



Assessment of the Value of the Umbilical Cord Blood Gas Parameter as Indicator of the Neonatal Condition

Jeong Min Lee, MD,
Hoon Bum Shin, MD,
Young Bae Choi, MD,
Na Mi Lee, MD, PhD,
Dae Yong Yi, MD,
Sin Weon Yun, MD, PhD,
Soo Ahn Chae, MD, PhD,
In Seok Lim, MD, PhD

Department of Pediatrics, Chung-Ang University College of Medicine, Seoul, Korea

Received: 26 July 2017

Revised: 21 September 2017

Accepted: 23 October 2017

Correspondence to

Na Mi Lee, MD, PhD
Department of Pediatrics, Chung-Ang University Hospital, Chung-Ang University College of Medicine, 102 Heukseok-ro, Dongjak-gu, Seoul 06973, Korea

Tel: +82-2-6299-3181

Fax: +82-2-6264-2167

E-mail: piana81@caumc.or.kr

Copyright© 2018 by The Korean Society of Perinatology

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided that the original work is properly cited.

Objective: Umbilical cord blood gas analysis has widely been used to objectively evaluate the medical condition of newborn. Because umbilical cord blood gas analysis enables an immediate assessment of the acid-base balance of the newborn, it is crucial to perform the umbilical cord blood gas analysis before arterial blood gas analysis has been performed. This study was designed to evaluate the umbilical cord pH as an indicator reflecting the general condition of the newborn and to analyze its correlation with Apgar score and newborn arterial blood gas analysis.

Methods: A retrospective study was conducted for 209 neonates born from January 2013 to December 2015 at Chung-Ang University Medical Center. Demographic data such as Apgar score, gestational age, birth weight, umbilical cord blood analysis, newborn arterial blood gas analysis, and need for resuscitation were collected retrospectively.

Results: In neonates with birth weight more than 2,500 g, Pearson correlation coefficient indicated there were statistically significant associations between 1-minute or 5-minute Apgar score and umbilical artery pH ($r=0.35$ and $r=0.33$ with $P<0.05$, respectively). Similar correlations were also noted in those with a gestational age of more than 37 weeks ($r=0.45$ and $r=0.44$ with $P<0.05$, respectively). In addition, the odd ratio of developing neonatal acidosis was much higher with neonates not resuscitated than those resuscitated (9.5 for pH, 19.5 for base excess).

Conclusion: Our study highlights the value of the umbilical artery pH and base excess as indicators of the neonatal condition.

Key Words: Apgar score, Blood gas analysis, Infant, Umbilical cord

서론

아프가 점수는 1952년 Virginia Apgar에 의해 도입된 이후 분만장에서 신생아의 상태를 빠르게 평가할 수 있는 도구로 사용되고 있다.¹ 출생 직후 신생아의 상태를 쉽고 빠르게 평가할 수 있으나, 주관적인 기준에 의존하며 미숙아나 신생아 가사의 경우 신생아의 상태가 아프가 점수와는 맞지 않을 수 있고 추후 신경학적 예후와의 관련성도 불확실한 경우가 많다.² 아프가 점수의 이러한 한계점 때문에 객관적인 지표를 통해 예측할 수 있는 방법으로 제대혈의 산염기 분석을 이용하려는 연구가 진행되었다.³ 현재 American Colleges of Obstetrics and Gynecology에서는 제대혈 가스분석을 모든 고위험 산모에서 시행하도록 권고하고 있고,^{4,5} 우리나라에서도 차츰 중요성이 강조되고 있지만⁶ 제대혈 가스분석을 통한 신생아 상태 예측에 관한 구체적인 연구는 드물다.

최근의 연구들은 비정상적인 제대혈의 pH가 신생아 경련이나 허혈성 저산소뇌병증 발생 예측에 중요한 인자임을 제시하고 있다.⁷⁻¹⁰ 이런 비정상적인 제대혈 pH가 신생아의 상태 평가나 예후 예측에 중요하기 때문에 출생 직후 시행하는 신생아 동맥혈 가스분석 이전에 제대혈 가스분석을 시행하고 이를 통해 빠르게 신생아 산증을 예측하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 제대혈 가스분석의 pH 값을 통하여 신생아의 전반적 상태를 유추할 수 있

는지를 확인하기 위해, 제대동맥과 제대정맥에서 혈액을 채취하여 가스분석을 시행하였고, 이를 출생 직후의 아프가 점수, 신생아의 동맥혈 가스분석과 비교 분석함으로써 제대혈 가스분석의 신생아 상태 예측인자로써의 가치를 평가하였다.

대상 및 방법

1. 대상

2013년 1월 1일부터 2015년 12월 31일까지 중앙대학교병원 신생아중환자실에 입원한 환자 중 산모가 제대혈 가스분석을 시행하였고, 출생 직후 동맥혈 가스분석을 시행받은 환자를 대상으로 하였다. 전체 209명의 대상자 중, 제대동맥과 제대정맥 자료가 둘 다 없거나(n=22), 검체 부족이나 clot 등으로 인하여 정확하지 않은 자료(n=13)를 제외한 174명이 연구대상이 되었다.

2. 방법

분만 직후 제대를 10-20 cm 정도로 양쪽을 모두 결찰하였으며, 산부인과 의료진이 분만실 또는 수술실에서 분만 직후에 제대동맥과 제대정맥에서 각각 혈액을 채취한 후 10분 이내에 가스분석을 시행하였으며, 신생아중환자실로 입실한 모든 환자는 출생 30분 이내에 동맥혈 가스분석을 시행하였다. 검사 장비는 ABL800 FLEX blood gas analyzer (RADIOMETA, Copenhagen, Denmark)를 이용하였다.

3. 자료 수집

아프가 점수, 제태 연령, 출생 체중, 제대혈 가스분석 및 신생아 동맥혈 가스분석 결과(pH, HCO₃⁻, base excess) 및 신생아 소생술 유무에 대해 의무기록의 후향적 분석을 통해 자료를 수집하였다. 신생아 소생술이란 대한심폐소생협회의 2011년 개정된 신생아 소생술 가이드라인에 따라 진행하였고, 산소공급, 양압환기, 기관삽관, 흉부압박 등의 의료진의 적극적인 개입이 있는 것을 모두 포함하였다. 제대정맥혈, 제대동맥혈 및 신생아 동맥혈 모두 pH <7.2를 산증으로 정의하였고 base excess -10 mmol/L 이하를 산증으로 정의하였다.

4. 통계 처리 방법

출생 체중 구간별 제대혈 가스분석의 pH와 아프가 점수 사이의 상관성의 분석에는 Pearson correlation coefficient를, 신생아 소생술 유무에 따른 제대혈 산증시의 신생아 산증 유발 위험도 분석에는 chi-square analysis with Mantel Haenszel method를

이용하였다. 본 연구에서 통계분석은 IBM SPSS Statistics version 20 (IBM Co., Armonk, NY, USA)를 사용하였다. P<0.05를 통계적으로 의미 있는 것으로 간주하였다.

결과

1. Clinical characteristics of the patients

연구대상 환아들의 제태 연령은 34.2±3.3주, 출생 체중은 2,203.3±694.1 g이었으며, 질식분만과 제왕절개의 빈도는 각각 114명(65.5%), 60명(34.5%)이었다. 1분 및 5분 아프가 점수는 각각 7.0±1.6점, 8.4±1.1점이었다(Table 1).

2. Umbilical cord blood gas analysis와 Apgar score 간의 correlation

제대혈 가스분석의 pH, HCO₃⁻, base excess와 아프가 점수 사이의 상관관계가 있는지 알아보았다. 첫 번째는 출생 체중 2,500 g 미만과 2,500 g 이상으로 나누어 비교하였으며(Table 2), 두 번째는 제태 연령 37주 미만과 37주 이상으로 나누어 비교하였다(Table 3). 출생 체중으로 나누어 보았을 때, 2,500 g

Table 1. Clinical Characteristics of the Patients

Characteristic	Value
Gestational age (wks)	34.2±3.3
Birth weight (g)	2,203.3±694.1
Delivery type	
Vaginal delivery	114 (65.5)
Caesarean section	60 (34.5)
Apgar at 1 minute	7.0±1.6
<2,500 g	6.9±1.5
≥2,500 g	7.3±1.7
Apgar at 5 minutes	8.4±1.1
<2,500 g	8.3±1.1
≥2,500 g	8.7±1.2
pH of umbilical artery	7.28±0.77
<2,500 g	7.30±0.06
≥2,500 g	7.26±0.09
pH of umbilical vein	7.32±0.76
<2,500 g	7.33±0.07
≥2,500 g	7.30±0.09
pH of neonatal artery	7.34±0.11
Base excess of neonatal artery	-4.80±3.45

Values are presented as mean±standard deviation or number (%).

Table 2. Correlation between Umbilical Cord Blood Gas Analysis and Apgar Score according to Birth Weight

Birth weight	Apgar score	Umbilical artery			Umbilical vein		
		pH	HCO ₃ ⁻	Base excess	pH	HCO ₃ ⁻	Base excess
<2,500 g (n=118)	1 minute	r=0.02 (P=0.82)	r=0.13 (P=0.13)	r=0.12 (P=0.16)	r=0.05 (P=0.56)	r=0.97 (P=0.29)	r=0.10 (P=0.24)
	5 minutes	r=-0.10 (P=0.25)	r=0.13 (P=0.13)	r=0.08 (P=0.36)	r=-0.8 (P=0.35)	r=0.12 (P=0.18)	r=0.09 (P=0.33)
≥2,500 g (n=56)	1 minutes	r=0.35* (P<0.01)	r=0.27* (P=0.04)	r=0.35* (P<0.01)	r=0.41* (P<0.01)	r=0.08 (P=0.51)	r=0.18 (P=0.17)
	5 minutes	r=0.33* (P=0.01)	r=0.21 (P=0.11)	r=0.29* (P=0.02)	r=0.40* (P<0.01)	r=0.08 (P=0.53)	r=0.18 (P=0.18)

*P<0.05.

Table 3. Correlation between Umbilical Cord Blood Gas Analysis and Apgar Score according to Gestational Age

Birth weight	Apgar score	Umbilical artery			Umbilical vein		
		pH	HCO ₃ ⁻	Base excess	pH	HCO ₃ ⁻	Base excess
<37 weeks (n=131)	1 minute	r=0.01 (P=0.99)	r=0.09 (P=0.27)	r=0.08 (P=0.34)	r=0.02 (P=0.77)	r=0.05 (P=0.55)	r=0.05 (P=0.52)
	5 minutes	r=-0.12 (P=0.14)	r=0.11 (P=0.18)	r=0.05 (P=0.54)	r=-0.10 (P=0.21)	r=0.08 (P=0.34)	r=0.04 (P=0.62)
≥37 weeks (n=43)	1 minute	r=0.45* (P<0.01)	r=0.40* (P<0.01)	r=0.48* (P<0.01)	r=0.52* (P<0.01)	r=0.13 (P=0.37)	r=0.25 (P=0.10)
	5 minutes	r=0.44* (P<0.01)	r=0.27 (P=0.11)	r=0.39* (P<0.01)	r=0.51* (P<0.01)	r=0.12 (P=0.42)	r=0.23 (P=0.12)

*P<0.05.

미만에서는 아프가 점수와 제대혈 가스분석의 어떤 변수와도 통계적으로 유의한 상관성을 보이지 않았으며, 2,500 g 이상에서는 제대정맥의 pH와 1분 아프가 점수($r=0.41, P<0.01$), 5분 아프가 점수($r=0.40, P<0.01$)의 각각 통계적으로 의미 있는 상관성을 보였다. 또한 2,500 g 이상의 그룹에서 제대동맥의 pH ($r=0.35, P<0.01$), HCO₃⁻ ($r=0.27, P=0.04$), base excess ($r=0.35, P<0.01$)와 1분 아프가 점수가 통계적으로 유의한 상관성을 보이며, 5분 아프가 점수와는 제대 동맥의 pH ($r=0.33, P=0.01$), base excess ($r=0.29, P=0.02$)가 통계적으로 의미 있는 상관성을 보였다. 제대 연령으로 나누어 보았을 때, 제대 연령 37주 미만에서는 아프가 점수와 제대혈 가스분석이 통계적으로 유의한 상관성을 보이지 않았으며, 37주 이상에서는 제대정맥의 pH와 1분 아프가 점수($r=0.52, P<0.01$), 5분 아프가 점수($r=0.51, P<0.01$)가 각각 통계적으로 유의한 상관성을 보였다. 37주 이상의 그룹에서 제대동맥의 pH ($r=0.45, P<0.01$), HCO₃⁻ ($r=0.40, P<0.01$), base excess ($r=0.48, P<0.01$)와 1분 아프가 점수와 통계적으로 의미 있는 상관성을 보였으며, 5분 아프가 점수는 제대동맥의 pH ($r=0.44, P<0.01$), base excess ($r=0.39, P<0.01$)와 통계적으로 유의한 상관성을 보였다.

3. Umbilical cord blood gas acidosis 시의 neonatal acidosis 유발 위험도 분석

제대혈 산증 발생 시의 신생아 산증의 유발 위험도를 분석하기 위해 신생아 소생술의 유무에 따라 그룹을 나누어 분석하였다(Table 4). 신생아 소생술을 시행한 경우는 총 51명으로 산소

공급 35명(68.6%), 양압환기 8명(15.7%), 기관삽관 6명(11.8%), 흉부압박 2명(3.9%)으로 나타났다. 신생아 소생술을 시행한 환자 중 37주 이상의 만삭아는 5명으로 전체 만삭아 중 11.6%, 미숙아는 46명으로 전체 미숙아 중 35.1%로 나타났다. 신생아 소생술을 하지 않은 경우에 제대정맥의 pH와 base excess 변수에서 산증이 있는 그룹이 그렇지 않은 그룹에 비해 출생 직후 신생아 산증의 발생 가능성이 각각 9.5배, 19.5배 높았다. 제대동맥에서는 신생아 소생술이 요구되지 않는 경우에 제대동맥의 base excess 변수에서 산증이 있는 그룹이 그렇지 않은 그룹에 비해 신생아 산증의 발생 가능성이 1.33배로 높았으며, pH 변수에서는 4.58배 높게 나왔으나 통계적으로 의미 있는 결과는 아니었다.

고찰

본 연구에서 저자들은 신생아의 상태 예측인자로서 제대혈 가스분석을 통하여 얻은 값들의 가치를 다각적으로 평가하여 보았다. 신생아의 상태 평가지표로 널리 알려져 있는 아프가 점수와 비교를 통하여 제대혈 가스분석을 통한 신생아 상태 예측의 가능성을 확인해 보았고, 그 결과 2,500 g 이상의 출생 체중을 가지거나 제대 연령 37주 이상의 신생아의 제대혈 pH값은 아프가 점수와의 상관성이 높게 나타났다. 출생 체중 2,500 g 미만이거나 37주 미만의 환아들은 아프가 점수와의 상관성이 통계적으로 유의하지 않았는데, 대체로 저체중아나 미숙아들의 경우에는

Table 4. A Study of OR between Umbilical Acidosis and Neonatal Acidosis depending on Neonatal Resuscitation

Umbilical blood Resuscitation	Mean±SD	X ²	P-value	OR (95% CI)
Umbilical artery				
Yes (n=51)				
pH	7.29±0.08	0.13	0.17	0.96 (0.90-1.02)
Base excess	-3.2±3.2	0.09	0.77	0.96 (0.91-1.02)
No (n=123)				
pH	7.28±0.07	1.88	0.718	4.58 (0.43-49.24)
Base excess	-3.0±2.6	30	0.03	1.33 (0.76-2.35)
Umbilical vein				
Yes (n=51)				
pH	7.3±0.08	1.54	0.21	0.98 (0.97-1.01)
Base excess	-4.0±3.4	3.26	0.07	0.94 (0.87-1.01)
No (n=123)				
pH	7.32±0.07	4.6	0.03	9.5 (1.10-112.6)
Base excess	-3.6±3.6	8.84	0.003	19.5 (1.36-278.77)

Abbreviations: OR, odds ratio; SD, standard deviation; CI, confidence interval.

출생 직후 적극적인 신생아 소생술을 시행하면서 5분 아프가 점수가 부여되는 경우가 많으므로 이러한 과정의 개입이 제대혈 pH와 아프가 점수의 상관성을 낮추는 요인이 되지 않았을까 추정해 볼 수 있다. 초극소 저출생 체중아들의 경우 아프가 점수가 낮을수록 생존율이 상승하는 경향을 보였는데,¹¹⁻¹³ 초극소 저출생 체중아는 아프가 점수가 낮을 경우 더욱 적극적인 신생아 소생술이 개입될 개연성이 높은 결과였을 것이라고 추정해 볼 수 있다.

본 연구 결과에서 대체적으로 제대동맥의 pH와 base excess가 아프가 점수와 통계적으로 유의한 상관관계를 보였는데, 이는 다른 연구에서 제대동맥의 pH와 base excess이 태아의 산염기 상태를 정확하게 반영된다는 결과와 연관성이 있다.^{4,14,15}

제대혈은 분만 전 태아의 순환계와 직접적인 연관이 있으며 실제 출생 후 신생아의 상태에 어떠한 영향을 어느 정도 줄 것인지에 관심을 가지고 제대혈 가스분석을 통하여 신생아 산증을 예측할 수 있는지에 관하여 분석을 수행하였다. 그러나 신생아들은 출생 직후 여러 가지 요인에 의하여 저산소증에 빠지게 되는 경우가 많고 산소 요구가 있는 경우 외부에서 산소를 공급하거나 양압환기 등의 신생아 소생술을 통하여 정상 상태로 되돌려 놓은 다음 신생아 동맥혈 가스분석을 수행하는 것이 일반적이므로 출생 직후의 실제적인 상태보다는 신생아 소생술에 의하여 교정된 상태에서 동맥혈 가스분석을 수행하는 경우가 많아서 신생아 동맥혈 가스분석의 결과가 실제 출생 직후의 신생아의 상태를 정확하게 반영하기 어려운 경우가 많다. 따라서, 신생아 소생술이 있었던 경우와 없었던 경우로 나누어서 제대혈 가스분석으로 신생아 산증의 예측 가능성을 분석하여 보았다.

제대혈 pH의 평균치는 미숙아의 경우 7.21-7.29, 만삭아의 경우 7.27-7.28 정도로 알려져 있고 병적인 산증은 pH<7.24로써 정의되어 있다.⁴ 제대혈 산증의 pH cut off value에 대해서는 논쟁이 있긴 하나 병적인 산증의 기준을 제시하고 있는 Kato 등¹⁶의 발표를 기준으로 pH 7.2보다 작은 경우를 제대혈 산증으로 정의하였고 이에 따른 제대혈 산증의 경우에 실제 신생아 산증 발생의 위험률을 계산하여 보았다. 또한 Goodwin 등¹⁷의 발표에 의하면 제대혈의 base excess가 -10 mmol/L보다 작을 때 통상적으로 신생아 사망이나 신경학적 손상과 밀접한 관련이 있는 제대혈 산증이 존재한다고 하였고 이를 기준으로 실제 신생아 산증 발생의 위험률을 계산하였다. 그 결과 대체로 신생아 소생술을 하지 않은 경우에 있어서, 제대혈 산증이 있는 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 신생아 산증의 위험률을 통계적으로 유의하게 더 증가시켰다. 신생아 소생술을 한 경우에 있어서는 통계적으로 유의한 결과가 나오지 않았는데, 이러한 결과는 pH를 기준으로 계산하였을 때보다 -10 mmol/L보다 큰 base excess를 기준으로 하였을 때 더 현저하게 나타났다. 이것은 제대혈 산증의 존재가 실제 신생아 산증을 발생시킬 가능성을 높일 수 있음을 시사하는 결과로 해석할 수 있으며, 이는 Cantu 등¹⁸이 발표한 결과와 일치하였다. 그러나 American College of Obstetricians and Gynecologists' Task Force on Neonatal Encephalopathy에 따르면 태아의 제대동맥 산증이 pH 7.0 미만, base excess -12 mmol/L 이상일 때 신생아 뇌증을 증가시킬 가능성이 높다고 정의하고¹⁹ 있지만 본 연구에서는 실제 이 조건을 만족시키는 표본수가 너무 적어서 통계적 분석이 불가능하였기에 임의로 pH 7.2를 기준으로 설정한 한계가 있다. 그러나 신생아 산증을 예측하는 예측변수로서는 상당히 유용한 가치를 가짐을 본 연구를 통하여 확인할 수 있었고 제대혈 가스분석을 통해 신생아 산증을 예측하는 용도로 사용한다면 신생아의 채혈이 힘든 경우에 이를 대체할 수 있는 지표로 충분히 그 가치를 인정받을 수 있으리라 예상해 본다.

본 연구의 한계점은 분석 대상의 표본수가 적어 통계적인 검정력의 한계가 있었다는 점이다. 본 병원에서 제대동맥과 제대정맥에서 제대혈을 채취하여 제대혈 가스분석을 시행하기 시작한 것은 3년 전부터이고 아직 누적된 데이터의 양이 충분하지 않은 점이 가장 큰 한계라 하겠다. 두 번째로 주요 분석변수가 되었던 pH값이 일종의 상용로그 수치이므로 실제 환아의 산증의 정도를 정량적으로 나타내는 통계처리의 대상 변수로는 다소 한계가 있을 수 있었다는 점이다. 세 번째로 앞서 언급한 바와 같이, 신생아 동맥혈 가스분석의 시점이 출생 직후 어떤 의료적 개입이 없는 상태도 있지만 상당수는 신생아 소생술이 완료된 이후에 시행된 경우가 많아 출생 직후 환아 상태를 정확하게

반영하기에는 다소 한계가 있었다는 점을 들 수 있다. 네 번째로 출생 체중 2,500 g 이상인 환아들 중 모체의 제대혈검사를 시행하였으나 컨디션 또는 기저질환이 신생아중환자실 입실기준에 포함되지 않는 경우는 환아의 동맥혈 채혈이 이뤄지지 않았다. 따라서 본 연구대상이 된 2,500 g 이상의 환아들은 신생아중환자실 입원 컨디션 및 기저질환이 있는 상태로 초기 상태의 영향에 미쳤을 가능성이 있다. 이러한 한계에도 불구하고 본 연구를 통하여 제대혈 가스분석을 통해 신생아 출생 직후의 상태의 예측인자로써의 한계와 효용 가치를 명확히 하였다는 점에서 본 연구의 가치를 찾을 수 있겠다.

References

- 1) APGAR V. A proposal for a new method of evaluation of the newborn infant. *Curr Res Anesth Analg* 1953;32:260-7.
- 2) American Academy of Pediatrics Committee on Fetus and Newborn: use and abuse of the Apgar score. *Pediatrics* 1986;78:1148-9.
- 3) Silverman F, Suidan J, Wasserman J, Antoine C, Young BK. The Apgar score: is it enough? *Obstet Gynecol* 1985;66:331-6.
- 4) ACOG Committee on Obstetric Practice. ACOG Committee opinion No. 348, November 2006: umbilical cord blood gas and acid-base analysis. *Obstet Gynecol* 2006;108:1319-22.
- 5) Thorp JA, Rushing RS. Umbilical cord blood gas analysis. *Obstet Gynecol Clin North Am* 1999;26:695-709.
- 6) Cho DH, Lee MN, Koh MW, Lee TH, Lee SH. Study of pH and gas analysis of umbilical arterial blood and apgar score as indicators of newborn health. *Yeungnam Univ J Med* 1991;8:98-106.
- 7) Ahmadpour-Kacho M, Zahedpasha Y, Hagshenas M, Akbarian Rad Z, Sadat Nasseri B, Bijani A. Short term outcome of neonates born with abnormal umbilical cord arterial blood gases. *Iran J Pediatr* 2015;25:e174.
- 8) Williams KP, Singh A. The correlation of seizures in newborn infants with significant acidosis at birth with umbilical artery cord gas values. *Obstet Gynecol* 2002;100:557-60.
- 9) Murphy DJ, Sellers S, MacKenzie IZ, Yudkin PL, Johnson AM. Case-control study of antenatal and intrapartum risk factors for cerebral palsy in very preterm singleton babies. *Lancet* 1995;346:1449-54.
- 10) Beeby PJ, Elliott EJ, Henderson-Smart DJ, Rieger ID. Predictive value of umbilical artery pH in preterm infants. *Arch Dis Child* 1994;71:F93-6.
- 11) Randolph DA, Nolen TL, Ambalavanan N, Carlo WA, Peralta-Carcelen M, Das A, et al. Outcomes of extremely low birthWeight infants with acidosis at birth. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2014;99:F263-8.
- 12) Gaudier FL, Goldenberg RL, Nelson KG, Peralta-Carcelen M, DuBard MB, Hauth JC. Influence of acid-base status at birth and Apgar scores on survival in 500-1000-g infants. *Obstet Gynecol* 1996;87:175-80.
- 13) Gaudier FL, Goldenberg RL, Nelson KG, Peralta-Carcelen M, Johnson SE, DuBard MB, et al. Acid-base status at birth and subsequent neurosensory impairment in surviving 500 to 1000 gm infants. *Am J Obstet Gynecol* 1994;170:48-53.
- 14) Blechner JN. Maternal-fetal acid-base physiology. *Clin Obstet Gynecol* 1993;36:3-12.
- 15) Malin GL, Morris RK, Khan KS. Strength of association between umbilical cord pH and perinatal and long term outcomes: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 2010;340:c1471.
- 16) Kato EH, Yamada H, Matsumoto Y, Hattori S, Makinoda S, Fujimoto S. Relation between perinatal factors and outcome of very low birth weight infants. *J Perinat Med* 1996;24:677-86.
- 17) Goodwin TM, Belai I, Hernandez P, Durand M, Paul RH. Asphyxial complications in the term newborn with severe umbilical acidemia. *Am J Obstet Gynecol* 1992;167:1506-12.
- 18) Cantu J, Szychowski JM, Li X, Biggio J, Edwards RK, Andrews W, et al. Predicting fetal acidemia using umbilical venous cord gas parameters. *Obstet Gynecol* 2014;124:926-32.
- 19) American Academy of Pediatrics. Neonatal encephalopathy and neurologic outcome, second edition. Report of the American College of Obstetricians and Gynecologists' Task Force on Neonatal Encephalopathy. *Pediatrics* 2014;133:e1482-8.