수 있고, 부분적인 혈류량이 감소한 경우는 발의 동맥경화, 혈관 손상 등의 예를 들 수 있다. 또한 낮은 TcpO₂의 수치는 말초 혈관 질환과 높은 상관관계가 있다.

III. 방법

1. 연구 대상

실험은 정상인 50명과 NCV를 통해 신경병증이라 확진 받은 당뇨병 환자 50명을 대상으로 하였다. 정상인 그룹의 평균 연령은 55.4±20.5세 이고, 성비는 남자가 24명, 여자가 26명으로 구성되었다. 정상인들의 당뇨병 유무를 사전 판별하기 위해서 혈당측정기(LifeScan, USA)를 사용하였다. 당뇨병성 신경병증 환자 그룹의 평균 연령은 60.0±13.3세 이고, 성비는 남자가 21명, 여자가 29명으로 구성되었다.

2. 측정 장비

TcpO₂ 및 TcpCO₂는 상용화된 제품인 TCM40(Radiometer, Denmark)을 사용하여 측정하였으며, 오차 범위는 ±5mmHg 이내이다. 그리고 TCM40에 있는 SpO₂ 모듈을 통해 피검자의 양쪽 검지와 엄지발가락 SpO₂를 측정하였고, SpO₂ 모듈은 ±3%의 오차를 갖는

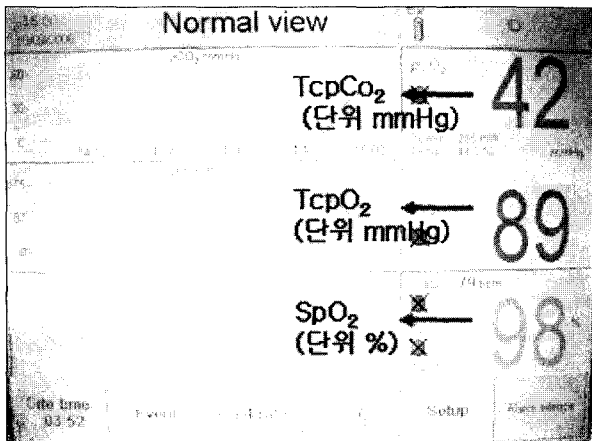


그림 1. TCM40을 이용한 정상인 측정 시 장비화면
 Fig. 1. Screen applying of TCM40 to a normal subject

다^[12]. 그림 1은 TCM40의 정상인 측정 시 장비의 화면이다.

3. 전극의 위치, 시간, 온도 설정

SpO₂를 측정하는 센서는 Nellcor DS-100A Durasensor(USA)를 사용하였다. 그림 2는 센서의 부착 위치로 왼쪽과 오른쪽 검지와 엄지발가락에 전극을 부착하여, 순차적으로 측정하였다.

TcpO₂ 및 TcpCO₂는 한 개의 전극을 통해 두 가지의 파라미터를 동시에 측정 가능하며 측정위치는 그림 3과 같다. PPG와 다르게 TcpO₂ 및 TcpCO₂의 측정 위치에는 차이가 있는데, 검지와 엄지발가락에 TcpO₂ 전극을 부착하기 어렵기 때문이었다.

TcpO₂ 및 TcpCO₂는 측정시간에 따라 측정 결과가 다를 수 있다. 일반적으로 TcpO₂ 및 TcpCO₂ 측정 시간은 대략 10분에서 35분까지이며, 전극의 종류, 측정하고자 하는 조직의 부위, 조직의 두께 등 여러 요소에 따라

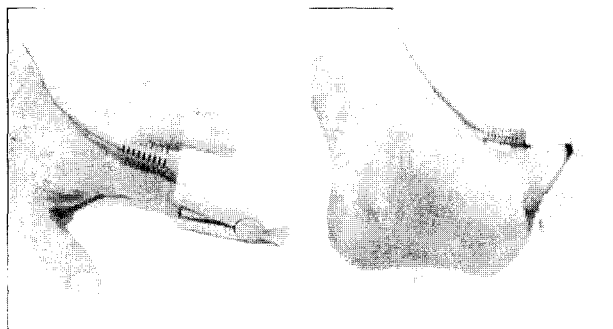


그림 2. 검지와 엄지발가락의 PPG 센서 부착 모습
 Fig. 2. PPG sensors attached to index finger and great toe.

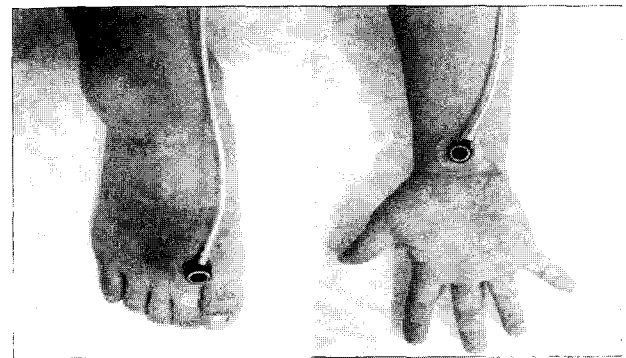


그림 3. 손과 발의 TcpO2 및 TcpCO2 전극 부착 모습
 Fig. 3. TcpO2 and TcpCO2 electrodes attached to foot and hand.

다르다^[6]. 기존 논문들의 연구에서는 측정 시간이 15분에서 20분이 가장 많았다. 본 논문은 이를 토대로 한 부위 당 15분을 측정하였으며, TcpO₂와 TcpCO₂의 값이 안정되어 변하지 않을 때의 값을 기록하였다.

TcpO₂ 및 TcpCO₂는 전극의 온도 또한 중요한 요소이다. 기존의 연구에서 전극의 온도를 44℃로 유지하여 실험을 진행한 경우가 가장 많았다^[16-19]. 이유는 피부가 43℃와 44℃ 사이의 온도까지 가열되었을 때 충분한 동맥혈화(arterialization)가 발생하기 때문이다^[11]. Boyko(1996)는 전극의 온도를 44℃로 유지하여 엄지발가락(plantar hallux)의 TcpO₂와 발목 혈압과의 중요한 상관관계를 규명하였으며, 몇 명의 논문에서는 TcpO₂를 임상 응용 용도로 사용할 경우 전극의 온도를 44℃로 추천하였다^[20]. 본 논문은 이러한 내용들을 바탕으로 전극의 온도를 44℃로 설정하여 실험하였다.

4. 실험 방법

50명의 정상인과 세브란스 병원 당뇨병센터에서 신경전도검사로 신경병증이 확진된 당뇨병 환자 50명을 대상으로 하였다. 당뇨병성 신경병증 환자 중에는 5명의 혈관폐색, 2명의 엄지발가락 절단 환자가 있었다. 나머지 43명의 당뇨병 환자들은 대다수가 감각이상, 찌릿찌릿한 감각, 냉감 등을 호소하였지만 혈관 폐색이나 발가락 절단환자는 아니었다.

실험은 측정을 하기 전 10분간 누워 안정을 취하게 하였으며, TCM40 장비를 이용하여 TcpO₂, TcpCO₂, SpO₂를 측정하였다. SpO₂는 양쪽 검지와 엄지발가락에 센서를 부착하여 SpO₂를 1회 측정, TcpO₂ 및 TcpCO₂는 오른쪽 손과 오른쪽 발에 전극을 부착하여 1회, 각 15분 씩 측정하였다. 측정 시 실내의 평균 온도는 25.8±0.64℃이었다. 통계분석은 SPSS 10.0 for windows

(SPSS Inc., USA)를 이용하여 독립표본 t 검정, 상관관계, ROC(receiver operating characteristic) 곡선을 사용하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 정상인 손과 발의 TcpO₂, TcpCO₂ 분석

그림 4는 정상인 손과 발의 TcpO₂와 TcpCO₂의 분포를 나타낸 그림이다. 정상인 50명의 경우 오른쪽 손의 TcpO₂는 평균 70.7±9.5mmHg이고, 오른쪽 발의 TcpO₂는 68.7±9.6mmHg이었다. TcpCO₂는 손에서 평균 38.4±4.6mmHg, 발에서 38.6±4.9mmHg이었다. 정상인의 TcpO₂와 TcpCO₂는 독립표본 t 검정결과 손과 발에서 모두 통계적으로 유의한 차이가 없었다(TcpO₂: p=0.297, TcpCO₂: p=0.883).

정상인 50명 중에서 44명이 TcpO₂의 정상 범위인 60~95mmHg, TcpCO₂의 정상 범위인 30~50mmHg로 측정되었으며, 2명은 TcpCO₂의 정상 범위 이상, 3명은 TcpO₂의 정상 범위 이하, 1명은 TcpO₂의 정상 범위 이상이었다. TCM40은 TcpO₂와 TcpCO₂ 측정시 ±5mmHg 오차를 가지고 있고, 피검자의 상태 및 측정 환경에 따라 오차를 보일 수 있다.

2. 당뇨병성 신경병증 환자 손과 발의 TcpO₂, TcpCO₂ 분석

그림 5는 당뇨병성 신경병증 환자의 손과 발의 TcpO₂와 TcpCO₂의 분포를 나타낸 그림이다. 당뇨병성 신경병증 환자 50명의 경우 오른쪽 손의 TcpO₂는 평균 62.0±9.6mmHg이고, 오른쪽 발의 TcpO₂는 58.4±10.1mmHg이었다. TcpCO₂는 손에서는 평균 38.6±4.2mmHg, 발에서는 38.3±4.5mmHg이었다. 당뇨병성 신경병증 환자도 TcpO₂와 TcpCO₂ 모두 독립표본 t 검정결과 손과 발에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다(TcpO₂: p=0.070, TcpCO₂: p=0.714).

당뇨병성 신경병증 환자 50명 중에서 17명이 TcpO₂의 정상 범위인 60~95mmHg, TcpCO₂의 정상범위가 나왔으며, 나머지 33명은 TcpO₂의 60mmHg 이하였다.

정상인 50명과 당뇨병성 신경병증 환자 50명의 손과 발의 TcpCO₂는 독립표본 t 검정결과 정상인과 당뇨병성 신경병증 환자 간에 통계적으로 차이가 없었다(손: p=0.838, 발: p=0.767). 정상인과 당뇨병성 신경병증 환자 간에 TcpCO₂ 차이가 없는 이유는 TcpCO₂가 피부 혈액의 흐름에 훨씬 덜 의존적이기 때문이다^[7]. 그러나

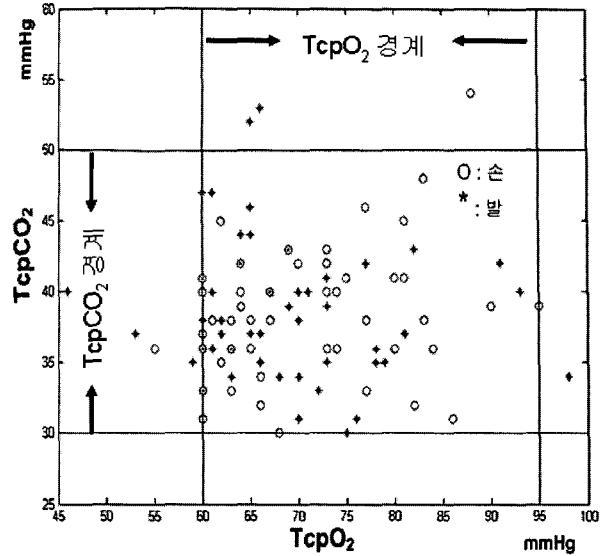


그림 4. 정상인의 TcpO₂와 TcpCO₂의 분포(n=100)

Fig. 4. TcpO₂ and TcpCO₂ distribution of normal group(n=100).

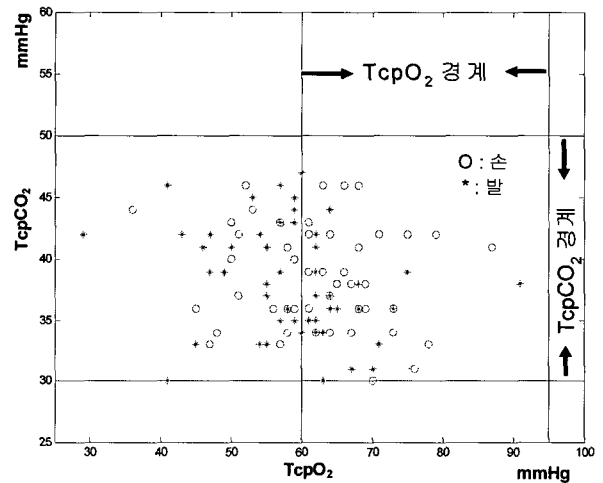


그림 5. 당뇨병성 신경병증 환자의 TcpO₂와 TcpCO₂의 분포(n=100)

Fig. 5. TcpO₂ and TcpCO₂ distribution of diabetic neuropathy group(n=100).

TcpO₂는 정상인과 당뇨병성 신경병증 환자 간에 유의한 차이가 있었다(손: p<0.01, 발: p<0.01). 이것은 정상인보다 당뇨병성 피부병증 환자의 TcpO₂가 약 50% 정도 낮게 측정된 이전의 연구와 유사한 결과인 것을 확인할 수 있었다^[21]. TcpO₂는 동맥의 질환뿐 아니라 정맥에 관련된 질환도 설명할 수 있으며, 정맥관련 질환에서 TcpO₂의 값이 감소하는 것이 몇몇 연구를 통해서 발표되었다^[6,22].

따라서 본 논문에서는 정상인과 당뇨병성 신경병증 환자의 말초 혈류장애에 따른 영향을 보기 위해서는

TcpCO₂보다 TcpO₂의 결과를 참조하는 것이 타당함을 확인하였다.

3. 정상인과 당뇨병성 신경병증 환자의 SpO₂의 차이

표 1은 정상인과 당뇨병성 신경병증 환자의 SpO₂를 비교한 결과이다. 정상인과 당뇨병성 신경병증 환자의 SpO₂는 왼쪽과 오른쪽 검지에서는 독립표본 t 검정결과 통계적으로 유의한 차이가 없었다(왼쪽: p=0.059, 오른쪽: p=0.104). 그러나 엄지발가락에서는 왼쪽과 오른쪽 모두 정상인과 당뇨병성 신경병증 환자 간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다(왼쪽: *p<0.01, 오른쪽: *p<0.01).

4. SpO₂와 TcpO₂, TcpCO₂와의 상관관계

정상인과 당뇨병성 신경병증 환자의 손가락의 SpO₂와 TcpO₂, SpO₂와 TcpCO₂의 상관관계를 분석하였다. 그 결과, 손가락의 SpO₂와 손의 TcpCO₂는 상관관계를 보이지 않았으며(r=-0.197, p=0.050), 발가락의 SpO₂와 발의 TcpCO₂ 또한 상관관계를 보이지 않았다(r=-0.127, p=0.219). 이것은 TcpCO₂가 피부 혈액의 흐름에 훨씬 덜 의존적이기 때문인 것으로 사료된다^[7], 그림 6은 정상인과 당뇨병성 신경병증 환자의 오른쪽 검지의 SpO₂와 손의 TcpO₂의 상관관계를 나타낸 것으로, SpO₂와 TcpO₂는 약한 양의 상관관계를(r=0.400, p<0.01)를 보였다. 그림 7은 오른쪽 엄지발가락의 SpO₂와 오른발의 TcpO₂의 상관관계를 나타낸 것으로, 손에서와 마찬가지로 약한 양의 상관관계(0.471, p<0.01)를 나타내었다. 이 것은 유아와 성인을 대상으로 연구하였던 TcpO₂가 40mmHg이상일 경우 SpO₂와 상관관계가 존재한다는 이전의 연구와 유사한 결과인 것을 확인 할 수 있었다^[8,9].

표 1. 정상인과 당뇨병성 신경병증 환자의 평균 SpO₂ (n=100)

Table1. Averaged SpO₂ of normal and diabetic neuropathy groups(n=100).

부위 \ 그룹	정상인	당뇨병성 신경병증 환자
왼쪽 검지	97.20±1.67%	96.46±1.98%
오른쪽 검지	96.90±1.31%	96.34±2.12%
왼쪽 엄지발가락	98.04±1.46%	*96.57±2.22%
오른쪽 엄지발가락	98.38±1.38%	*97.09±2.30%

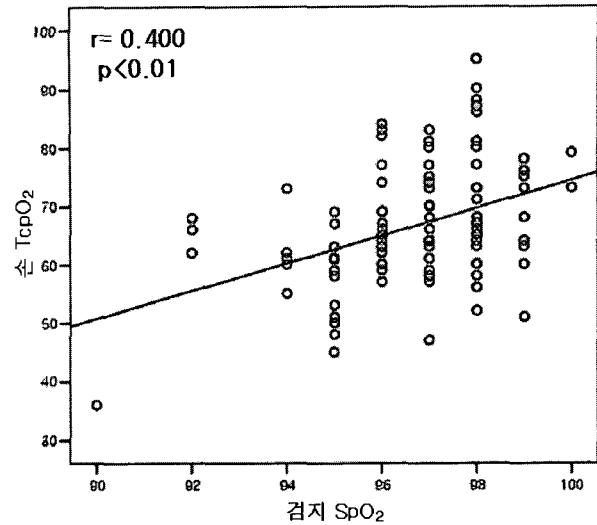


그림 6. 오른쪽 검지 SpO₂와 손의 TcpO₂의 상관관계 (n=100)

Fig. 6. Correlations between SpO₂ of right index finger and TcpO₂ of right hand (n=100)

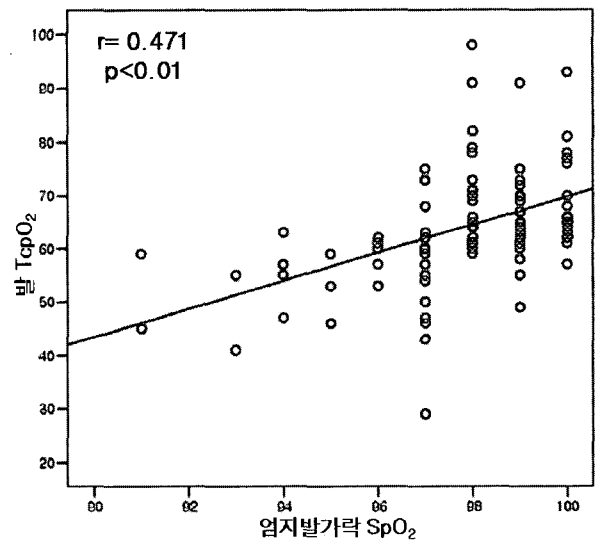


그림 7. 오른쪽 엄지발가락의 SpO₂와 발의 TcpO₂의 상관관계(n=100)

Fig. 7. Correlations between SpO₂ of right great toe and TcpO₂ of right foot (n=100).

5. TcpO₂를 이용한 방법의 민감도와 특이도

TcpO₂ 방법이 당뇨병성 신경병증 환자를 얼마나 정확하게 검출할 수 있는지 확인하기 위하여 ROC(receiver operating characteristic) 곡선을 알아보았다. ROC 곡선은 손과 발의 TcpO₂를 나누어 분석하였으며, 그림 8은 ROC곡선을 나타낸 것이다.

ROC곡선을 통해, 손의 TcpO₂보다 발의 TcpO₂가 민감도와 1-특이도가 더 우수한 것을 확인할 수 있었다.

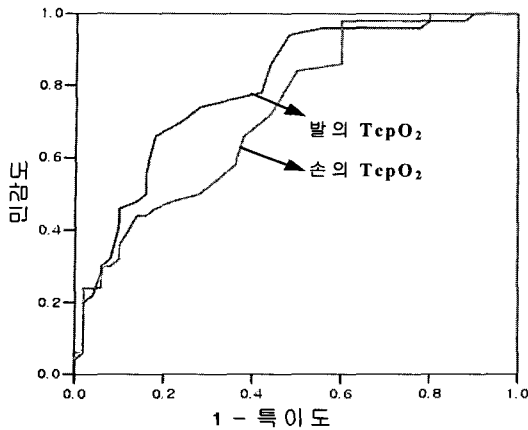


그림 8. 손과 발 TcpO₂의 ROC curve
Fig. 8. ROC curve obtained from TcpO₂ of hand and foot.

이것은 발의 TcpO₂가 손의 TcpO₂보다 당뇨병성 신경병증 환자를 더 높게 검출할 수 있다는 뜻이다. 정량적인 수치를 확인하기 위해서 정상인과 환자를 구분하는 TcpO₂의 기준값 60mmHg을 기준으로 각각의 민감도와 특이도를 계산하였을 때, 손의 TcpO₂ 민감도는 40%, 특이도는 98%, 발의 TcpO₂ 민감도는 52%, 특이도는 92%로 나타났다. 손이나 발의 두 곳 중 한 곳이라도 이상이 있을 시의 민감도는 66%, 특이도는 92%이었다.

민감도는 실제 당뇨병성 신경병증 환자를 TcpO₂를 이용해 신경병증 환자로 검출할 수 있는 정도이고 식(1)을 이용하며, 특이도는 정상인을 TcpO₂를 이용해 정상인으로 검출할 수 있는 정도로 식(2)을 이용하여 계산하였다.

$$\text{민감도}(\%) = \frac{TP}{TP+FN} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{특이도}(\%) = \frac{TN}{TN+FP} \times 100 \quad (2)$$

TP : True Positive, NCV를 통해 신경병증이라 진단 받은 당뇨병 환자

TN : True Negative, 정상인

FP : False Positive, 정상인이지만, TcpO₂를 통해 당뇨병성 신경병증 환자라 잘못 판단된 정상인

FN : False Negative, 당뇨병성 신경병증 환자이지만, TcpO₂를 통해 정상인이라 잘못 판단된 환자

임상에서는 당뇨병 환자의 말초혈관 폐색을 진단하

기 위해서 발목의 수축기 혈압을 상완의 수축기 혈압으로 나눈 ABI(ankle brachial index), 발가락의 수축기 혈압을 상완의 수축기 혈압으로 나눈 TBI(toe brachial index), 발가락의 파형관찰, laser doppler 방법 등을 시행하며, 이중 ABI 방법이 가장 많이 시행되고 있다. 각 방법들의 민감도와 특이도는 다음과 같다. ABI방법의 민감도는 73%, 특이도는 95%^[10], 발가락 파형 관찰의 민감도는 81%, 특이도는 56%, TBI방법의 민감도는 100%, 특이도는 61%, laser doppler방법의 민감도는 94%, 특이도는 66%이다^[11].

소개된 방법들처럼 현재 사용되는 진단 방법은 여러 가지가 있으며, 그 방법에 따른 민감도와 특이도는 크게 다르다. 가장 쉽게 판단할 수 있는 ABI 방법의 민감도와 특이도는 TcpO₂를 이용한 측정 민감도와 특이도가 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과로, TcpO₂를 이용한 방법이 임상에서 당뇨병성 신경병증 환자 검출 방법의 한 가지로 적용될 가능성을 제시할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문은 TcpO₂, TcpCO₂, SpO₂를 이용하여 정상인과 당뇨병성 신경병증 환자를 측정하고, TcpO₂를 이용한 당뇨병성 신경병증 환자의 조기진단 방법의 가능성을 마련한 연구였다.

신경전도검사는 보통 20~30분의 시간이 소요되고, 신경에 직접적으로 최대 100mA의 전기 자극을 피부에 가하므로 피검자가 놀라거나 고통을 호소하는 문제점이 있다. TcpO₂를 이용한 검사를 하면 비록 측정시간은 신경전도검사와 같이 20~30분 정도 소요되지만, 비관혈적(non-invasive)이어서 피검자에게 전혀 고통을 주지 않는다. 또한 어느 정도 진행된 후에 발견되는 혈관 폐색과 신경병증을 주기적인 TcpO₂ 검사로 조기에 발견할 수 있다면, 당뇨병으로 인한 혈관폐색과 신경병증을 예방할 수 있는 계기를 마련할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 TcpO₂를 이용한 방법이 신경병증의 유무를 확인할 수 있는 사전검사 도구로 적용이 가능하다는 것을 보였다.

향후, 신경병증이 없는 당뇨병 환자그룹과 신경병증 외에 다른 합병증을 가진 그룹에 대한 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 TcpO₂ 방법이 신경병증 및 다른 합병증과의 구별이 가능한 지에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 대한당뇨병학회, 제2판 당뇨병학, 고려출판, pp.551-569, 1998.
- [2] 조용옥, 당뇨병성 족부병변의 병인과 진단, 제13차 대한당뇨병학회 춘계학술대회, 제24권, 부록2호: 연수강좌, pp.S-55-S-64, 2000.
- [3] Baumbach P., *Understanding Transcutaneous pO₂ and pCO₂ Measurement*, 5, 3, 4, 4, pp.19-22, Copenhagen, Radiometer A/S
- [4] Fanconi S., Pulse oximetry and transcutaneous oxygen tension for detection of hypoxemia in critically ill infants and children, *Adv Exp Med Biol*, 200, pp.159-164, 1987.
- [5] Janssens JP, Perrin E, Bennani I, de Muralt B, Titelion V, Picaud C., Is continuous transcutaneous monitoring of PCO₂(TcPCO₂) over 8h reliable in adults?, *Respir Med*, 95(5), pp.331-335, 2001.
- [6] Scheffler A., Rieger H., Clinical information content of transcutaneous oxymetry[tcpO₂] in peripheral arterial occlusive disease (A review of the methodological and clinical literature with a special reference to critical limb ischemia, *VASA*, 21, pp.111-126, 1992.
- [7] John G. Webster원저, “의용계측공학”, 여문각, pp.660-667, 2004.
- [8] Deckardt R, Steward DJ., Noninvasive arterial hemoglobin oxygen saturation versus transcutaneous oxygen tension monitoring in the preterm infant, *Crit Care Med*, 12, 11, pp.935-939, 1984.
- [9] William W. Hey, M. Brockway and Mario Eyzaguirre, Neonatal Pulse Oximetry: Accuracy and Reliability, *PEDIATRICS*, 83, 5, 1989.
- [10] Joshua A. Beckman, Caitlin O. Higgins, Marie Gerhard-Herman, Automated Oscillometric Determination of the Ankle - Brachial Index Provides Accuracy Necessary for Office Practice, *Hypertension*, 47, pp.35-38, 2006.
- [11] Williams DT, Harding KG, Price P., An Evaluation of the Efficacy of Methods Used in Screening for Lower-Limb Arterial Disease in Diabetes, *Diabetes Care*, 28, pp.2206 - 2210, 2005.
- [12] Radiometer, *TCM40 monitoring systems operator's manual*, 2006.
- [13] Benschotter E.L., Gerber A. and Friedberg J., Transcutaneous Oxygen Measurement as a non-invasive indicator of level of tissue healing in patients with peripheral vascular disease and projected amputations, *Journal of AOA*, 83, 8, pp.560-574, 1984.
- [14] Kram HB, Appel P, White RA et al, Assessment of peripheral vascular disease by postocclusive transcutaneous oxygen recovery time, *J Vasc Surg*, 1, pp.628-634, 1984.
- [15] Poets C. F., Southall D. P., Non-invasive Monitoring of Oxygenation in Infants and Children: Practical Considerations and Areas of Concern, *Paediatrics*, 93, 5, pp.737-746, 1994.
- [16] Matsen F. A., Wyss C. R., Pedegana L. R., Krugmire R. B., Simmons C. W., King R. V., Burgess E. M., Transcutaneous Oxygen Tension Measurement in Peripheral Vascular Disease, *Surgery. Gynaecology and Obstetrics*, 150, pp.525-528, 1980.
- [17] Mannarino E., Maragoni G., Pasqualini L., Sanchini R., Rossi P., Orlandi U., Transcutaneous Oxygen Tension Behaviour in the different Stages of Peripheral Vascular Disease and its Correlation with Ankle/Arm Pressure Ratio and Calf Blood Flow, *Angiology - The Journal of Vascular Disease*, 38, pp.463-467, 1987.
- [18] Moosa H. H., Peitzman A. B., Makaroun M. S., Webster M. W. and Steed D. L., Transcutaneous oxygen measurements in lower extremity ischaemia: Effects of position, oxygen inhalation and arterial reconstruction, *Surgery*, 103, 2, pp.193-198, 1988.
- [19] Casprey L., Abicht J., Creutzig A., Mitakat H. J., Alexander K., Influence of diabetic neuropathy on skin microcirculation assessed by transcutaneous oxymetry, *VASA*, 24:4, pp.340-346, 1995.
- [20] Boyko E. J., Ahroni J. H., Stensel V. L., Smith D. G., Davignon D. R. and Pecoraro R. E., Predictors of Transcutaneous Oxygen Tension in the Lower Limbs of Diabetic Subjects, *Diabetic Medicine*, 13, pp.549-554, 1996.
- [21] Greg Wigington, Binh Ngo, Marc Rendell, Skin Blood Flow in Diabetic Dermopathy, *Arch Dermatol*, 140, pp.1248-1250, 2004.
- [22] PERIMED, “Evaluation of wound healing using laser Doppler and tcpO₂”, Part no. 44-00078-01, manual

저 자 소 개



홍 현 기(정회원)
 2005년 연세대학교 의용전자
 공학과 (공학사)
 2005년 9월~현재 연세대학교
 대학원 생체공학협동과정
 석사과정
 <주관심분야: 생체 신호 계측등>



김 성 우(정회원)
 2004년 연세대학교 의용전자
 공학과 (공학사)
 2004년 9월~현재 연세대학원
 생체공학협동과정
 석박사통합과정
 <주관심분야: 생체 신호 계측등>



남 기 창(정회원)
 1997년 연세대학교 의용전자
 공학과 (공학사)
 1999년 연세대학교 대학원 생체
 공학협동과정 (공학석사)
 2004년 연세대학교 대학원 생체
 공학협동과정 (공학박사)

2004년~2005년 연세대학교 의과대학
 의공학학교실 연구강사
 2005년~2006년 Siemens 메디칼 초음파 사업부
 2006년~현재 National Institute of Advanced
 Industrial Science and Technology
 (AIST)
 <주관심분야: 생체신호계측, 음성신호처리 등>



차 은 종(정회원)
 1980년 서울대학교 공과대학
 전자공학과 (공학사)
 1987년 미국 남가주대학 의공학
 (공학박사), Research
 Associate
 1988년~현재 충북대학교 의과대학
 의공학학교실 교수

2001년~현재 씨케이인터내셔널 대표 겸직
 <주관심 분야: 생체계측, 물리센서, 심폐의료기,
 정밀계측>



김 덕 원(정회원)-교신저자
 1976년 서울대학교 공과대학
 (공학사)
 1980년 미국 Northwestern
 University 전자공학과
 (M.S.)
 1986년 미국 Univ. of Texas at
 Austin 의공학과정(Ph.D.)

1999년~2005년 연세의대 의공학학교실 주임교수
 1987년~현재 연세대학교 의과대학 의공학학교실
 조교수, 부교수, 교수
 2003년~2007년 연세대학교 대학원 생체공학
 협동과정 주임교수
 2005년~현재 대한전자공학회 제어 및 시스템
 소사이어티 부회장
 <주관심분야: 비관혈적 생체계측, 의료기기, 전자
 과 유해성 등>