「한국 시스템다이내믹스 연구」 제11권 제3호(2010.10) : 5-31

시스템다이내믹스를 이용한 저출생체중아의 성장예측모형

A System Dynamics Model for Growth Prediction of Low Birth Weight Infants

이영희*
Yi, Young Hee*

Abstract

The purpose of this study is to develop a system dynamics model for growth prediction of low birth weight infants(LBWIs) based on nutrition. This growth prediction model consists of 9 modules; body weight, height, carbohydrate, protein, lipid, micronutrient, water, activity and energy module. The results of the model simulation match well with the percentiles of weights and heights of the Korean infants, also with the growth records of 55 LBWIs, under 37 weeks of gestational age, whose weights are appropriate for their gestational age. This model can be used to understand the current growth mode of LBWIs, predict the future growth of LBWIs, and be utilized as a tool for controlling the nutrient intake for the optimal growth of LBWIs in actual practice.

Keywords: 저출생체중아, 성장, 시스템다이내믹스, 영양
(low birth weight infant, growth, system dynamics, nutrition)

* 성균관대학교 임상간호대학원 임상부교수(제1저자, youngheeyi@hanmail.net)

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 필요성

지난 수십 년에 걸친 주산기 및 신생아 간호의 상당한 진보로 출생체중 1000g 미만의 신생아(초극소저출생체중아)의 생존율이 증가하고 있고(Hack & Fanaroff, 1993; Usher et al., 1993), 국내의 경우에도 이들의 사망률이 과거에 비해 현저하게 감소한 추세로(배영민, 2003), 이처럼 생존하는 저출생체중아가 증가함에 따라 이제는 그들의 성장에 대한 관심이 요구되고 있다. 저출생체중아의 단기 및 장기 성장 결과에 대한 선행 연구들을 살펴보면 이들은 출생 후 상당기간 동안 성장지연이 지속되며(Ehrenkranz et al., 1999), 이런 신생아기의 성장지연은 최소한 학령기까지의 장기적 성장과 신경학적 발달지연에 영향을 주거나(Hack et al., 1991; Kitchen et al., 1992; Lucas et al., 1998; Ross & Lipper, 1990), 성인기까지도 지속될 가능성이 있는 것(Allen, 1993)으로 나타났다. 이는 성장지연이 있는 신생아는 장기적인 건강문제를 가질 위험이 있음을 의미하며(Embleton et al., 2001), 특히 극소저출생체중아의 경우 이와 같은 성장과정에서의 장애발생률이 높고 집중치료에 지출되는 의료비가 많아 사회경제적 손실의 규모도 상당할 것으로 보인다(한영자 등, 1999).

생리적으로 미숙한 저출생체중아는 본질적으로 준비되지 않은 상태로 자궁 외 환경에 노출된 태아(fetus ex-utero)로, 자궁 내 환경을 벗어나 산소화, 영양, 감각 조절 및 감염에 대한 보호 등이 필요한 부적합한 환경에 놓이게 되며(Als, 1986), 미숙함과 관련된 성장발달 장애의 위험이 크다(Hack et al, 1991). 그러나 이들은 생리적으로 취약하고 미숙한 상태에서의 출생, 장기간의 입원 및 합병증 등으로 일시적으로 정상 궤도에서 벗어날 수 있지만 일단 최소한 적절한 환경에 적응하게 되면 자연적인 자기 복원 기전은 성숙 궤도 특성으로 되돌아가려는 잠재력이 있다(Schoenhofer, 1989). 또한 취약하다는 것(being vulnerable)은 개인의 결과에 긍정적 또는 부정적으로 영향을 주는 환경에 대한 개방성(openness)의 매우 역동적인 과정으로 간호실무에서 해결해야 하는 현상이다(Purdy, 2004). 또한 이들은 모든 환경적 영향요소에 매우 민감하나, 이런 민감성은 간호제공자에게 미숙아들이 처한 부적합한 환경을 그들에게 적절하고 지지적인 환경으로 만드는 유일한 기회를 제공한다(Als, 1986). 따라서 비록 미숙아는 취약하나 더 나은 성장발달을 위한 기회를 가진, 그리고 위험요소의 감소 및 조기 중재를 도모하는 진보된 임상실무 및 연구를 통한 도움이 필요한 존재로 인식되어야 하고, 이런 환경적 요소의 개선을 통해 이들의 성장발달을 돕는 것이 매우 필요하다.

아동의 성장과 발달에 영향을 주는 여러 환경적 요인 중 영양은 저출생체중아의 생존과

최적의 성장을 위해 필수적이다(Embleton et al., 2001). 출생 후의 체중 증가는 영양에 의해 조절되며, 불충분한 영양섭취 시 영아기의 성장이 저하되는데(Weaver, 2006), 미숙한 신생아 중 일부는 입원 중인 생후 2개월 동안 같은 시기에 출생한 만삭아의 성장 속도를 따라 잡는 성장 따라잡기(catch-up growth)를 하나 많은 신생아들은 태내에서의 성장속도보다 덜 성장한 상태에서 병원에서 퇴원하게 된다(Clark, Thomas, et al., 2003). 일반적으로 입원기간 동안 미숙아에게 정상 자궁 내 태아의 성장속도에 근접한 성장을 위해 권장되는 영양을 섭취 시키는 데는 시간이 걸리고 또한 섭취량을 유지시키기 힘들므로(Carlson & Ziegler, 1998), 결국 영양부족이 발생하게 되며, 또한 성장과 유지를 위해 필요한 영양공급에 기초한 현재의 영양지침으로는 이런 영양부족분에 대해 보충을 할 수 없어 만약 이 지침만을 따른다면 출생 후 영양부족과 성장지연은 불가피한 것으로 나타났다(이재연 등, 2001; Embleton et al., 2001).

한편 이와 같이 영아기에 활발한 영양공급을 통해 영양상태를 향상시키면 아동기 때의 이환율과 사망률을 감소시킬 수 있다는 가정 하에 일반적으로 성장 따라잡기에 이르게 하는 영양지원(nutritional rehabilitation)이 매우 중요하다고 주장되고 있는(Weaver, 2006) 반면, 최근 일부 연구들(Baird et al., 2005; Huxley et al., 2000; Monteiro & Victora, 2005)에서는 이런 출생 후 급속한 체중증가는 출생체중보다 비만, 당뇨, 고혈압, 심혈관계 질환 및 골다공증과 같은 만성 성인질환의 가능성을 높이는 주 위험 요소임을 보고하였다. 따라서 저출생체중아에게 적합한 영양에 대해서는 아직 분명히 밝혀지지 않은 상태이므로 영아의 출생체중과 재태연령에 따른 영양공급 결정 시 전 생애를 염두에 두고 향후 영양을 고려해야 한다(Weaver, 2006). 국내의 경우에도 영유아의 영양권장량이 신체조직의 급격한 성장에 필요한 영양 공급 뿐만 아니라 운동량의 증가에 따른 영양공급도 고려하여 작성되었고, 실제로 임상에서 널리 사용되고 있지만 성장기에 따른 영양요구량을 정확히 계산하기가 쉽지 않아 영아의 경우 권장량이 0-4개월, 5-11개월 단위로 크게 구분되었기 때문에 기초적인 데이터로서는 적합하나 모든 개개인에게는 적합하지 않을 수 있다(이상일 등, 2003). 그러므로 항상 성장 모니터링을 통해 성장상태를 평가해가면서 영양공급을 수정해 주는 것이 중요하다.

저출생체중아의 성장을 평가하기 위해서는 이들의 신체 계측치가 정상적인 성장곡선을 따라가고 있는 지를 평가하게 되는데(Ernst et al., 2003), 성장곡선은 정상범위를 기준으로 한 통계학적 평가로 개인의 성장 평가를 위한 가장 중요하고 기본적인 자료이지만 개인마다 적지 않은 차이가 있어 개별적인 평가가 필요하다(이상일 등, 2003). 또한 성장은 한 방향으로의 인과관계가 아닌 양 방향으로 설명될 수 있는 상호관계를 가지고 있고, 시간에 따라 역동적인 변화를 가져오는 행태를 보이며, 비선형적으로 설명되는 부분이 많다. 그러

므로 개인이 고유하게 가지고 있는 성장관련 변수들을 고려하여 개별적인 성장상태를 평가하고 향후 성장을 예측 가능하게 할 수 있는 새로운 방법이 절실히 요구되는 실정으로, 이런 특성을 파악할 수 있는 시스템다이내믹스 방법론은 아동의 성장을 설명하는 새로운 방법이 될 수 있을 것으로 본다.

시스템다이내믹스는 주어진 문제 또는 예상되는 문제를 이와 직접 또는 간접적으로 관련된 변수들로 구성된 시스템으로 정의하고, 변수들 간의 관계를 정량적으로 연구하여 컴퓨터 모형화한 후 일련의 시뮬레이션을 통해 시스템의 동적 특성을 밝혀내어 문제해결에 도움이 되도록 하는 시스템 분석 및 설계 방법론을 말하며(김도훈 등, 1999), 현재 다양한 건강 전문분야(Brown & Chaloupka, 2000; Fett, 2000; Showing & Lih-Lian, 2000; Walker, 2000)에서 이 방법론이 적용되고 있으며, 최근 국내 간호 분야에서도 시스템다이내믹스 방법론에 근거한 연구들(김문실 등, 2006; 이순희, 2003; 최순옥, 2005)이 시도되고 있는 추세이다.

따라서 본 연구는 시스템다이내믹스를 이용하여 저출생체중아의 적정한 성장을 위해 가장 필수적 환경 요인인 영양을 중심으로 저출생체중아의 개별적인 성장곡선을 구현할 수 있는 성장예측모형을 구축하여 저출생체중아의 성장상태 평가 및 성장 중재를 도모하기 위해 활용하고자 한다.

2. 연구 목적

본 연구의 목적은 저출생체중아의 적정 성장을 돕기 위해 성장에 영향을 미치는 영양 요인을 중심으로 저출생체중아의 성장예측모형을 구축하는 것이다. 구체적인 연구 목적은 다음과 같다: 첫째, 저출생체중아의 성장과 관련된 영양 요인들의 인과 순환적 피드백 구조를 바탕으로 타당성 있는 성장예측모형을 구축하고, 둘째, 모형의 시뮬레이션을 통해 저출생체중아의 성장에 대한 예측 자료를 제공한다.

3. 용어 정의

1) 저출생체중아

출생체중 2500g 미만인 신생아를 말하며(WHO, 1977), 본 연구에서는 재태기간 37주 미만, 출생체중 1500-2499g으로 태어난 신생아로 재태기간에 대한 출생체중이 10-90백분위 사이인 재태기간별 적정 체중아(appropriate for gestational age)로 제한하였다.

2) 성장

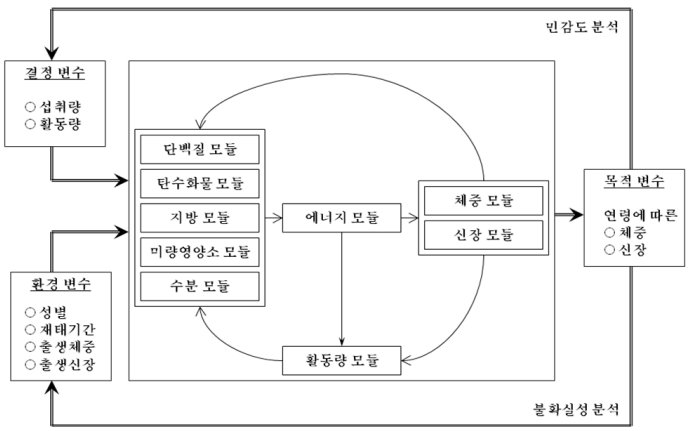
세포가 분할되고 새로운 단백질을 합성함에 따른 수와 크기의 증가이며, 그 결과로 전체 혹은 일부분의 무게가 증가하는 것을 말하며(Wong, 1997), 본 연구에서는 체중 및 신장의 증가를 의미한다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 연구설계

본 연구는 영양 요인을 중심으로 저출생체중아의 성장과 이 요인 간의 인과관계를 근거로 성장예측모형을 구축하기 위해 시스템다이내믹스 방법론을 이용한 시스템 분석연구이다.

저출생체중아의 성장을 위해 영양 측면에서는 적절한 수분, 에너지, 단백질, 지방, 탄수화물 및 미량영양소 등의 공급이 필요함과(이상일 등, 2003), 저출생체중과 미숙한 재태연령이 성장에 영향을 주는 가장 중요한 영양 관련 요소임(Clark, Wagner, et al., 2003)을 고려하여 그림 1과 같이 모형의 개념적 틀을 구성하였다. [그림 1]에서 보이는 바와 같이 연구가 관심을 두는 저출생체중아의 연령에 따른 체중 및 신장을 목적변수로 설정하였고, 연구자가 결정할 수는 없으나 상황에 따라 달라지는 저출생체중아의 성별, 재태기간, 출생체중, 그리고 출생신장과 같은 외생변수를 환경변수로 정하였으며, 연구자가 결정해야 할 변수인 섭취량과 활동량을 결정변수로 정하였다.



[그림 1] 모형의 개념적 틀

2. 연구대상

모형 구축을 위한 초기 값은 대한소아과학회(1998)에서 제시한 한국 소아의 체중 및 신장 백분위수 중 생후 1년까지의 값과 한국인 영양권장량을 이용하였다. 모형 검증을 위해서는 재태기간 37주 미만, 출생체중 1500-2499g 사이의 재태기간별 출생체중이 10-90 백분위 사이인 적정체중아(appropriate for gestational age)로 태어나 서울시내 종합병원 신생아 집중치료실에서 입원치료를 받고 퇴원 후 외래진료를 받는 영아 총 55명의 성장자료를 이용하였으며, 출생 전 감염이 있거나, 선천성 기형 및 심한 질환 또는 만성 질환을 앓고 있는 경우는 성장을 지연시키는 요인이 될 수 있으므로 대상에서 제외하였다.

본 연구를 위하여 연구자가 해당 진료과 담당전문의에게 연구의 목적을 설명하고 대상자 선정 및 이들의 의무기록 열람에 대해 승인을 얻은 후 연구를 수행하였다.

3. 연구절차

1) 문제 정의

2006년 3월부터 2006년 9월까지 국내외 문헌 및 각종 통계자료를 고찰하여 저출생체중아의 성장에 영향을 미치는 변수들을 파악하여 이론적 토대를 구축하였다.

2) 인과지도 작성

성장이라는 전체적인 구도와 이러한 시스템을 구성하는 변수들의 인과적인 상호관계를 정리하기 위하여 첫 단계에서 파악된 성장에 영향을 미치는 변수들 간의 인과관계를 분석하여 인과지도를 작성하였다.

3) 모형 구축

인과지도를 기초로 각 변수들간의 관계를 방정식으로 작성하여 시스템다이내믹스 모형을 구축하였다.

4) 모형 검증

일차적인 시뮬레이션 수행을 통해 구축된 모형이 실제상황을 반영하고 있는지에 대한 타당성을 평가하였다. 이를 위해 한국소아의 체중 및 신장 백분위수 중 생후 1년까지의 값과 2006년 9월부터 10월까지 대상자 선정기준에 부합된 대상자 55명의 의무기록 검토를

통해 수집된 자료를 이용하였다.

5) 시나리오 분석

영양섭취량에 대한 시나리오를 구성하여 시뮬레이션을 한 후 시나리오 분석을 하였다.

4. 자료 분석

본 연구는 Vensim 5.0b DSS을 사용하여 모형을 구축하고 분석하였다. 연구대상자의 일반적 특성은 서술통계를 이용하여 실수, 백분율 및 평균으로 나타내었고, 모형의 타당도 검증은 R2값과 Vensim 5.0b DSS 프로그램의 민감도 분석을 이용하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 대상자의 특성

모형의 검증을 위한 대상자는 총 55명으로 남아 25명(45.5%), 여아 30명(54.5%)이며, 출생 시 평균 재태기간 33.7주, 출생체중 2004.9g, 출생신장 43.8cm, 출생 시 1분 아프가 점수는 7.4, 5분 아프가 점수는 8.8이었다(표 1).[1)]

〈표 1〉 대상자의 특성

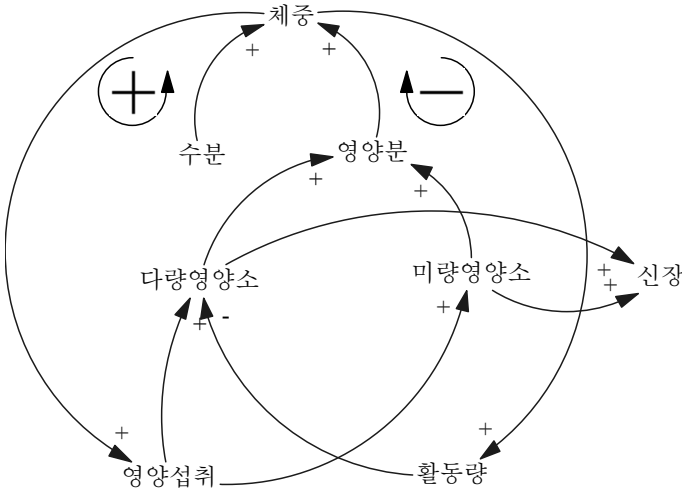
(N=55)

구 분		남아 (N=25)	여아 (N=30)	전체 (N=55)
재태기간(주)		33.1	34.0	33.7
출생체중(g)		1983.1	2023.2	2004.9
출생신장(cm)		43.3	44.2	43.8
아프가 점수	1분	7.7	7.2	7.4
	5분	9.0	8.7	8.8

1) 아프가 점수는 신생아의 건강 상태를 알아보기 위해서 태어나자 마자 시행하는 검사로, 신생아의 피부색, 심박동수, 호흡, 근육의 힘, 자극에 대한 반응 등의 5가지 항목을 검사하며, 각 항목당 2점씩으로 채점하여 10점 만점으로 한다. 10점 만점인 경우가 가장 좋고, 6점 이하인 경우엔 태아의 가사상태를 의미하며 즉시 응급처치가 필요하다. 아프가 점수의 채점은 생후 1분과 5분에 각각 두 번 판정하여 점수를 내며, 1분 아프가 점수는 신생아의 가사 유무를 판단하여 응급처치의 필요성 여부를 판단하는 지표가 되며, 5분 아프가 점수는 신생아의 예후를 판정하는데 좋은 지표가 된다.

2. 저출생체중아의 성장에 관한 인과지도

저출생체중아의 성장에 영향을 미치는 요인을 크게 영양섭취(영양소 섭취량)와 영양소모(활동량)로 구분하여 영양섭취가 영양소모 보다 많으면 성장에 필요한 저장에너지의 양이 많아져 성장이 증진되고, 영양섭취가 소모 보다 적으면 그만큼 성장에 필요한 저장에너지의 양도 적어져 성장이 덜 이루어지게 된다는 개념을 바탕으로 인과지도를 작성하였다(그림 2). 그림에서 보듯이 각각의 변수들은 피드백 구조를 이루며 지속적으로 상호작용을 하게 되는데, 영양분 섭취량이 증가하면 탄수화물, 단백질, 지방 등과 같이 에너지 공급을 위한 다량영양소(macronutrients)와 무기질 및 비타민과 같은 미량영양소(micronutrients)가 체내에 증가하게 되고 따라서 전체 영양분이 증가하게 되어 체중이 증가하게 되므로 확산(+)의 형태를 나타내고, 반대로 활동량이 증가하면 다량영양소의 사용이 증가되고 결국 전체 영양분이 감소하게 되어 체중이 감소하게 되므로 수렴(−)의 형태를 나타낸다.



[그림 2] 성장에 관한 인과지도

3. 성장 예측에 관한 시스템다이내믹스 모형

성장은 개인차가 있을 것이나 모형의 기본 시나리오는 정상 영아 또는 저출생체중아의 영양 권장량(탄수화물, 단백질, 지방)을 섭취하여 체중 및 신장이 정상 범위의 성장을 하도록 하는 것이다. 전체 모형은 인과지도의 작성을 통해 파악된 시스템의 구조를 더 자세하고 이해하기 쉽게 보여주고, 모형의 구축을 용이하게 하기 위해 9개 부분으로 나누어 흐름

도를 작성하여 각각 다음과 같이 명명된 9개의 모듈—체중, 신장, 탄수화물, 단백질, 지방, 미량영양소, 수분, 활동량, 에너지 모듈—로 구성되어 있다(부록 1).

우선 체중 및 신장 모듈은 체중과 신장을 정의하는 모듈로 출력 변수들로 이루어져 있다. 체중은 신체를 구성하는 물질의 합으로 나타낼 수 있는데, 모형에서는 이런 물질들을 수분, 탄수화물, 단백질, 지방 및 미량영양소로 구분하였다. 체중은 탄수화물, 단백질 및 지방이 내는 에너지에 의한 부분과 그 외 대부분은 수분으로 구성된다. 또한 출생직후 생리적 체중감소가 있음을 고려한 출생체중에 대한 모듈을 구성하였다. 신장은 반드시 체중과 직선 관계는 아니며, 성장과정에서 일어나는 뼈의 미네랄화를 위해 필요한 칼슘의 양과도 밀접한 관계가 있으므로 단백질과 미량영양소의 함수로 표시하였고, 출생시의 체중과 신장 및 성별이 반영되도록 하였다. 성장을 위해 필요한 에너지는 주로 탄수화물, 단백질 및 지방 섭취에 의해 공급되며, 이런 영양분들은 체내에서 대사작용을 거쳐 신체 조직을 구성하고 여러 생리적 역할을 수행한다. 이를 고려하여 탄수화물, 단백질, 지방 및 미량영양소 모듈은 각각 탄수화물, 단백질, 지방, 미량영양소의 대사를 나타내며, 수분 모듈은 신체의 대부분을 구성하는 물질로 신체의 수분 비율과 생리적 체중 회복기간을 반영하였다. 활동량 모듈은 활동량을 계산하는 모듈로서 생후 1년 사이의 행동 발달에 따른 활동량의 증가를 고려하여 총 3개의 모듈로 나누어 설명하였다. 에너지 모듈은 탄수화물, 단백질 및 지방의 소모와 활동량에 의한 에너지 사용을 나타내는 모듈이며, 체내에 섭취된 영양분(탄수화물, 단백질, 지방)의 대사에너지(소화 흡수되는 에너지인 흡수 에너지에서 소변이나 땀 등으로 손실되는 에너지를 제외한 것, 실제로 신체가 이용할 수 있는 에너지를 말함) 값은 탄수화물 4 cal/g, 단백질 4 cal/g, 지방 9 cal/g으로 하였고, 소비에너지는 크게 기초대사량과 활동대사량에 의한 소모로 하였다.

모형에서 사용한 변수들은 다음과 같이 구분하여 표시하였다: L=Look up, 함수로 표기되는 변수, c=constant, 모형에서 일정한 값으로 표기되는 변수, d=decision variable, 영양분 섭취량, 활동량과 같이 값을 변경시킬 수 있는 변수, D= Data, 기존 자료로부터 나온 값으로 표기되는 변수, i=initial value, 함수의 초기 값으로 이용되는 상수로 표기되는 변수, pp=personal parameters, 대상자 개인이 가지고 있는 값으로 표기되는 변수(예, 출생체중, 출생신장 등). 모형에 사용된 상수는 본 연구대상자에 대해 캘리브레이션을 시행하여 도출하였다.

4. 모형의 타당성 검증

본 연구에서는 모형의 논리에 대한 타당성 검증으로 한국 소아 정상 체중 및 신장 백분

위수와 비교하는 방법과 실제 대상자의 성장자료를 이용하여 검증하는 방법을 사용하였다.

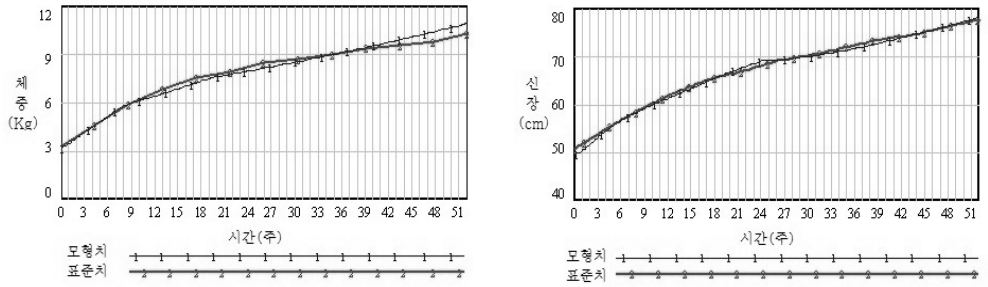
1) 한국 소아 체중 및 신장 백분위수와의 비교

성별에따른표준발육치와모형에서예측한값에대한 R2는 체중의 경우 남아 0.984, 여아 0.996, 신장의 경우 남아 0.997, 여아 0.999로 나타나 모형의 시뮬레이션을 통해 나온 발육치가 표준 발육치와 거의 근사한 것으로 나타났다(표 2).

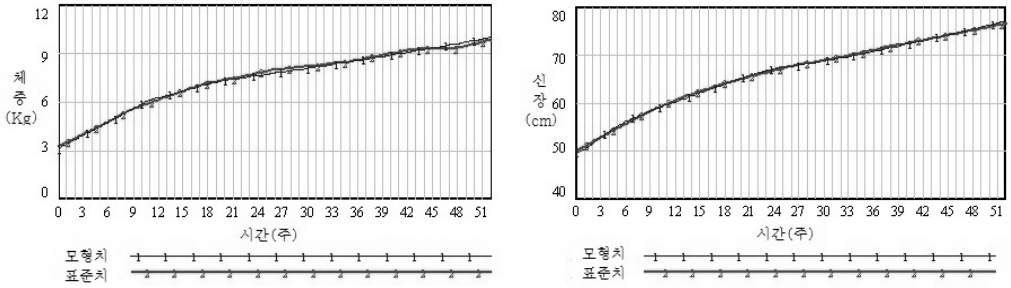
〈표 2〉 한국 소아 체중 및 신장 백분위수와 모형 예측치의 비교

연령(주)	남 아				여 아			
	체중(g)		신장 (cm)		체중(g)		신장(cm)	
	모형치	표준치	모형치	표준치	모형치	표준치	모형치	표준치
0	3450	3360	49.8	50.8	3450	3260	49.8	50.0
4	4466	4491	54.5	54.8	4220	4244	54.1	53.9
8	5818	5690	58.4	58.6	5300	5313	57.7	57.5
12	6412	6584	61.3	61.8	6263	6108	60.3	60.5
16	7024	7317	64.1	64.4	6819	6844	62.7	63.0
20	7604	7764	66.8	66.3	7337	7340	65.2	65.0
24	7964	8212	69.1	68.1	7634	7760	67.2	66.8
28	8331	8588	69.6	69.6	7932	8088	68.2	68.3
32	8714	8808	70.5	70.9	8242	8293	69.4	69.6
36	9114	9112	71.7	72.3	8564	8583	70.8	71.0
40	9533	9440	73.2	73.7	8898	8976	72.3	72.5
44	9971	9624	74.8	74.7	9245	9282	73.8	73.8
48	10430	9819	76.4	76.3	9606	9320	75.5	75.2
52	10909	10279	78.2	77.6	9981	9799	77.2	76.5
(남아) 체중 R2=0.984 신장 R2=0.997					(여아) 체중 R2=0.996 신장 R2=0.999			

또한 성별에 따른 표준체중 곡선 및 신장 곡선은 다음 그림들과 같으며, 구축된 모형의 시뮬레이션 결과(1)와 표준 발육치(2)의 두 곡선이 거의 일치하는 것으로 나타났다(그림 3, 그림 4).



[그림 3] 체중 및 신장에 대한 표준 곡선과 모형 예측 곡선의 비교(남아)



[그림 4] 체중 및 신장에 대한 표준 곡선과 예측 곡선의 비교(여아)

2) 각 대상자의 체중 및 신장치와의 비교

총 55명의 저출생체중아 대상자의 생후 1년간의 체중 및 신장치와 모형에서 예측된 성장치를 비교한 결과는 다음과 같다(표 3). 성별에 따른 대상자의 발육치와 모형에서 예측된 성장치에 대한 R2는 체중의 경우 0.996, 신장의 경우 0.992로, 모형이 실제 대상자의 성장 상태를 잘 반영하는 것으로 나타났다.

〈표 3〉 대상자의 실제 체중 및 신장치와 모형 예측치의 비교

대상자	R2		대상자	R2	
(여아)	체중	신장	(남아)	체중	신장
1	0.996	0.999	1	0.998	0.997
2	0.999	0.999	2	0.992	0.971
3	0.998	0.998	3	0.998	0.998
4	0.996	0.999	4	0.996	0.99
5	0.996	0.984	5	0.988	0.999
6	0.997	0.984	6	0.999	0.993
7	0.993	0.996	7	0.998	0.999
8	0.999	0.992	8	0.996	0.999
9	0.994	0.999	9	0.998	0.995
10	0.994	0.996	10	0.998	0.999
11	0.991	0.995	11	0.998	0.985
12	0.992	0.936	12	0.996	0.983
13	0.992	0.989	13	0.999	0.978
14	0.982	0.989	14	0.991	0.996
15	0.999	0.996	15	0.997	0.996
16	0.997	0.992	16	0.997	0.997
17	0.997	0.957	17	0.994	0.999
18	0.995	0.988	18	0.998	0.999
19	0.993	0.996	19	0.981	0.995
20	0.997	0.998	20	0.996	0.996
21	0.999	0.996	21	0.993	0.996
22	0.996	0.998	22	0.998	0.997
23	0.999	0.992	23	0.999	0.989
24	0.995	0.998	24	0.998	0.993
25	0.992	0.994	25	0.999	0.991
26	0.998	0.991			
27	0.997	0.999			
28	0.996	0.993			
29	0.998	0.994			
30	0.998	0.998			
평균	체중 R2=0.996, 신장 R2=0.992				

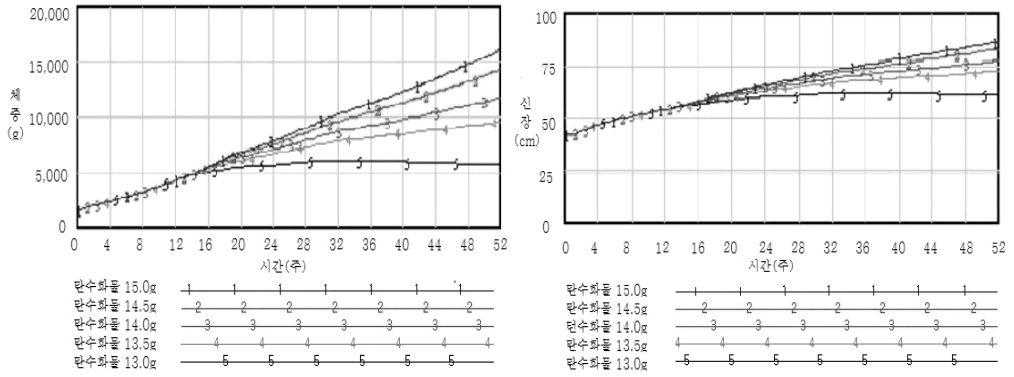
5. 모형의 활용

1) 시나리오 분석

각 영양분이 성장에 미치는 영향을 살펴보고자 각 영양분 섭취량을 변화시킨 여러 경우에 대한 시나리오를 구성하여 시뮬레이션을 시행하였다. 본 연구의 모형은 시뮬레이션 기간을 출생 시부터 생후 1년까지(52주)로 설정하였고, 각각 탄수화물, 단백질, 지방의 일일 섭취량을 변화시켜 이에 따른 체중 및 신장의 변화를 시간의 흐름에 따라 비교하였다. 그래프의 x축은 시간을, y축은 체중 또는 신장의 크기를 나타내었다.

(1) 탄수화물의 섭취량 변화에 따른 체중 및 신장 변화

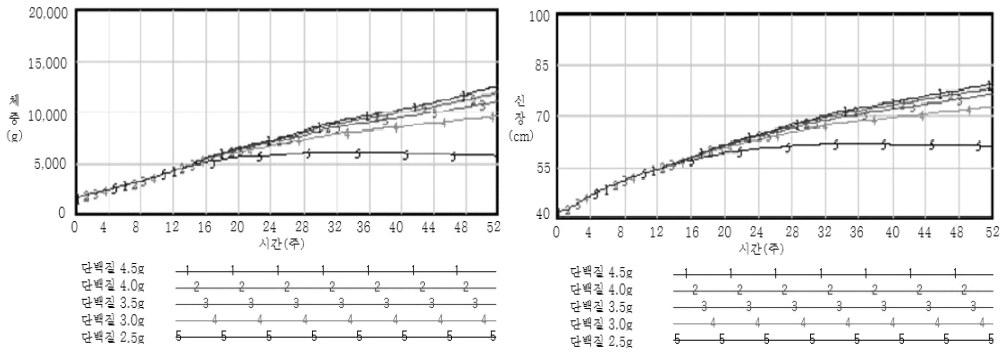
본 연구의 모형은 저출생체중아에게 필요한 일일 탄수화물 섭취량을 13.5g/kg/일로 하였으며, 탄수화물 섭취량의 증감에 따른 체중 및 신장의 변화를 살펴보기 위해 탄수화물의 양을 13g/kg/일에서부터 15g/kg/일까지 증가시켜 본 경우에 대해 시뮬레이션을 시행하였다(그림 5). 그림에서 보면 4번 그래프가 기준 성장곡선이며, 생후 1년에 섭취량 13g/kg/일인 경우 체중 7,000g, 신장 68cm, 섭취량 14g/kg/일인 경우 체중 12,290g, 신장 82cm, 섭취량 14.5g/kg/일의 경우 체중 14,600g, 신장 86.7cm, 섭취량 15g/kg/일인 경우 약 체중 16,300g, 신장 89.7cm로 성장할 것으로 예측되어 기준에 비해 체중 및 신장이 각각 섭취량 13g/kg/일인 경우 약 3300g, 9.7cm 정도 성장이 덜 되고, 섭취량 14g/kg/일의 경우 약 1,990g, 4.3.cm, 섭취량 14.5g/kg/일의 경우 약 4,300g, 9.0cm, 섭취량 15g/kg/일인 경우 약 6,000g, 12cm의 성장증가를 보일 것으로 예측되었다.



[그림 5] 탄화물의 섭취량 변화에 따른 체중 및 신장 변화

(2) 단백질 섭취량 변화에 따른 체중 및 신장 변화

본 연구의 모형은 저출생체중아에게 필요한 일일 단백질 섭취량을 3g/kg/일로 하였으며, 단백질의 양을 2.5g/kg/일에서부터 4.5g/kg/일까지 0.5g씩 증가시켜 각 경우에 대해 시뮬레이션을 시행하여 단백질 섭취량의 증감에 따른 체중 및 신장의 변화를 살펴본 결과는 다음과 같다(그림 6). 4번 그래프가 기준 성장곡선이며, 생후 1년에 섭취량 2.5g/kg/일인 경우 체중 7,000g, 신장 66.7cm, 섭취량 3.5g/kg/일인 경우 체중 11,800g, 신장 81.2cm, 섭취량 4.5g/kg/일의 경우 체중 13,000g, 신장 84.2cm로 성장할 것으로 예측되어 기준에 비해 체중 및 신장이 각각 섭취량 2.5g/kg의 경우 약 3,300g, 신장 11cm의 성장이 덜 되고, 섭취량 3.5g/kg인 경우 약 1,500g, 3.5cm, 섭취량 4.0g/kg인 경우 약2,200g, 5.3cm, 섭취량 4.5g/kg인 경우 2,700g, 6.5cm의 성장증가를 보일 것으로 예측되었다.

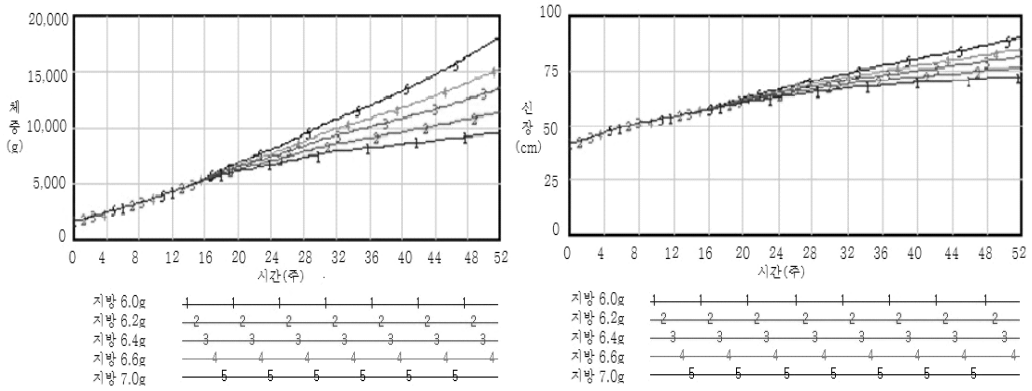


[그림 6] 단백질 섭취량 변화에 따른 체중 및 신장변화

(3) 지방 섭취량 변화에 따른 체중 및 신장 변화

본 연구의 모형은 저출생체중아에게 필요한 일일 지방 섭취량을 6.0g/kg/일로 하였으며, 지방 섭취량의 증감에 따른 체중 및 신장의 변화를 살펴보기 위해 지방의 양을 6.0g/kg/일에서부터 7.0g/kg/일까지 증가시켜 각 경우에 대해 시뮬레이션을 시행하였다(그림 7). 그림에서 보면 1번 그래프가 기준곡선이며, 생후 1년에 섭취량 6.2g/kg/일인 경우 체중 12,000g, 신장 81.4cm, 섭취량 6.4g/kg/일인 경우 체중 13,900g, 신장 85.3cm, 섭취량 6.6g/kg/일의 경우 체중 15.500g, 신장 88.2cm, 섭취량 7.0g/kg/일의 경우 체중 18,100g, 신장 92.7cm로 성장할 것으로 예측되어 기준에 비해 체중 및 신장이 각각 섭취량 6.2g/kg의 경우 약 1,700g, 신장 3.7cm, 섭취량 6.4g/kg인 경우 3,600g, 7.6cm, 섭취량 6.6g/kg인 경우 5,200g, 10.5cm, 섭취량 7.0g/kg인 경우 7,800g, 15cm의 성장증가를 보일 것으로 예측되었다. 지방의 경우 다른 영양분에 비해 적은 일일 섭취량의 증가에도 매우 민감하게 체중 및

신장치의 큰 변화를 나타내었다.



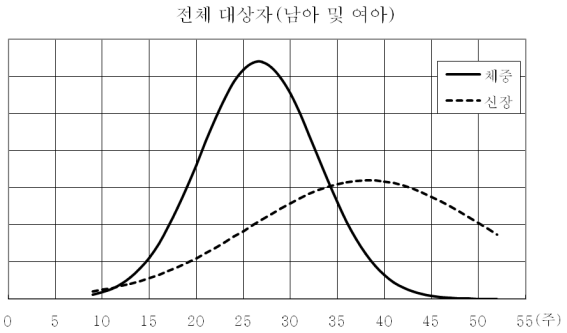
[그림 7] 지방 섭취량 변화에 따른 체중 및 신장 변화

2) 대상자의 성장 따라잡기에 대한 분석

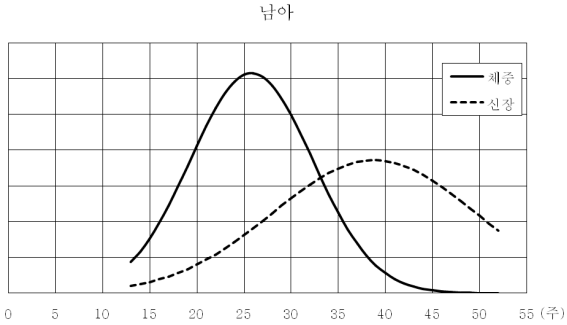
본 모형의 시뮬레이션 결과를 통해 연구대상자들의 성장 따라잡기가 언제 이루어졌는지를 파악하였다. 우선 시뮬레이션을 통해 나타난 대상자의 성장곡선에 가장 근접한 정상 성장곡선을 찾아낸 후 두 곡선을 비교하여 두 곡선이 일치하기 시작하는 시점을 성장 따라잡기를 한 시기로 보고 분석한 결과, 전체 대상자는 체중은 생후 26.6±6.2주(교정연령 20.3±6.2주), 신장은 생후 38.2±12.5주(교정연령 31.9±12.5주)에 성장 따라잡기가 이루어졌으며(그림 8), 남아와 여아를 각각 구분하여 살펴본 결과는 다음과 같다(그림 9, 그림 10).[2)]

남아의 경우 체중은 생후 25.8±6.5주(교정연령 21.3±6.5주), 신장은 생후 38.8±10.7주(교정연령 34.3±10.7주)에, 여아의 경우 체중은 생후 27.3±6.0주(교정연령 23.8±6.0주), 신장은 생후 37.7±13.9주(교정연령 34.2±13.9주)에 각각 성장 따라잡기가 이루어진 것으로 추측되었으며, 남아와 여아 모두에서 체중이 신장보다 빨리 표준 발육치를 따라잡는 것으로 나타났다. 전체 대상자들의 체중은 생후 1년 이내에 모두 성장 따라잡기가 이루어졌으나, 신장의 경우 남아 9명, 여아 13명에서 정상에 도달하지 못한 상태로 남아있어 전체 대상자의 60%만이 성장 따라잡기가 이루어진 것으로 나타났다. 신장의 성장 따라잡기가 이루어진 대상자의 경우 그 시기는 남아는 생후 29.0±6.5주(교정연령 22.7±6.5주), 여아는 26.7±7.2주(교정연령 23.2±7.2주)였다.

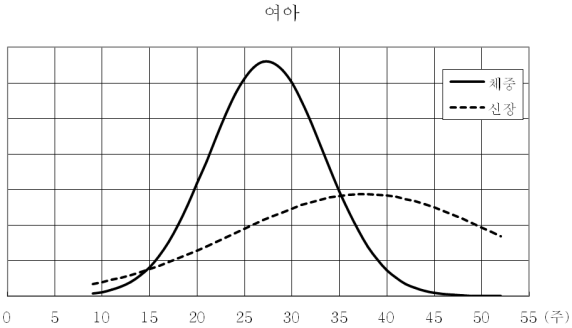
2) 그림의 가로 축은 시간, 즉 대상자의 출생 후 연령을 나타내고, 곡선은 대상자의 분포도를 나타낸다.



[그림 8] 성장 따라잡기(전체 대상자)



[그림 9] 성장 따라잡기(남아)



[그림 10] 성장 따라잡기(여아)

Ⅳ. 논 의

일반적으로 성장 모니터링은 건강증진의 한 요소이며, 이는 건강과 관련된 여러 측면들에 관한 논의 시 초점이 된다(Hall, 1996). 또한 부모에게 정보를 제공하거나 좋은 영양의 가치를 확인시키는 방법으로 사용되기도 한다(Panpanich & Garner, 1999). 아동의 성장 모니터링은 아동의 체중을 정기적으로 측정하고 비정상 여부를 알 수 있도록 성장기록지에 기록하며 만약 성장이 비정상적이면 부모와 함께 중재를 시행하고, 그 결과로 아동의 영양을 향상시키거나 적절한 중재를 제공하거나 또는 의료진이 조기에 질병을 진단하게 하는 일련의 행동으로 구성되어 있다. 따라서 개인마다 지닌 적지 않은 차이를 반영할 수 있도록 개별적인 성장 평가를 가능하게 하고 적절한 중재의 모색을 돕고자 모형을 구축하였고, 그 결과를 토대로 모형의 타당성과 저출생체중아의 성장과 영양 요인 간의 관계를 논의하고자 한다.

1. 저출생체중아의 성장예측모형

모형의 타당성은 기존 통계자료 및 실제 저출생체중아의 성장자료와의 비교를 통해 검증하였다. 한국 소아의 성장 발육치를 이용한 성장예측모형을 시뮬레이션 한 결과 정상 만삭아의 성장곡선에 근접한 성장곡선을 나타내었으며, 실제 대상자의 발육치와 비교한 결과는 모형에서 예측한 체중 및 신장치와 실제 대상자 발육치 간의 상관성이 높은 것으로 나타나 본 연구에서 구축된 모형이 개별 저출생체중아의 성장곡선을 구현할 수 있는 성장예측모형이라고 생각된다.

성장은 전 생애에 걸친 것이지만 그 중에서도 생후 1년간을 제1 폭발성장기라고 부를 정도로 이 시기에 성장률이 크므로 (Marlow & Redding, 1988) 본 성장모형은 생후 1년까지를 단위로 하였으며, 연구결과에서 제시된 바와 같이 기존의 연구와는 달리 여러 경우를 시뮬레이션 해 볼 수 있도록 구축되어 각 영양분의 섭취량을 변화시켰을 때 그에 따른 체중 및 신장의 변화를 예측할 수 있다. 그리고 시뮬레이션을 통해 성장 따라잡기 상태와 그 시기를 추측할 수 있다. 이런 결과들은 개별 대상자의 실제 성장자료를 직접 적용하거나 또는 여러 가지 시나리오에 따라 시뮬레이션을 하여 성장상태를 시각적으로 확인할 수 있다는 점에서 의료진 또는 아동의 부모에게 도움을 줄 수 있을 것이라 생각된다. 또한 성장하고 있는 영아에게 공급된 영양을 분석해서 영양필요량을 산정하는 것이 가장 합리적인 방법일 것이나(이상일 등, 2003), 장기간에 걸쳐 성장상태의 변화를 측정하여 비교하여야 하는 어려움이 있기 때문에 시스템다이내믹스를 이용한 성장모형은 영아의 영양섭취량 자

료를 적용해 시뮬레이션 함으로써 성장패턴을 직접 확인하고 예측할 수 있어 빠른 진단 및 중재 모색에도 기여할 수 있을 것이다.

그러나 저출생체중아의 경우에 탄수화물, 단백질, 지방 및 기타 영양분 섭취 시 이들 영양분의 소화흡수가 얼마나 이루어지며, 또한 흡수된 각각의 영양분이 어떤 비율로 체중 및 신장 증가에 기여하는 지에 대한 실제 정보가 부족하여 모형에서는 탄수화물, 지방, 단백질 순으로 영양분이 에너지로 이용되도록 하였고, 성장에 영향을 미치는 여러 요인 중 가장 중요한 영양관련 요인만을 변수로 하여 모형을 구축하였기 때문에 모형에 의해 저출생체중아의 성장을 충분히 설명하기에는 제한이 있다. 또한 본 모형 검증 시 실제 대상자의 체중 및 신장 자료만을 이용하였고 대상자들이 섭취한 영양분에 대한 자료는 부족하여 이용하지 못한 상태이므로 향후 영양섭취량을 고려한 검증과 저출생체중아의 성장과 관련한 다른 변수들을 추가하여 모형의 확대 및 정확성을 높이는 연구가 필요하다.

2. 저출생체중아의 성장

저출생체중아 영양의 목표는 출생 후에도 같은 임신 주수의 태아와 동일한 성장곡선과 신체구성을 유지하는 것이므로 출생 직후부터 적절한 영양을 공급해야 한다(대한소아과학회, 2000). 그러므로 성장을 위해서는 탄수화물, 단백질 및 지방과 같은 에너지 영양분이 필요하며, 각 영양분에 대한 필요량이 제시되어 이를 기준으로 저출생체중아의 영양관리가 이루어지고 있으나 실제로 기준목표에 도달한 성장을 한 경우는 거의 드문 상황이다. 따라서 적정한 성장을 위한 영양필요량을 확인하기 위해서 각 영양분이 실제로 체중 및 신장의 변화에 어떻게 영향을 미치는가를 살펴보는 것은 매우 의미 있다.

본 연구에서는 성장모형을 이용한 시뮬레이션을 통해 탄수화물, 단백질 및 지방 섭취량의 변화에 따른 체중 및 신장의 변화를 관찰하였다. 우선 단백질 및 지방의 양은 그대로 두고 탄수화물의 일일 섭취량을 다양하게 변화시킨 결과, 일일 섭취량의 증가에 따라 체중 및 신장이 증가하여 생후 1년 경 체중은 약 2~6kg, 신장은 4.3~12cm의 성장차이를 보일 것으로 나타났다. 탄수화물 필요량인 13-14g/kg/일에서는 체중 및 신장이 표준범위에 있으나 이보다 증가시킨 경우에는 체중 및 신장이 표준치를 넘는 것으로 나타났다. 즉, 탄수화물 15g/kg/일을 1년간 섭취 시키면 기준 필요량을 섭취 시킨 경우 보다 생후 1년에 체중은 약 6kg, 신장은 약 12cm가 더 증가하여 정상범위를 벗어나 비만이 될 가능성이 있음을 보여준다. 탄수화물 필요량은 일차적 에너지원으로 총열량의 40-60%를 담당하고 하루에 12-14g/kg/일을 섭취하면 케톤체 및 기타 대사성 장애를 예방할 수 있으므로(대한신생아학회, 2004), 시뮬레이션 결과를 통해 현재 권장되는 탄수화물 필요량이 적정함을 확인할 수

있다. 그리고 탄수화물의 경우 단백질 섭취량의 증가 시 발생되는 대사 부작용의 염려는 없으나(Godlman et al., 1974), 많은 양을 섭취하는 경우 증가된 삼투효과에 의해 설사, 수유 불내증(feeding intolerance), 고혈당 또는 괴사성 장염 등을 초래할 수 있으므로 섭취량을 증가시켜야 할 경우에는 반드시 이런 가능성에 대한 평가가 함께 이루어져야 할 것이다 (Kuschel & Harding, 2006).

다음으로 단백질의 섭취량을 변화시켜 시뮬레이션을 시행한 결과, 일일 섭취량의 증가에 따라 생후 1년 경 체중은 약 1.5~2.7kg, 신장은 3.5~6.5cm의 성장차이를 보일 것으로 나타났으며, 일일 섭취량 3.0g/kg 이하인 경우 기준에 비해 체중 3300g, 신장 11cm의 성장차이를 보일 것으로 나타났다. 단백질의 일일 섭취량을 증가시킬수록 체중 및 신장의 증가폭은 감소하는 추세를 보였는데 이는 단백질을 2g/kg/일 미만으로 공급하면 신생아의 체중증가는 없고 2-4g/kg/일로 공급할 경우에는 체중과 신장의 성장이 섭취량에 정비례하다가 4g/kg/일 이상에서는 성장속도가 더 이상 증가하지 않는다는 결과(이상일 등, 2003)와 유사하다. 또한 섭취량 3.0g/kg/일에서 3.5g/kg/일로 증가시킨 경우에 가장 큰 성장속도를 보였으나 체중 및 신장이 정상범위에 속해 있고, 3.5g/kg/일 이상에서는 체중 및 신장이 정상범위를 벗어나 3.0-3.5g/kg/일이 적정한 섭취량인 것으로 나타났으며, 이는 현재 권장되고 있는 미숙아의 단백질 필요량과 일치한다. 그러나 안전하게 저출생체중아의 적정한 성장과 발달을 증진시킬 수 있는 정확한 단백질 섭취는 아직 불분명하며(Premji et al., 2006), 또한 출생초기에 단백질 섭취량이 많으면 비만의 위험이 증가하므로(Scaglioni Agostoni et al., 2000), 4.0g/kg/일 이상의 단백질 섭취량 증가는 주의를 요한다.

지방의 경우는 지방 섭취량을 증가시킴에 비례하여 체중 및 신장이 증가하는 것으로 나타났으며, 탄수화물 및 단백질에 비해 적은 섭취량의 증가에도 매우 민감하게 체중 및 신장치의 큰 변화를 나타내었다. 이는 단백질과 탄수화물은 1g 당 4 cal의 열량을 내는데 비해 지방은 1g 당 9 cal의 열량을 내기 때문으로 생각되며 이를 감안하면 다른 영양분과 비슷한 수준의 변화를 나타내는 것으로 보인다. 대한소아과학회(2000)에서 제시한 미숙아의 지방필요량은 5-7g/kg/일이나 본 연구의 시뮬레이션 결과를 통해 지방 섭취량 7.0g/kg/일인 경우 체중 및 신장이 정상범위를 훨씬 벗어나 비만의 가능성이 높음을 알 수 있으며 약 6.2g/kg/일 정도까지가 정상범위를 벗어나지 않는 체중과 신장을 유지하는 지방 섭취량으로 생각된다. 에너지와 영양분을 필요량보다 많이 섭취하는 것은 부족한 것과 마찬가지로 문제가 될 수 있으므로 아동의 모든 연령에서 과다한 에너지와 지방의 섭취는 억제하는 것이 바람직하다.

이상을 종합해보면, 본 연구의 모형을 통해 영양이 성장에 영향을 미치는 요인이며, 현재 제시되고 있는 탄수화물, 단백질 및 지방 필요량이 적정함을 알 수 있다. 또한 비만 또

는 성장결손을 야기 시킬 수 있는 영양분의 양과 그 정도를 추정할 수 있어 성장을 위한 적절한 영양평가 및 중재를 모색하는 데 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 본 모형은 실제 저출생체중아들에게 질병 또는 기타 여러 요인으로 인해 발생하는 영양소모는 고려하지 않아 향후 이런 변수들을 고려한 모형의 확장이 필요하다.

한편, 모형의 시뮬레이션을 통해 실제 대상자들의 성장 따라잡기에 대한 분석을 한 결과, 생후 1년 이내에 전 대상자의 체중은 성장 따라잡기가 이루어졌으나 신장은 60%의 대상자에서만 이루어진 것으로 나타났다. 체중과 신장의 성장 따라잡기가 모두 이루어진 대상자들에서는 체중이 신장에 비해 약 10-13주 정도 빨리 따라잡는 것으로 나타나 전체적으로 체중이 신장에 비해 성장속도가 빠름을 보이고 있으며, 이는 대개의 경우 생후 첫 1년 이내에 성장 따라잡기가 이루어지고(대한신생아학회, 2004), 일반적으로 체중 증가가 신장 증가에 앞서 나타나는(이상일 등, 2003) 것과 일치하는 것이다. 남녀를 구분하여 살펴보면 남아가 여아에 비해 체중의 성장 따라잡기가 빨리 이루어졌으며 신장은 비슷한 시기에 이루어진 것으로 나타나 남아가 여아보다 퇴원 후 성장이 더 빠름을(Brumberg & La Gamma, 2003) 알 수 있다.

여러 선행연구들을 살펴볼 때 저체중출생아의 성장속도에 대한 임상적인 해석은 다른 여러 가지 요인이 작용하므로 쉬운 일이 아니다(이재연 등, 2001). Casey 등(1990)은 생후 첫 1년 동안 저출생체중아들은 교정연령을 적용해도 만삭아 보다 다른 성장패턴을 보인다고 하였다. 퇴원한 미숙아들을 대상으로 교정연령 1세 까지의 성장을 조사한 연구(Cooke et al., 1998)에서 대상자 간의 성장 차이는 주로 퇴원 시와 term 사이의 영양이 증가하여 이루어진 성장으로 인한 차이를 반영하는 것으로 나타나 영양중재의 시기가 매우 중요하고, 빠르게 성장하는 영아들에게 있어서는 성장의 중요 시기가 존재한다는 생각을 지지하였다.[3]또한 미숙아도 만삭아와 같이 성별에 따른 성장속도 및 속성의 차이를 보이는 것으로 보고하면서 이 차이는 동일한 영양섭취를 하였으므로 영양섭취의 차이로는 설명할 수 없다고 하였다(Cooke et al., 1998). 본 연구도 대상자가 섭취한 영양에 대한 자료가 없어 동일한 영양섭취를 했을 것이라는 가정 하에 성장 속도를 파악한 것으로 향후 퇴원 후 영양섭취와 관련한 성장속도에 대한 연구 및 성별에 따른 차이에 대한 연구가 필요하다.

3) 여기서 term(만삭)이란 37-40주 사이의 정상 임신기간의 끝을 말한다. 저출생체중아는 대부분 37주 미만의 미숙아로 태어나 재태연령이 만삭(term)에 도달하기 전에 퇴원하게 되므로 두 시점 간의 차이가 발생할 수 있다.

Ⅴ. 결론 및 제언

본 연구는 저출생체중아의 적정한 성장을 돕기 위하여 시스템다이내믹스 방법을 이용하여 성장에 영향을 주는 환경적 요인 중 생존뿐만 아니라 최적의 성장을 위해 필수적인 영양 요인을 중심으로 저출생체중아의 성장예측모형을 구축하고, 구축된 모형의 시뮬레이션을 통해 저출생체중아의 성장에 대한 예측자료를 제공하고자 시행하였다.

본 연구를 통해 총 9개의 모듈—체중, 신장, 탄수화물, 단백질, 지방, 미량영양소, 수분, 활동, 에너지 모듈—로 기술한 성장예측모형이 구축되었으며, 대상자의 실제 성장자료를 이용하여 모형을 검증한 결과, 예측모형에서의 체중 및 신장치와 실제 대상자의 체중 및 신장치 간의 상관성이 높은 것으로 나타났다. 그리고 각 영양분 섭취량을 변화시킨 시나리오를 구성하여 모형을 시뮬레이션 한 결과, 현재 제시되고 있는 탄수화물, 단백질 및 지방 필요량이 적정함을 알 수 있었으며, 비만 또는 성장결손을 야기 시킬 수 있는 영양분의 양과 그 정도를 추정할 수 있었고, 대상자의 성장 따라잡기에 대한 분석이 가능하였다. 그러므로 본 연구는 개별 저출생체중아의 생후 1년까지 성장을 예측할 수 있는 타당성 있는 모형을 구축하여 저출생체중아의 현 성장형태를 파악하거나 앞으로의 성장 예측이 가능하고, 영양 요인들을 조절하여 이들의 최적의 성장을 도모하는데 활용할 수 있는 간호실무자료를 제시하였다는 점에서 의의가 있으며, 나아가 영양 관련 환경적 요인과 저출생체중아의 성장을 설명할 수 있는 중범위이론 개발의 기초자료로서 아동간호 지식개발에 기여할 수 있을 것이다.

본 연구의 결과를 토대로 임상에서의 활용을 통해 대상자의 실제 영양섭취량을 반영한 재검증 연구 및 저출생체중아의 성장에 영향을 주는 영양 요인 이외의 환경적 요인과 생물학적 요인 등의 변수들을 추가하여 모형의 확대 및 정확성을 높이는 연구가 필요함을 제언하는 바이다.

【참고문헌】

김도훈·문태환·김동환. (1999).『시스템다이내믹스』. 서울: 대영문화사.

김문실·성영희·권경자·김도형·김정아·신덕신·유인자·유재국·이현숙. (2006). "시스템다이내믹스를 이용한 간호단위별 간호인력 산정에 관한 연구".『임상간호연구』, 11(2), 103-119.

대한소아과학회. (1998). "한국 소아 및 청소년 신체발육 표준치". 대한소아과학회.

_____. (2000). "영유아 영양". 대한소아과학회.

_____. (2004). "신생아집중치료 지침" 제1판. 대한신생아학회.

배영민. (2003). "지난 40년간 한국에서 저출생체중아, 극소저출생체중아의 사망률의 변천". 경희대학교 석사학위 논문.

이상일·최혜미 외 25명. (2003).『영유아 영양』. 서울: 교문사.

이순희. (2003). "시스템다이내믹스를 이용한 비만인의 에너지 균형 모형 개발". 중앙대학교 박사학위 논문.

이재연·노서영·김승란·노환성·김애란·김기수. (2001). "신생아 집중치료를 받았던 극소 저출생체중아의 입원 중 영양 및 성장에 대한 연구".『병원의사회지』, 18(2), 237-245.

최순옥. (2005). "시스템다이내믹스를 이용한 신규간호사의 조직사회화과정 모형 개발".『대한간호학회지』, 35(2), 323-335.

한영자·서황·신손문·이승욱·도세록·장세원. (1999). "저출생 체중아 발생현황 및 정책 과제".『한국보건사회연구원 정책보고서』, 99-100.

Allen, L. (1993). "The nutrition CRSP: What is marginal malnutrition, and does it affect human function?". *Nutrition Review*, 51(9), 255-267.

Als, H. (1986). "A synactive model of neonatal behavioral organization: framework for the assessment and support of neurobehavioral development of premature infants and their parents in the environment of the NICU". *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, 6, 3-53.

Baird, J., Fisher, D., & Lucas, P., Kleijnen, J., Robers, H., & Law, C. (2005). "Being big or growing fast: systematic review of size and growth in infancy and later obesity". BMJ, 331, 929-931.

Brown, R., & Chaloupka, F. (2000). "Dynamic simulation of smoking control environment in the USA 1990-2010". System Dynamics International Conference.

Brumberg, H., & La Gamma, E. (2003). "New perspectives on nutrition enhance outcomes for premature infants". *Pediatric Annuals*, 32(9), 617-631.

Casey, P., Kraemer, H., Bernbaum, J., Tyson, J., Sells, J., & Yogman, M. (1990). "Growth patterns of low birth weight preterm infants: A longitudinal analysis of a large, varied sample". *Journal of Pediatrics*, 117, 298-307.

Charlson, S., & Ziegler, E. (1998). "Nutrition intakes and growth of very low birth weight infants". *Journal of Perinatology*, 18(4), 252-258.

Clark, R., Thomas, P., & Peabody, J. (2003). "Extrauterine growth restriction remains a serious problem in prematurely born neonates". *Pediatrics*, 111(5), 986-990.

Clark, R., Wagner, C., Merritt, R., Bloom, B., Neu, J., & Young, T. (2003). "Nutrition in the neonatal intensive care unit: How do we reduce the incidence of extrauterine growth restriction?". *Journal of Perinatology*, 23, 337-344.

Cooke, R., Griffin, I., McCormick, K., Wells, J., Smith, J., & Robinson, S. (1998). "Feeding preterm infants after hospital discharge: effect of dietary manipulation on nutrient intake and growth". *Pediatric Research*, 43(3), 355-360.

Ehrenkranz, R., Younes, N., Lemons, J., Fanaroff, A., Donovan, E., & Wright, L. (1999). "Longitudinal growth of hospitalized very low birth weight infants". *Pediatrics*, 104, 280-289.

Embleton, N., Pang, N., & Cooke, R. (2001). "Postnatal malnutrition and growth retardation: An inevitable consequence of current recommendation in preterm infants?". *Pediatrics*, 107(2), 270-308.

Ernst, K., Radmacher, P., Rafail, S., & Adamkin, D. (2003). "Postnatal malnutrition of extremely low birth weight infants with catch-up growth postdischarge". *Journal of Perinatology*, 23, 477-482.

Fett, M. (2000). "Developing simulation dynamic models of breast cancer screening". System Dynamics International Conference.

Goldman, H., Goldman, J., Kaufman, I., & Liebman, O. (1974). "Late effects of early dietary protein intake on low-birth-weight infants". *Journal of Pediatrics*, 85, 764-769.

Hack, M., Breslau, N., Weissman, B., Aram, D., Klein, N., & Borawski, E. (1991). "Effect of very low birth weight and subnormal head size on cognitive abilities at school age". *New England Journal of Medicine*, 325, 231-237.

Hack, M. & Fanaroff, A. (1993). "Outcomes of children of extremely low birth-weight and

gestational age in the 1990's". *Early Human Development*, 53, 193-218.

Hall, D. (1996). "Health for all children". *Report of The third joint working party on child health surveillance* (3rd ed.), Oxford: Oxford University Press.

Huxley, R., Shiell, A., & Law, C. (2000). "The role of size at birth and postnatal catch-up growth in determining systolic blood pressure: a systematic review of the literature". *Journal of Hypertension*, 18, 815-831.

Kitchen, W., Doyle, L., Ford, G., & Callanan, C. (1992). "Very low birth weight and growth to age 8 years: weight and height". *American Journal of Diseases of Children*, 146, 40-45.

Kuschel, C., & Harding, J. (2006). "Protein supplementation of human milk for promoting growth in preterm infants". *The Cochrane Database of Systematic Reviews,* Issue 2, Art. No.: CD 000343.

Lucas, A., Morley, R., & Cole, T. (1998). "Randomized trial of early diet in preterm babies and later intelligence quotient". *British Medical Journal*, 317, 1481-1487.

Marlow, D., & Redding, B. (1988). *Pediatric Nursing* (6th ed.), Philadelphia: Saunders.

Monteiro, P., & Victora, C. (2005). "Rapid growth in infancy and childhood and obesity in later life-a systematic review". *Obesity Research*, 6, 143-154.

Panpanich, R., & Garner, P. (1999). "Growth monitoring in children. The Cochrane Database of Systematic Reviews". Issue 4, Art. No.: CD 001443.

Premii, S., Fenton, T., & Sauve, R. (2006). "Higher versus lower protein intake in formula-fed low birth weight infants". *The Cochrane Database of Systematic Reviews,* Issue 1, Art. No.: CD 003959.

Purdy, I. (2004). "Vulnerable: A concept analysis". *Nursing Forum*, 39(4), 25-33.

Ross, G., & Lipper, E. (1990). "Growth achievement in low-birth-weight premature children at school age". *Journal of Pediatrics*, 117, 307-312.

Scaglioni. S., Agostoni, C., Notaris, R., Radaelli, G., Radice, N., & Valenti, M. (2000). "Early macronutrient intake and overweight at five years of age". *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders*, 24, 777-781.

Schoenhofer, S. (1989). "Affectional touch in critical care nursing: A descriptive study". *Heart and Lung*, 18(2), 146-154.

Showing, H., & Lih-Lian, H. (2000). "A system dynamics approach to the hospital nurse turnover problem in Taiwan". System Dynamics International Conference.

Usher, R., Willis, D., McLean, F., & Conrod, H. (1993). "Changes in neonatal outcome over 30 years". *Pediatric Research*, 33, 240A.

Walker, L. (2000). "System dynamics and action research in aged care". System Dynamics International Conference.

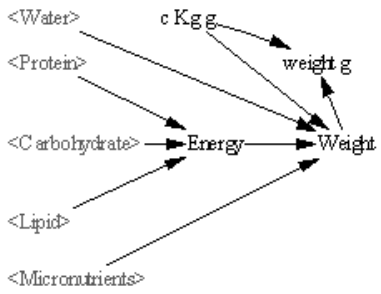
Weaver, L. (2006). "Rapid growth in infancy: balancing the interests of the child". *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 43(4), 428–432.

Wong, D. (1997). *Whaley & Wong's essential of pediatric nursing* (5th ed.), St. Louis: Mosby.

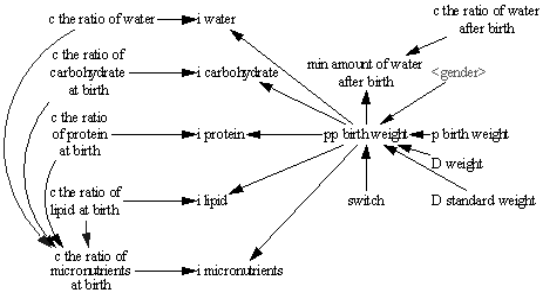
World Health Organization. (1977). *Manual of the International statistical classification of disease, injuries and causes of death, 9th revision,* Geneva: World Health Organization.

논문접수일: 2010. 8. 20 / 심사완료일: 2010. 10. 14

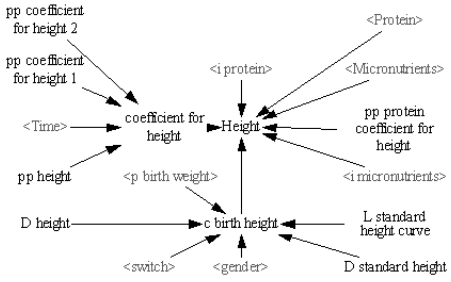
(부록) 저출생체중아의 성장예측모형



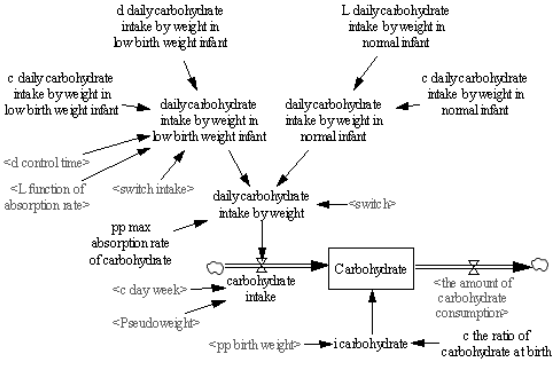
체중 모듈 I



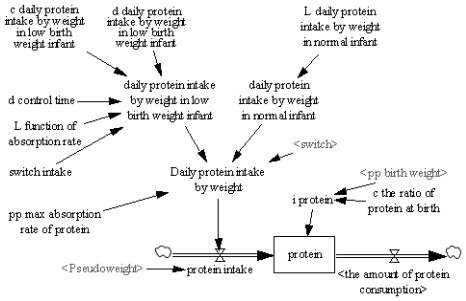
체중 모듈 II



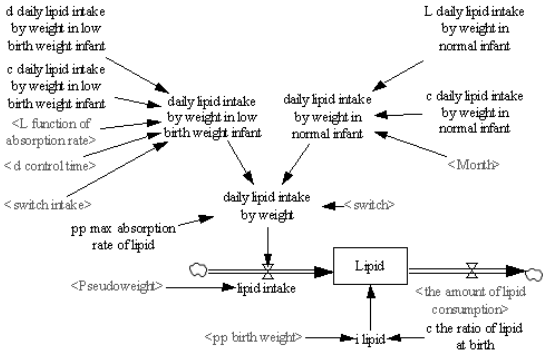
신장 모듈



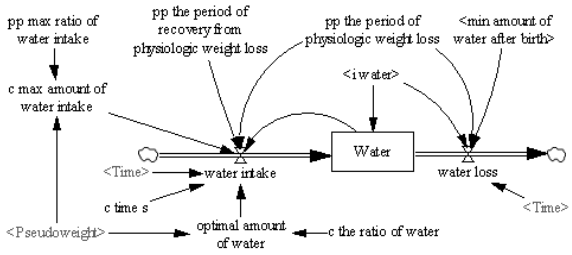
탄수화물 모듈



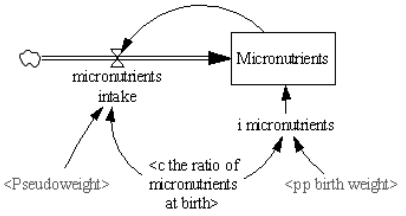
단백질 모듈



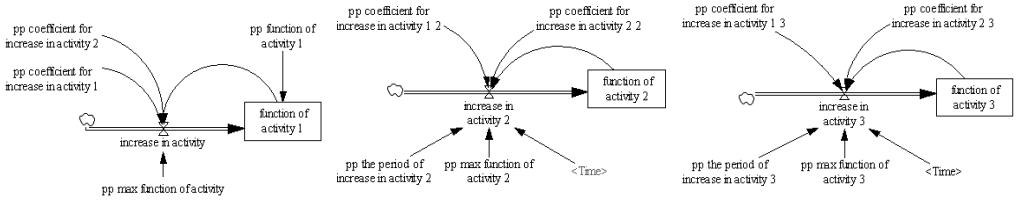
지방 모듈



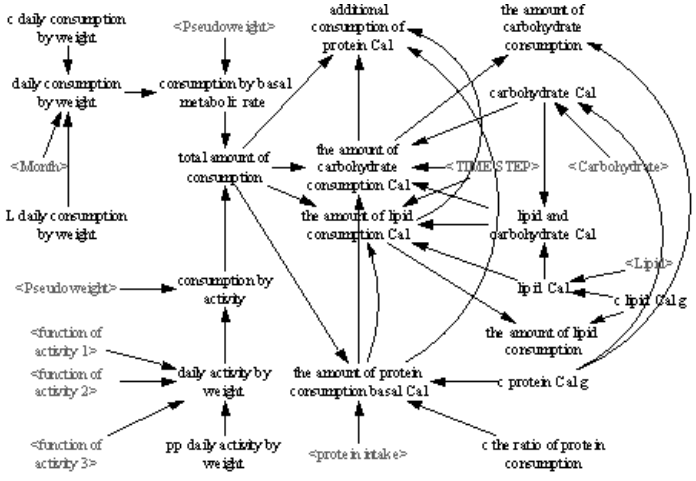
수분 모듈



미량영양소 모듈



활동량 모듈 I, II, III



에너지 모듈