

전완 부위 혈당검사의 정확도 분석

박경순¹, 송연이¹, 박미숙², 김경옥³, 최성수², 김경아², 류재덕⁴, 차은종^{2*}
¹문경대학 간호과, ²충북대학교 의과대학 의공학교실, ³서울아산병원 간호부, ⁴청주성모정형외과

Measurement Accuracy of Blood Glucose Test on the Forearm

Kyung-Soon Park¹, Yeon-Yi Song¹, Mi-Sook Park², Kyoung-Oak Kim³,
Seong-Su Choi², Kyung-Ah Kim², Jae-Duck Ryu⁴ and Eun-Jong Cha^{2*}

¹Department of Nursing, Munkyeong College, Munkyeong, Korea

²Biomedical Engineering Department, School of Medicine, Chungbuk National University,
Cheongju, Korea

³Seoul Asan Medical Center, Seoul, Korea

⁴Cheongju St. Mary's Hospital, Cheongju, Korea

요 약 통증이 거의 없는 새로운 모세혈액 채혈기법인 진공자동채혈법(vacuum assisted auto-lancing)의 정확도를 분석하고자 전형적인 대체부위인 전완(팔) 부위에서 채혈하여 측정한 혈당값을 표준 채혈부위인 정맥 및 손가락에서 채혈하여 측정한 혈당값과 비교, 분석하는 연구를 수행하였다. C대학교병원을 내원한 531명의 환자들을 대상으로 왼손 집게손가락 끝과 왼쪽 전완 부위에서 말초혈액의 혈당을 측정하였고, 곧바로 정맥 채혈하여 혈당을 측정하였다. 전완 부위 혈당 평균값이 손가락보다 정맥 혈당값에 더욱 가까웠으나 이들 간의 차이는 약 10 mg/dL 범위에 불과하여 임상적으로는 동일한 값들로 볼 수 있었다. 측정값들 간에 상관분석을 수행한 결과 손가락과 정맥 채혈의 혈당값 간의 상관계수는 0.94, 전완 부위와 정맥 혈당값 간의 상관계수는 0.92, 또한 전완 부위와 손가락 채혈 간의 상관계수는 0.94로 모두 매우 유의한 상관관계를 보였다($p < 0.001$). 따라서 대체부위인 전완 부위 혈당검사의 정확도가 실험적으로 입증되었다. 손가락 혈당검사는 상당한 채혈 통증이 수반되어 당뇨 환자들이 자가 검사를 기피하는 주요 원인이 되지만, 전완 부위에서 진공자동채혈하면 통증이 거의 없으므로 만성 당뇨환자들의 자가 질환관리를 위해 매우 유용하리라 기대된다.

Abstract The present study aimed to evaluate the accuracy of the blood glucose test with almost painless vacuum assisted auto-lancing technique. The blood glucose concentration measurements in the capillary blood sampled from the alternative (forearm) site were compared with the standard venous or finger sampling techniques. Capillary blood was sampled from both the left index finger and the forearm, followed by the venous blood sampling in 531 patients who visited the C University Hospital. Blood sugar test was performed for each blood samples for comparative analysis. Mean blood glucose concentration measured on the forearm was closer to the venous glucose level than that of the finger, but the difference was approximately 10 mg/dL small enough to ignore from the clinical point of view. The correlation coefficients of the measured blood glucose levels between finger and vein and between forearm and vein were 0.94 and 0.92, respectively ($p < 0.001$). The blood glucose measurement on the forearm also well correlated with the finger, showing a correlation coefficient of 0.94, and both data were very much close to each other. Therefore, the blood sugar test on the alternative capillary blood sampling site such as forearm was accurate enough for clinical practice. The vacuum assisted auto-lancing technique on the alternative site would be of particular interest for the disease management of the chronic diabetes, since it induces almost no pain when sampling blood from the capillaries.

Key Words : Blood glucose test, Alternative site blood sampling, Measurement accuracy analysis.

이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

*교신저자 : 차은종(ejcha@chungbuk.ac.kr)

접수일 09년 04월 21일 수정일 (1차 09년 05월 19일, 2차 09년 08월26일)

게재확정일 09년 09월 16일

1. 서론

1970년대에 약 2%의 유병률을 보였던 당뇨병은 점진적으로 증가하여 1990년대 초에는 약 10%까지 육박하였다[1]. 건강보험통계연보 자료에서는 2001년도 기준 당뇨병 유병율이 남성 2.27%, 여성 2.32%로 보고하고 있으나[2], 당뇨병으로 진단받고도 질환관리를 하고 있지 않거나 당뇨병이지만 아직 진단받지 못한 환자들을 포함할 경우 훨씬 높은 유병율을 보일 것으로 추정된다. 이와 같이 유병율이 높은 당뇨병의 치료이행에는 식사요법, 운동요법, 약물요법, 발 간호 등이 있으며 잘 관리되는 경우에는 건강한 정상인에 가까운 생활을 유지하는 것도 가능하다[3]. 당뇨병 관리시 필수적으로 수행해야 하는 것이 자가 혈당검사(blood glucose test)로써 매일 공복시를 포함하여 일 3~4회 수행하는 것이 바람직하다. 혈당검사는 일상생활 중 혈당 수준에 관한 정보를 제공하므로, 측정된 혈당값에 기초하여 생활습관을 교정함으로써 질환관리를 개선하는 것이 가능해지고 따라서 매우 필수적이고 중요한 검사이다[4]. 그러나 박석원 등이 시행한 당뇨병 관리실태 조사에 의하면 약 55%의 당뇨환자들만이 설문조사에 응하였고, 이들 중 약 35%만이 자가 혈당검사를 수행한다고 하였다[5]. 이 자료 만을 본다면 약 20% (=55%×35%)의 당뇨환자들만이 자가 혈당검사를 수행하여 질환관리에 참고하고 있다고 추측되므로 당뇨관리가 충분히 이루어지고 있지 않음을 쉽게 짐작할 수 있다.

혈당검사를 기피하는 가장 큰 요인은 잦은 채혈로 인한 통증 및 채혈부위의 손상이다[6]. 일반적으로 자가 혈당검사는 일회용 채혈침(lancet)과 채혈기구(lancing device)를 사용하여 손가락에서 채혈한 모세혈액에 대해 시행한다. 손가락에는 모세혈관이 풍부하게 분포되어 있어서 혈당검사에 필요한 충분한 양의 혈액을 채취할 수 있으며 정맥 혈당값과 잘 일치하므로 임상적으로 공인된 방법이다[7]. 그러나 손가락에는 통증감지세포도 함께 밀집해 있어서 상당한 통증이 수반되고, 특히 유아에 있어서는 생리적·정신적 문제 소지를 안고 있다[8, 9]. 이에 따라 혈당검사시 통증을 최소화하는 기법이 연구되고 있으며 통증감지세포가 매우 적게 분포하는 대체부위(alternative site)에서 채혈하는 기법이 제안되었다[10]. 대체부위로는 흔히 팔 안쪽 부위, 전문 용어로 전완 forearm 부위를 채택하며, 본 연구팀에서는 거의 통증 없이 채혈할 수 있는 진공자동채혈법(vacuum assisted auto-lancing technique)을 개발한 바 있다[11]. 그러나 전완 부위와 같은 대체부위에서 채혈하여 수행하는 혈당검사를 보편적으로 시행하기 위해서는 혈당 측정값의 정확도가 보장되어야만 한다.

이에 본 연구에서는 표준 채혈방법인 손가락 및 정맥 채혈하여 수행한 혈당검사의 혈당값과 대체부위인 전완 부위에서 채혈하여 측정된 혈당값을 상호 비교 분석하였다. 채혈 부위에 따른 혈당값 비교분석 결과를 토대로 전완 부위 혈당검사의 유용성을 평가함으로써 당뇨 환자에게 채혈통증을 최소화하는 기법을 제공하고자 하였다. 혈당검사시 채혈통증을 제거하는 것은 당뇨병의 자가관리를 개선하고 치료이행에 도움을 줄 수 있을 것이다.

2. 실험설계 및 방법

본 연구는 전완 부위 혈당검사의 정확도를 분석하고자 하는 연구이므로 다수의 피검자들을 대상으로 혈당값을 측정하는 임상실험을 설계하였다.

2.1 실험대상

C대학교병원의 건강증진실을 내원한 환자들 중 연구에 대한 설명을 듣고 문서로 동의한 환자 531명을 대상으로 하였다. 또한 혈당측정기 자체의 정확도 검증을 위해 외래 채혈실을 내원한 환자 52명을 대상으로 추가 실험을 수행하였다.

2.2 혈당검사기기

2.2.1 채혈기구

손가락에서 말초혈액을 채혈하는 표준 손가락 혈당검사를 수행하기 위해 일회용 자동채혈침(Autolet, 거상메디컬, 한국)을 사용하였다. 손가락 혈당검사는 재택환자가 스스로 자가검사를 수행하는 자가 표준검사이다. 반면에 병원을 방문하는 임상 환경 하에서는 정맥에서 채혈하여 검사하게 된다. 이같은 표준 정맥 혈당검사를 수행하는데에는 채혈용 바늘(vacutainer needle)을 사용하였다. 가장 흔히 고려하는 대체부위인 전완 부위에서 채혈하기 위하여는 진공자동채혈기(CareLance, 씨케이인터네셔널, 한국)를 이용하여 거의 통증없이 채혈하였다[11].

2.2.2 혈당측정기

손가락 및 전완 부위에서 채혈한 모세혈액에 대해 소형 자가혈당측정기(CareSens, 아이센스, 한국)를 이용하여 혈당값을 측정하였다. 정맥혈액에 대해서는 C대학교병원에서 임상검사에 사용하는 자동화학분석기(Hitachi, Japan)를 이용하여 혈당값을 측정하였다. 두 기기 모두 전 세계적으로 판매되고 있는 고품질 혈당측정기이다.

2.3 실험방법

실험을 수행하기에 앞서 먼저 석사과정 연구원 3명을 선발하여 채혈 기구 및 방법과 혈당측정기 사용법에 대해 사전 훈련을 실시하였으며, 연구원 간의 차이를 최소화하기 위해 실험절차를 통일하였다. 인구학적 정보와 타 질병 유무와 같은 일반적 정보는 혈당 측정 전에 직접 설문을 통해 수집하였다. 또한 키와 몸무게를 측정하여 브로카 변수인 표준체중을 구하였으며, 표준체중에 대한 현재 체중의 백분율을 산출하여 비만도를 측정하였다. 브로카 변수는 키(cm)에서 100을 뺀 값에 0.9를 곱해 구하였다.

피검자의 왼손 집게손가락 끝과 왼팔 안쪽 부위에서 일회용 자동채혈침과 진공자동채혈기를 각각 사용하여 말초(모세)혈액을 채취하였다. 두 곳에서 채혈된 혈액은 채혈 즉시 동일한 소형 자가 혈당측정기를 이용하여 검사를 시행하였다. 먼저 손가락 끝에서 채혈한 혈액으로 혈당을 측정하여 기록하였다. 다음으로 전완 부위의 피부를 약 5초간 손으로 문질러 주어 혈액순환이 원활하도록 한 후 채혈한 혈액으로 혈당을 측정하여 기록하였다. 이때 피부를 잘 문질러 주는 것은 전완 부위가 손가락 부위와는 달리 모세혈관 분포가 적기 때문에 혈관을 확장하여 혈액순환을 증진시킴으로써 가능한 최대한의 모세혈액을 채취하기 위함이다.

건강증진실에서 말초혈액 검사를 마친 후 1시간 이내에 병원의 외래 채혈실로 이동하여 숙련된 검사자가 정맥에서 채혈하였다. 정맥혈액에 대해서는 검사실의 자동화학분석기를 이용하여 혈당검사를 시행하였다. 또한 병원 자동화학분석기와 자가 혈당측정기 간의 기기오차를 평가하기 위해, 외래 채혈실에서 혈당값 측정을 위해 채혈한 정맥혈액을 이용하여 자동화학분석기와 자가혈당측정기로 동시에 혈당값을 측정하는 추가실험을 수행하였다.

2.4 자료분석

2.4.1 분석도구

SPSS/Win 10.0 프로그램으로 실험자료에 대한 통계분석을 시행하였고 Origin 6.0 프로그램으로 그래프를 작성하였다.

2.4.2 정확도 분석

전완부위혈당값(G_A)을 정맥(G_V) 및 손가락(G_F) 혈당값들과 비교, 분석하기 위해 우선 G_A , G_V , G_F 각각의 평균값들에 대해 독립표본 T 검증법을 적용하였다. 또한 G_A 와 G_V 그리고 G_A 와 G_F 간의 절대오차를 산출하여 혈당값의 측정오차를 정량적으로 비교하였다. 또한 혈당 측정값들이 비교적 넓은 범위에 분포하므로 G_A , G_V , G_F 간에

선형회귀분석(linear regression analysis)을 시행하여 상관계수를 산출하였다. 실험에 사용한 두 혈당 측정기기들 간의 오차를 평가하는 추가 실험결과에 대해서도 상술한 동일한 방법을 적용하였다.

3. 실험결과

3.1 피검자 특성

실험에 참여한 피검자들의 일반적 특성을 표 1에 제시하였다. 총 531명 중 남성이 194명(36.5%), 여성이 337명(63.5%)으로 여성이 보다 많았으나 남성의 2배를 넘지는 않았다. 연령은 40 ~ 60대가 대부분을 차지해 91.8%의 높은 비율을 보였는데 당뇨병 발병률이 높은 연령대에 해당한다. 비만도에 있어서는 정상이 229명(43.1%), 비만이 302명(56.9%)으로 나타나 비슷한 비율을 보였다. 당뇨병과 고혈압의 질병유무에 대한 조사에서는 19.9%가 질환자이었다.

[표 1] 피검자의 일반적 특성

Characteristics	n	frequency(%)	
Gender	Male	194	36.5
	Female	337	63.5
Age	< 30	8	1.5
	30 - 39	35	6.6
	40 - 49	116	21.9
	50 - 59	159	29.9
	60 ≥	213	40.1
Obesity	Normal	229	43.1
	Obese	302	56.9
Past history	Normal	425	80.0
	DM	23	4.3
	HT	70	13.2
	DM/HT	13	2.5

DM: Diabetes Mellitus

HT: Hypertension

3.2 절대오차 분석

피검자 531명 중 정맥혈액의 혈당값(G_V)을 측정한 대상자는 514명이었다. 따라서 정맥(G_V), 손가락(G_F), 전완(G_A) 부위 혈당값들이 모두 측정된 경우가 514명이었고 나머지 17명에게서는 G_F 및 G_A 값들만이 측정되었다. G_V 가 비교 대상인 경우에는 514명의 자료만을 사용하였고 G_A - G_F 간 비교에는 531명의 자료를 모두 사용하였다. 병원에서 수행되는 임상검사 환경에서의 표준혈당값이 G_V 이고 자가검사 환경에서의 표준혈당값이 G_F 이므로 G_A - G_V 및 G_A - G_F 간에 평균 혈당값을 비교하였다. G_V , G_F

모두 표준혈당값이지만 병원 표준인 G_V 가 가장 표준적인 방법이라 할 수 있으므로 G_F 및 G_A 를 G_V 와 비교하였다. 또한 G_F 가 자가검사 표준값에 해당하므로 G_A 를 G_F 와 비교하였다. 표 2에 보인대로 G_V , G_F , G_A 의 평균값들은 각각 약 102, 90, 100 mg/dL 이었고, 이 평균값들을 paired student's t-test로 상호비교한 결과 $p < 0.001$ 로 모두 유의하였다. 그러나 그 차이는 $G_F - G_V$ 가 -12 mg/dL 이었고 $G_A - G_V$ 는 -2 mg/dL에 불과하여 대략 ± 10 mg/dL 범위의 차이로 볼 수 있었다. G_F 및 G_V 모두 일반적으로 사용되는 공인된 혈당검사법임에도 불구하고 $G_F - G_V$ 간 오차가 $G_A - G_V$ 오차보다 큰 값이었다.

[표 2] 전완(G_A)부위 혈당값과 정맥(G_V) 및 손가락(G_F) 부위 혈당값 간의 비교 결과

Measures	Mean \pm SD	N	Comparison	p value
G_V	102 \pm 27.6	514	N/A	N/A
G_F	90 \pm 25.7	531	G_V	<0.001
G_A	100 \pm 27.1	531	G_F	<0.001

3.3 상관관계 분석

본 연구에 참여한 피검자의 수가 매우 많으며 일부 환자들도 포함되어 있기 때문에 혈당값이 대략 50 ~ 400 mg/dL의 상당히 넓은 범위에 걸쳐 분포하였다. 이 경우 위에 제시한 측정값의 전체적인 평균값 비교나 절대오차의 비교보다는 전체적인 상관관계가 보다 중요할 것이다. 또한 절대오차의 평균값이 대략 10 mg/dL 범위로서 임상적 유의성이 없다고 볼 수 있으므로("5. 고찰"에서 구체적으로 설명), 전체 자료들을 대상으로 상관관계를 분석하였다. $G_A - G_V$ 및 $G_F - G_V$, 그리고 $G_A - G_F$ 간에 선형회귀분석한 결과를 표 3에 제시하였다. G_V 가 가장 표준적인 혈당값이므로 선형회귀분석시 독립변수(independent variable)로 하였다. $G_A - G_F$ 분석에서는 자가검사 표준값인 G_F 를 독립변수로 하였다.

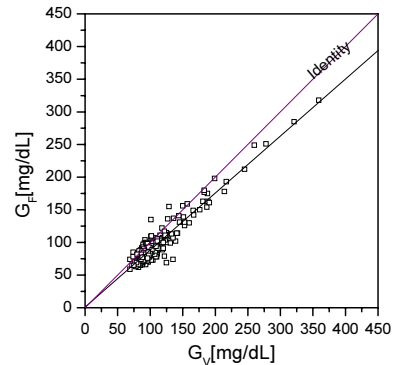
[표 3] 채혈부위별 혈당값들 간의 선형회귀분석 결과

Measures	Regression Equation	Corr. Coeff.	p value
$G_A - G_V$	$G_A = 0.898G_V + 8.006$	0.92	$p < 0.001$
$G_A - G_F$	$G_A = 0.994G_F + 10.227$	0.94	$p < 0.001$
$G_F - G_V$	$G_F = 0.874G_V + 0.840$	0.94	$p < 0.001$

주1) G_A , G_V , G_F 는 각각 전완, 정맥, 손가락 채혈 혈당검사값이다.

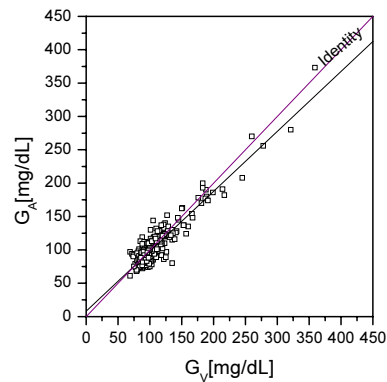
주2) Corr. Coeff.는 상관계수(correlation coefficient)를 나타낸다.

표 3에서 자가검사 표준값 G_F 와 병원임상 표준값 G_V 간에는 상관계수가 약 0.94로 유의하였다($p < 0.001$). 두 값 모두 공인된 표준기법이지만 기울기가 0.874로 G_F 가 G_V 보다 약 13% 작게 산출되었고 절편은 0.840으로 무시할 수 있는 수준이었다(그림 1 참조).



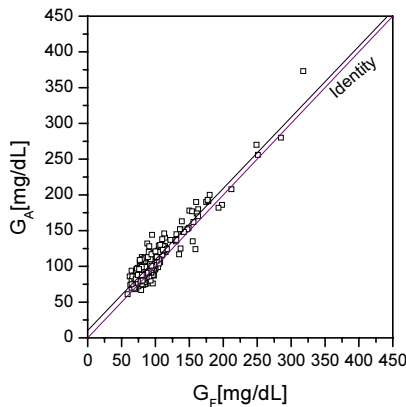
[그림 1] 손가락(G_F)과 정맥(G_V) 혈당값 간의 상관관계

전완부위 혈당값 G_A 를 가장 표준적인 정맥혈당값 G_V 와 비교한 결과, 상관계수가 0.92로 유의하였으며($p < 0.001$), 기울기는 0.898로 1보다 약간 작았으나 절편이 약 8.006으로 전체적으로 측정값이 identity line에 상당히 근접해 보였다(그림 2 참조).



[그림 2] 전완부위(G_A)와 정맥(G_V) 혈당값 간의 상관관계

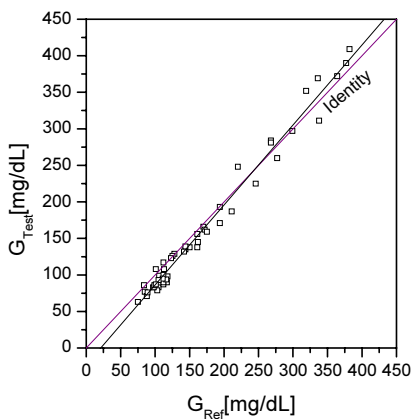
전완부위 혈당값 G_A 를 자가검사 표준인 손가락 혈당값 G_F 와 비교했을 때에는 상관계수가 약 0.94로 측정값들이 전체적으로 identity line을 부근으로 분포하였다($p < 0.001$). 정량적 관계를 살펴보면 기울기는 0.994로 거의 1에 가까웠으나 절편이 10.227로 G_A 가 G_F 보다 10 정도 크게 산출되었다(그림 3 참조).



[그림 3] 전완부위(G_A)와 손가락(G_F) 혈당값 간의 상관관계

3.4 측정기기간 상관관계

52명의 추가실험 대상자들로부터 채취한 정맥혈액 각각에 대해 개인용 자가혈당측정기(G_{Test})와 병원 자동화학분석기(G_{Ref})를 이용하여 동시에 혈당값을 측정된 결과를 그림 4에 보였다. (G_{Ref} , G_{Test}) 측정값들이 전체적으로 identity line에 근접하게 분포하였다. 상관계수가 거의 1에 가까운 0.99의 값을 보인 바, 거의 이상적인 상관관계를 나타내었다($p < 0.001$). 회귀직선식이 $G_{Test} = 1.09G_{Ref} - 23.1$ 로써 기울기가 1 보다 약간 컸으나 절편이 음의 값을 보여, 전체적으로는 identity line을 부근으로 측정값들이 분포하였다.



[그림 4] 측정기기간 혈당값의 상관관계

4. 고찰

대부분의 당뇨병자들은 전통적으로 손가락에서 채혈하여 자가 혈당검사를 시행한다. 그러나 손가락 채혈의

경우 상당한 통증이 수반되므로 혈당검사를 기피하여 혈당조절에 실패하는 경우도 있다. 채혈통증은 당뇨병관리시 매우 중요한 문제로써 통증을 줄일 수 있는 다양한 방법들 즉, 통증세포가 적은 대체부위에서의 채혈방법[12], 무혈 혈당측정방법[13], 적외선 영역의 흡수 스펙트럼 분석을 이용한 방법[14] 등이 제시되고 있다. 그러나 채혈을 시행하지 않는 기법들은 검사의 정확도와 일관성이 보장되지 않으므로 아직 실용화되지 못하고 있다. 따라서 채혈 통증이 거의 없는 대체부위 채혈기법이 가장 현실적인 해법이다.

본 연구에서 사용한 소형 자가 혈당측정기의 기본 원리는 당의 효소반응 결과로 생성되는 전류를 측정하는 것이다[15]. 혈구가 포함되는 전혈을 시료로 사용하기 때문에, 임상병리학에서 기준이 되는 시료인 혈장보다 부피가 커 검사결과가 10-15% 정도 낮게 나온다[16]. 본 연구 결과에서도 손가락에서 채혈하여 자가 혈당측정기로 검사한 혈당값과 정맥혈액으로 측정된 혈당값 간의 관계를 보면 기울기가 0.87로 약 13% 정도의 차이를 보였다(그림 1 참조). 또한 전완 부위 혈당값도 정맥보다 약 2% 정도 작게 측정되었다(표 2 참조). 그러나 일반적인 혈당 측정오차의 기준은 $\pm 15\%$ 이내이므로[17] 통계적 유의성을 보인다 하더라도 임상적 유의성은 없다고 볼 수 있다.

손가락에서 측정된 모세혈액의 혈당값과 전완 부위에서 측정된 모세혈액의 혈당값을 비교한 결과에서는 상관계수 0.94 및 기울기 0.994로써 매우 선형적이었으나 절편값이 약 10으로 전완 부위에서 채혈한 혈액의 혈당값이 약간 크게 측정되었다(표 3 및 그림 3 참조). Jungheim과 Koschinsky가 공복상태에서 손가락과 전완 부위에서 채혈하여 혈당값을 측정해 비교한 결과, 손가락에서 측정된 혈당값과(140 ± 43.2 mg/dL) 전완 부위에서 측정된 혈당값(130 ± 41.4 mg/dL) 간에는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다[18]. 이러한 결과는 두 채혈 부위에서 측정된 혈당값 간에 유의한 차이를 보이는 본 연구 결과와는 다소 다르지만 측정값들의 표준편차가 40 mg/dL 이상으로 본 연구의 25~27 mg/dL 보다 훨씬 컸기 때문에 통계적 유의성이 나타나지 않았다고 판단된다. 나아가 전완 부위에서 채혈하기 전에 검사부위를 문지르는 과정이 충분치 않아 혈액 순환이 부족했을 가능성도 배제할 수 없다. 이들의 연구와 본 연구 모두 손가락 및 전완 부위 혈당 평균값의 차이는 약 ± 10 mg/dL 정도로서 위에서 언급한 오차 한계 $\pm 15\%$ 의 범위에 있으므로 산술적인 통계적 유의성은 임상적으로는 큰 의미가 없다고 할 것이다. 즉, Jungheim과 Koschinsky의 연구결과[18]는 본 연구결과와 내용적으로 동일하다고 볼 수 있다.

Jungheim과 Koschinsky의 또 다른 연구에서는 1형 당

노병을 치료받고 있는 6명의 남자들에게 고혈당 상태에서 인슐린을 투여한 후, 시간 경과에 따라 손가락에서 혈당값을 측정하고, 또 전완 부위 피부를 문지르지 않고 혈당값을 측정함으로써 손가락과 전완 부위에서의 혈당값들을 상호 비교하였다[19]. 손가락 혈당 평균값은 295±16 mg/dL 감소하였고 전완 부위에서는 208±38 mg/dL의 감소를 보여 손가락보다 전완 부위의 혈당값이 유의하게 높은 결과를 보였다. 이러한 결과는 공복상태에서 측정된 전완 부위에서의 혈당값이 손가락보다 약 10 mg/dL 정도 높게 나온 본 연구결과와 일관성이 있다(표 2 참조).

전완 부위에서 측정된 혈당값과 정맥혈액으로 측정된 혈당값을 비교한 결과에서는 기울기가 0.898로 모세혈액 측정값이 정맥혈액 측정값보다 약 10% 정도 작게 측정되었다(표 3 참조). 그러나 절편이 약 8 mg/dL로써 0보다 다소 큰 값을 보여 전체적으로는 측정값들이 identity line에 더 근접해 보였다(그림 2 참조). 절대오차를 살펴보면, 손가락에서 채혈한 혈당값과 정맥혈액에서 채혈한 혈당값 간의 오차 평균값이 -12±9.3 mg/dL이었고 전완 부위의 모세혈액과 정맥혈액의 혈당값 간의 오차 범위는 -2±10.7 mg/dL로 정맥혈액과 비교한 전완 부위 혈당값이 손가락 혈당값보다 오히려 작은 차이를 보여 임상적 유용성이 충분함을 입증할 수 있었다.

마지막으로, 두 혈당 측정기기의 기계적인 오차 범위의 적정성을 평가하기 위해 동일한 정맥혈액으로 검사를 수행하였다. 그림 4에 보인 혈당측정기기 간 비교 결과에서 알 수 있듯이 소형 자가 혈당측정기와 병원 자동화 분석기는 상관계수 0.99의 높은 상관관계를 보여 ($p<0.001$) 거의 이상적인 관계를 나타내었다. 따라서 본 연구에 사용한 자가 혈당측정기의 신뢰도에는 문제가 없었다.

실험에 참여한 피검자들의 일반적 특성을 보면(표 1 참조), 성 비율이 크게 불균형을 이루지 않았고 다수의 비만자들이 포함되어 있었으며 상호 임상적 연관 관계가 있는 당뇨병 및 고혈압 환자들도 일부(약 20%) 포함되어 있었던 바, 본 연구의 목적 달성에 적합한 실험군이었다. 당뇨 및 고혈압 환자들의 수가 다소 작아서 고혈당 값들이 상대적으로 적었으나 측정된 혈당값의 범위가 정상값의 약 4배에 달하는 최대 400 mg/dL까지 넓었던 바, 본 연구 자료의 타당성을 뒷받침한다고 사료된다.

당뇨환자에게 있어 자가 혈당측정은 일상생활에서 혈당 수준의 변동에 대한 정보를 제공함으로써 스스로의 즉각적인 교정활동이 가능하게 한다. 혈당 조절을 위한 일상생활의 교정이 충실하게 이루어지면, 당뇨병 환자도 자신의 혈당값을 정상 또는 정상에 가까운 수준으로 유지할 수 있게 된다. 당뇨환자의 경우 하루 최소 3회 내지

4회 정도의 자가 혈당측정을 권고하고 있지만, 채혈통증으로 인해 검사를 기피하는 경향이 있어 통증을 최소화하는 노력이 절실히 필요하다[6]. 이에 본 연구에서는 대표적인 대체부위인 전완 부위에서의 채혈을 통해 통증을 줄일 수 있는 방법을 제시함에 있어, 측정된 혈당값의 정확도를 분석하고자 하였다. 다수의 피검자들을 대상으로 정맥과 손가락, 전완 부위에서 혈당을 측정하여 비교한 결과, 모두 높은 상관관계를 보였다. 전완 부위 혈당검사는 거의 통증이 없으므로 자가 혈당검사의 빈도를 증가시킬 수 있으며, 이는 매일 자가 혈당검사를 수행해야 하는 만성 당뇨환자들이 삶의 질을 유지하면서도 효율적으로 질환관리를 수행할 수 있는 방법을 제공할 것이다.

5. 결론

모세혈액을 이용한 자가 혈당검사는 환자의 혈당값을 쉽고 빠르게 측정할 수 있어 가정이나 병원에서 흔히 쓰이는 검사방법이다. 그러나 검사를 위한 채혈과정이 통증을 동반하는 문제로 인해 검사를 기피하는 원인으로 작용한다. 본 연구에서는 통증을 줄일 수 있는 방법 중 하나인 전완 부위 자가혈당검사를 손가락 채혈 및 정맥 채혈 혈당값과 정량적으로 비교하였다.

손가락 채혈과 전완 부위를 채혈하여 측정된 혈당값 간에는 높은 상관관계가 있었으며($r=0.94$, $p<0.001$), 전완 부위 혈당값과 정맥 혈당값을 비교한 결과에서도 상관계수가 0.92로서 유의한 상관관계를 보였다($p<0.001$). 채혈 부위별 혈당 평균값들은 통계적 유의성은 있었으나 그 차이는 임상적 유의성이 없는 작은 범위에 있었다(≈10 mg/dL). 이같은 결과는 대체부위인 전완 부위에서 혈당값을 측정하는 것이 임상적으로 유용하다는 것을 실험적으로 뒷받침하는 충분한 근거라 할 것이다.

가정에서 주로 사용하고 있는 자가 혈당측정기는 제조사나 기종에 따라 정확도는 다르지만 American Diabetes Association Consensus에서 권장한 15% 이내의 오차율을 기준으로 생산된다[17]. 그러나 혈당의 섬세한 조절이 당뇨 합병증의 감소에 기여할 수 있다는 점이 밝혀지면서 1993년에 열린 American Diabetes Association Consensus에서는 인정오차 범위를 5% 이내로 상향 조정해야 한다는 의견이 제시되었다[20]. 아직 인정오차 범위가 공식적으로 축소되고 있지는 않으나 최대한 정확한 값에 가까운 혈당값을 얻는 노력은 필수적이라 할 수 있다. 본 연구에서는 500명 이상이나 되는 다수의 환자들로부터 동시 측정된 혈당값에 기초하여 전완, 손가락 그리고 정맥 혈당값 간의 정량적인 선형관계식을 산출하였으므로 자

가 혈당측정기의 정확도를 높이는 보정식으로도 사용할 수 있으며, 이는 혈당 측정의 정확도 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] 김영건, 김응진, 신순현, "한국인 당뇨병의 역학적 연구", 대한당뇨병학회, 제3권, 제1호, pp. 34-72, 1976.

[2] National Health Insurance Corporation, "Annual statistics of Health insurance" National Health Insurance Corporation, Korea, 2002.

[3] 대한당뇨병학회, "당뇨병학", 제2판, 고려의학, pp. 303-308, 2006.

[4] J. S. Skyler, "Self-monitoring of blood glucose" Med. Clin. North Am., Vol. 66(4), pp. 1227-1250, 1993.

[5] 박석원, 김대중, 김재용, 김화영, 민경완, 백세현, 박이병, 박정현, 손현식, 안철우, 오지영, 이준영, 정춘희, 최경목, "전국표본조사에 의한 우리나라 당뇨병 관리실태", 제 19차 당뇨병학회 춘계학술대회, pp. 227-228, 2006.

[6] 최자윤, "당뇨환자와 일반인의 혈당검사 방법별 지각된 통증 정도에 대한 비교", 대한간호학회지, 제33권, 제7호, pp. 928-935, 2003.

[7] R. M. Cowett, & L. D'Amico, "Capillary (Heelstick) versus venous blood sampling for the determination of glucose concentration in the neonate", Biol Neonate, Vol. 62, pp. 32-36, 1992.

[8] D. P. Barker, & N. Rutter, "Exposure to invasive procedures in neonatal intensive care unit admissions", Arch Dis Childhood, Vol. 72, pp. 48-49, 1995.

[9] N. McIntosh, L. van Veen, & H. Brameyer, "Alleviation of the pain of heel prick in preterm infants", Arch Dis Childhood, Vol. 70, pp. 177-181, 1994.

[10] D. D. Cunningham, T. P. Henning, E. B. Shain, D. F. Young, T. A. Elstrom, E. J. Taylor, S. M. Schroder, P. M. Gatcomb, & W. V. Tamborlane, "Vacuum-assisted lancing of the forearm: an effective and less painful approach to blood glucose monitoring", Diabetes Techno. Ther, Vol. 2, pp. 541-548, 2000.

[11] 박미숙, 박경순, 김경아, 전명희, 김태임, 이태수, 차은중, "전완부위 최소통증 채혈을 위한 진공 자동 채혈기법", 대한의용생체공학회지, 제25권, 제6호, pp. 557-563, 2004.

[12] A. J. Brenneman, & D. G. Purcell, "Vacuum assisted lancing device" U.S. Patent No. 6,152,942, 2000.

[13] 김동균, 원종화, N. P. Sergey, V. M. Viacheslav, E. C. Evgenii, "밀리미터파를 이용한 무혈 혈당측정에 관한 기초연구", 전자공학회 논문지, 제42권, 제1호, pp. 3-6, 1998.

[14] R. W. Waynant & V. M. Chenault, "Overview of non-invasive fluid glucose measurement using techniques to maintain glucose control in diabetes mellitus", LEOS newsletter, Vol. 12(2), pp. 3-6, 1998.

[15] J. G. Webster(Eds.), "Encyclopedia of medical devices and instrumentation" Vol. 3. Canada: Glucose sensors, John-Wiley & Sons Inc. 1988.

[16] E. K. Paul, S. W. Ruth, & B. N. John, Carbohydrates: In Henry JB editors. "Clinical diagnosis and management by laboratory methods" pp. 214, WB Saunders, 2001.

[17] American Diabetes Association, "Consensus statement on self-monitoring of blood glucose", Diabetes Care, Vol. 10, pp. 95-99, 1987.

[18] K. Jungheim & T. Koschinsky, "Glucose monitoring at the arm: Risky delays of hypoglycemia and hyperglycemia" Diabetes Care, Vol. 25(6), pp. 956-960, 2002.

[19] K. Jungheim & T. Koschinsky, "Risky delays of hypoglycemia detection by Glucose monitoring at the arm", Diabetes Care, Vol. 24(7), pp. 1303-1304, July, 2001.

[20] American Diabetes Association, "Consensus statement on self-monitoring of blood glucose", Diabetes Care, Vol. 17, pp. 81-86, 1994.

박 경 순(Kyung-Soon Park)

[정회원]



- 1990년 2월 : 청주과학대학 간호과
- 2002년 2월 : 대전대학교 간호과 (간호학석사)
- 2005년 2월 : 충북대학교 의용생체공학과(공학석사)
- 2006년 9월 ~ 현재 : 문경대학 간호과 교수

<관심분야>
의료정보, 의료기기, 간호관리

송 연 이(Yeon-Yi Song)

[정회원]



- 1993년 2월 : 청주과학대학 간호과
- 1999년 2월 : 가톨릭대학교(보건학석사)
- 2004년 2월 : 가톨릭대학교(보건학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 문경대학교 간호과 교수

<관심분야>
건강증진, 기본간호

최 성 수(Seong-Su Choi)

[정회원]



- 2005년 2월 : 충북대학교 물리학과 졸업(이학사)
- 2007년 2월 : 충북대학교 의용생체공학과 석사(공학석사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 의용생체공학과 박사과정

<관심분야>
생체계측, 물리센서, 유속센서

박 미 숙(Mi-Sook Park)

[정회원]



- 1988년 2월 : 청주과학대학 간호과(간호학학사)
- 2005년 2월 : 충북대학교 의용생체공학과(공학석사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 의용생체공학과 연구원

<관심분야>
생체계측, 의료정보

김 경 아(Kyung-Ah Kim)

[정회원]



- 1991년 2월 : 충북대학교 물리학과(이학사)
- 1993년 2월 : 충북대학교 물리학과(이학석사)
- 2001년 8월 : 충북대학교 의용생체공학과(공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 의과대학 의공학교실 조교수

<관심분야>
생체계측, 호흡기류센서, 재택의료기

김 경 옥(Kyoung-Oak Kim)

[정회원]



- 1979년 2월 : 서울대학교 의과대학 간호학과(간호학학사)
- 1995년 8월 : 한양대학교 간호대학원 간호학과(간호학석사)
- 2008년 12월 ~ 현재 : 서울아산병원 간호본부장

<관심분야>
간호행정, 중환자 전문 간호, 간호 정보

류 재 덕(Jae-Duck Ryu)

[정회원]



- 1990년 2월 : 가톨릭 대학교 의과대학(의학사)
- 1998년 2월 : 가톨릭 대학교 의과대학(의학석사)
- 2006년 2월 : 가톨릭 대학교 의과대학(의학박사)
- 2001년 ~ 현재 : 청주성모정형회과 원장

<관심분야>
정형외과, 건강증진

차 은 종(Eun-Jong Cha)

[정회원]



- 1980년 2월 : 서울대학교 공과대학 전자공학과(공학사)
- 1987년 2월 : 미국 남가주대학 의공학과(의공학박사)
- 1988년 8월 ~ 현재 : 충북대학교 의과대학 의공학교실 주임교수
- 2000년 12월 ~ 현재 : 씨케이인터내셔널 대표 겸직

<관심분야>

생체계측, 호흡기시스템, 유비쿼터스 헬스케어