

## 영양과 두뇌 발달

연세대학교 가정대학 식생활과

이 양 자

=Abstract=

### Nutrition and Brain Development

Yang Cha Lee (Kim)

*Department of Food & Nutrition, College of Home Economics, Yonsei University*

The mature human brain contains over 10 billion nerve cells (neurons), whose functions are directly related to the acquisition, transfer, processing, analysis, and utilization of all the information. There are also billions of glial cells, which serve primarily to support and to maintain the integrity of the neuron network and to synthesize an essential fatty structure, myelin. In the human brain DNA content therefore cell number rises rapidly until birth and then more slowly until 5~6 months of age, when it reaches a maximum. While glial cells may be replaced, the more important nerve cell neurons can never be replaced once they are formed. Humans are born with their full complement of neurons and every neuron is as old as each individual. Thus prenatal malnutrition can seriously affect a person's entire life by severely inhibiting the production of neurons before birth.

It has been demonstrated that in humans severe malnutrition during the fetal period and in infancy is associated with intellectual impairment. Severely malnourished children have brains smaller than average size and have been found to have 15~20% fewer brain cells than well-nourished children.

There is growing body of literature pointing to malnutrition as a cause of abnormal behavior as evidence that suggests these abnormalities may produce chromosomal damage that may persist forever. Although cognitive development in children is affected by multiple environmental factors, nutrition certainly deserves more attention than it has received.

#### I. 서 론

한 生命體가 成長發育(growth and development) 과정을 거쳐 하나의 원만한 어린이(whole-child)로 발전 되기까지는 주위의 모든 환경과 動的(dynamic)인 상호관계를 계속 맺음으로써 가능하게 된다고 할 수 있겠다(Fig. 1). 성장발육과정은 크게 質的(qualitative)인 것과 量的(quantitative)인 것으로 나눌 수 있는데 이들의 성질은 판이하게 다른 것이나 서로 떨어질 수 없는 밀접한 관계를 갖고 있는 것이다. 質的인 것은 세

포수의 증가(proliferation-hyperplasia)와 기관들의 분화(organogenesis-differentiation)과정을 들 수 있겠고 量的인 것으로는 세포크기의 증가(hypertrophy)하는 과정을 들 수 있겠다. 신체의 각 기관에 따라 質的 量的의 성장발육 과정의 시기는 서로 다르며 특성(time-dependent characteristics)이 있으므로 사람이 어머니 뱃속에서 잉태(conception)되어 성인에 이르기까지 성장 발육되어 성숙(maturation)되는 과정은 매우 중요하게 이 과정에 미치는 모든 환경적 요소 즉 육체적, 심리적, 사회적 및 정신적인 제반 요소들을 그 때그 때의 시기에 맞는 최적 환경으로 마련해 줌이 매우 바람직 하

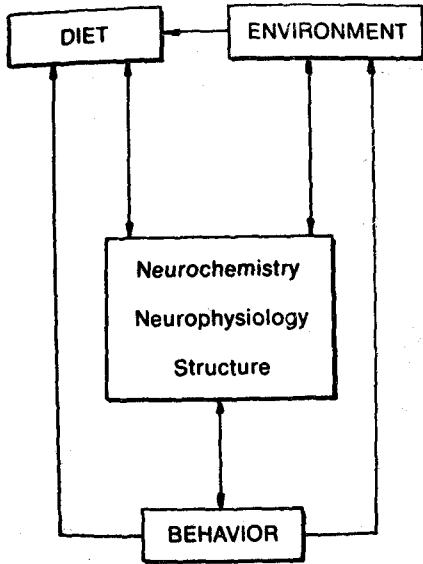


Fig. 1.

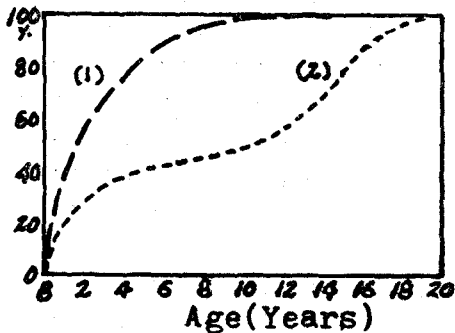


Fig. 2. Growth curves<sup>2</sup>  
 (1): Neural type (Brain and its parts)  
 (2): General type (Body as a whole)

다고 하겠다.

그런데 우리 신체의 제반 작용을 지배 관찰하는 중추신경계(central nervous system)의 성장발육 시기가 우리 몸의 어느 부분보다 가장 먼저 일어난다는 사실은 매우 의미심장한 뜻을 내포하고 있다(Fig. 2).

## II. 두뇌발달과 영양

### 1. 두뇌의 質的量的 성장발육 과정의 특징

成人의 뇌는 외부조건에 비교적 안정하여 기아의 상태에서도 그 무게를 유지하는 "Brain-Sparing" 작용이 있어 20세기 전반까지만 해도 두뇌는 발육과정에 있어서도 안전히 보호되는 것으로 간주되어 왔으나, 그 후 점차 뇌의 성장발육 과정에 수반되는 영양실조는 치명적 영향을 줄 것이라는 假定이 실험적 근거를 뒷받침

하여 지지를 받기 시작하게 되었다.

사람의 경우 conception 후 2주면 태아는 3 layer 의 세포층 즉 ectoderm(피부 및 신경계 구성), mesoderm(근육, 뼈, 결체조직, 심장 및 혈관구성) 및 endoderm(소화 및 호흡기관 구성)으로 분할되고 ectoderm 으로부터 neural tube 가 확실해지며, 이는 3주말이면 forebrain(전뇌), midbrain(중뇌) 및 hindbrain(후뇌)으로 발달하게 된다. 계통발생학적(phylogenetic)으로 본다면 중뇌와 후뇌는 저급동물의 뇌의 대부분을 차지하고 있어 "Old Brain"이라 불리우고, 배우고 행동하며 감정과 지성의 전체적 균형을 유지하도록 통제하는 대뇌를 이루는 전뇌를 "New Brain"이라 부른다. 후자는 사람뇌의 대부분을 차지하고 있으나 그 복잡하고도 세밀한 작용에 대해선 많이 알려져 있지 않은 부분으로, 뇌의 여러 부분중 가장 먼저 완성되는 이 부분의 발육 부진이나 상처를 입음이 정신장애(mental impairment)의 원인으로 지목되고 있다.

사람의 중추신경계에는 100억이상의 nerve cell (neuron)과 이들을 보좌하는 glial cell로 되어 있는데 neuron 의 작용은 매우 중요하여 모든 정보를 받아들이고, 옮겨주며, 풀이, 분석, 판단하여, 결정하고 통제하는 제반 작용을 하는 반면, glial cell은 neuron 의 network 를 원활하도록 보호해주며 myelin 이란 지방 구조를 형성하여 neuron 의 일부인 axon 부분을 특히 감싸고 보호하여 주는 역할을 한다. 그런데 이 중요한 뇌세포인 neuron 은 다른 세포들 처럼 再生(regeneration) 될 수 없고 태아기에 이미 세포분열 과정이 끝나기 때문에 우리가 갖고 있는 neuron 의 나이는 실제 우리의 나이와 같다고 할 수 있겠다. 두뇌의 전반적 발달 시기가 태아기와 영아기로 짧은 기간에 국한되어 있으며 neuron 이 한번 형성되면 어떤 상처를 입거나 한번 죽어 없어진 경우 다른 새 세포로 전연 대체 될 수 없다는 치명적 사실 때문에 이 critical 또는 vulnerable 한 시기에 있어서의 영양실조는 뇌세포 수의 감소를 초래하게 되고 불행히도 미비한 상태로 평생을 보내야 하는 불운을 당면하게 되는 것이다. 어떤면으로 보면 태아기 즉 어머니 뱃속에서 신체의 가장 중요한 부분인 뇌의 기본적 구조가 이루어 진다는 사실은, 어른이 직접 어린이를 보호하고 조절할 수 있어 위험을 예방할 수 있다는 사실을 감안할 때 천만다행스런 조물주의 섭리라고 볼 수 있겠다.

### 2. 뇌의 성장발육 과정에 있어서 두개의 증식期

Fig. 3-a 에는 사람뇌에 있어서 세포의 증식期가 두 개로 나누어짐을 나타내 주고 있다. 첫째는 태아기 15

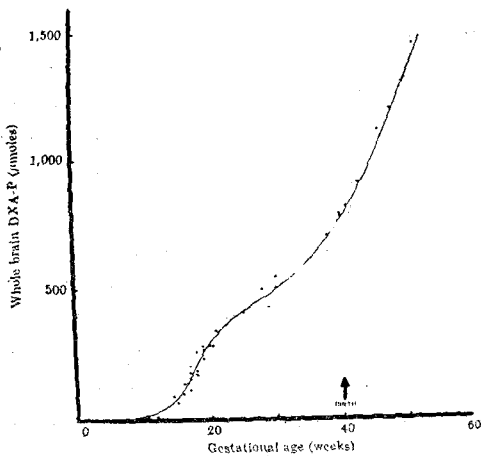


Fig. 3-a. The increase of whole brain DNA in developing human brain.<sup>3</sup>

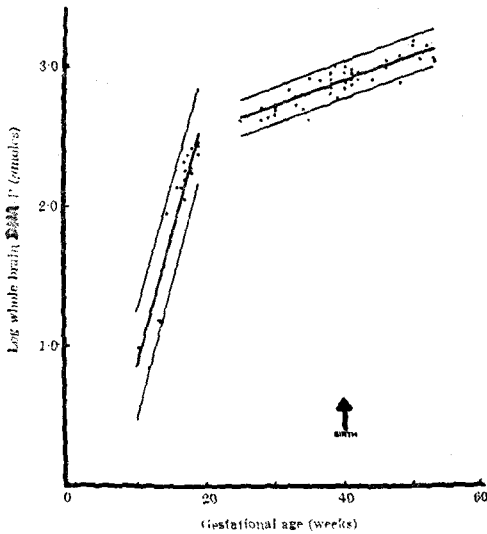


Fig. 3-b. The logarithm of whole brain DNA in developing human brain.<sup>3</sup>

~20주까지이고 둘째기간은 태아기 25주부터 출생후 2년까지이다. 뇌 전체의 DNA 양을 logarithmic scale로 표시하면(Fig. 3-b) 두개의 다른 증식期가 더욱 뚜렷이 나타남을 볼 수 있다.

Fig. 3-a와 3-b의 현상은 전뇌와 후뇌에서 다 볼 수 있는 세포수의 증식 패턴이다. 여기서 출생전의 증식期가 neuron의 세포분열이 완성한, 보다 위험한 시기이고 둘째 시기에는 plial cell의 증식이 일어나며 myelination 및 neuron의 dendrite 부분이 더욱 발달되어 뇌의 전체가 완성되게 된다. 보다 철저하고 균형된 영양소의 섭취를 가능케 해주고 제반 환경적 요소를 최적으로 마련해 주어진 생명체가 타고난 잠재능력(genetic potentiality)을 최대한으로 발휘할 수 있으며 원만한

인격을 쌓아 나가는데 튼튼한 터전을 마련하게 해 주어야 하겠다.

### 3. 동물의 종류(種)에 따른 성장발육 과정

두뇌의 성장발육 과정에는 동물간에 차이가 있어서 (Fig. 4) adult 크기의 비율로 볼때 guinea pig는 출생 전 15~20일경에 최대에 이르게 되고, 쥐는 출생한 이후 10일경에, 개는 출생후 2주경에 최대에 이르게 된다. 사람의 경우 앞에서 지적했듯이 태아기에 가장 중요한 質의 변화가 일어나고 출생 전후에 質的 量的 변

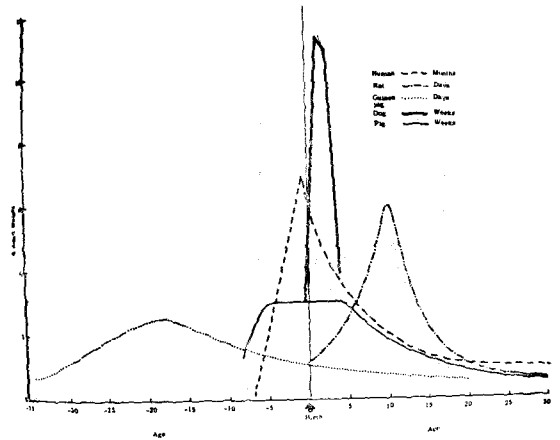


Fig. 4. Rate curves of brain growth (increments in fresh weight) in relation to birth in different species.<sup>4</sup> The time scale has been arbitrarily adjusted proportionally to the average life span of each species.

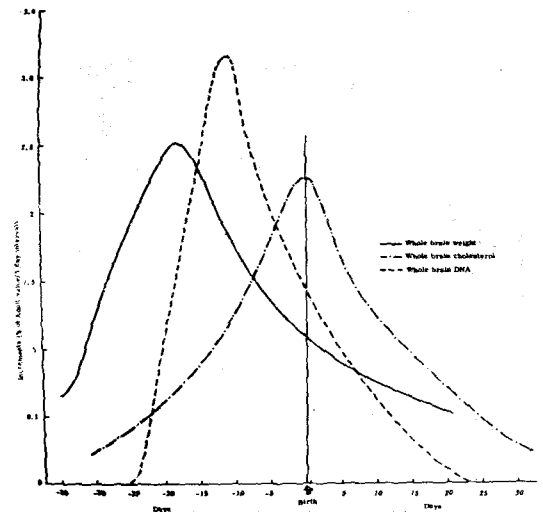


Fig. 5. Normal rate of brain growth in guinea pigs.<sup>4</sup> Increments of fresh weight, DNA-P, and cholesterol are expressed as percentages of the adult value,

화가 함께 일어나 6개월 후면 量的 변화만 일어나서 만 2세가 되면 뇌가 완성 된다. 質的 성장기에 있어서의 영양실조는 영구적 결함을 초래하나, 量的 성장기에 있어서는 차후 영양소의 불충분을 보완해 줌으로써 정상으로 회복될 가능성이 많게 된다.

Fig. 5와 6에는 guinea pig와 쥐의 경우 뇌의 무게와 DNA 및 cholesterol의 변화하는 패턴을 각각 비교하여 놓았다. 동물들 사이에 있어서 뇌의 성장이 가장 빠른 "Growth Spurt"기간이 출생전후로 서로 다를 수 있으며 뇌의 무게나 DNA 및 cholesterol의 증가되는

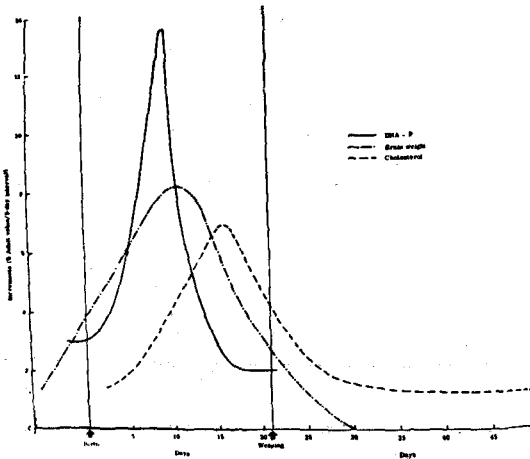


Fig. 6. Normal rate of brain growth in rats.<sup>4</sup> Increments of fresh weight, DNA-P, and cholesterol are expressed as percentages of the adult value.

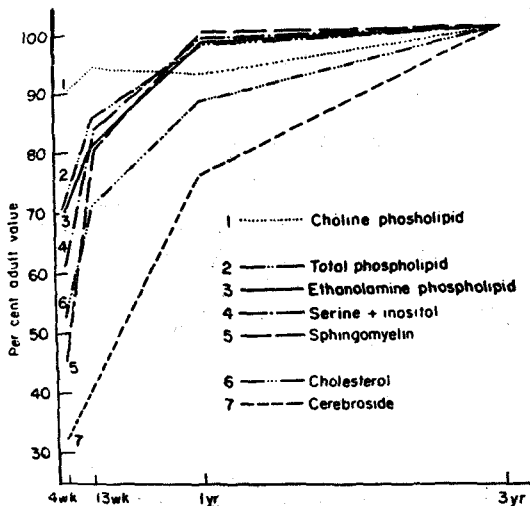


Fig. 7. The increasing concentrations of various groups of lipids in the forebrain of pigs during postnatal development.<sup>4</sup>

순서에 있어서도 차이가 있을 수 있다는 사실을 알 수 있으며, 이는 또한 동물실험 결과를 사람에게 적용하는 데 주의를 요한다는 또 하나의 예라고도 볼 수 있겠다.

Fig에 있어서 태아가 되는 전뇌(forebrain)의 lipid의 합성과정(Fig. 7)을 살펴 보면 대개 3가지 패턴으로 나뉜다. group 1은 choline-phospholipid인 lecithin으로서 출생후 4주에 이미 adult level에 달하게 되어 이 성분의 중요성을 지적해 주며, group II는 lecithin을 제외한 모든 phospholipid들로서 이들은 출생후 1년후에야 adult level에 이르게 된다. group III은 cerebroside와 cholesterol로서 출생후 3년까지 계속 증가하게 된다. 따라서 pig의 전뇌의 lipid 합성에 있어서도 lipid의 종류에 따라 외부조건에 위태롭게 영향받는 시기에 있어서 차이가 남을 알 수 있다. 뇌의 protein이나 lipid는 혈액을 통해 운반되어 오는데 아니라 대부분 뇌 자체에서 합성되므로 모체로부터 이들의 합성을 위한 충분한 영양소 재료가 태반을 통해 공급되어야 한다. 이 모든 생합성 과정과 세포의 증식 과정이 원활히 이루어 지기 위해 충분한 에너지 공급이 항상 이루어져야 함은 물론이다.

#### 4. 성장발육하는 사람뇌의 무게, Protein, RNA 및 DNA의 변화

Fig. 8-a-b에는 성장발육하는 사람뇌에 있어서 여러 생화학적 parameter들의 증가하는 양상을 나타내었다. 누차 지적했듯이 neuron이나 glial cell의 증식의 출생후 6개월 정도면 끝나서 뇌의 DNA 총량이 일정하게 유지되는 반면 뇌의 무게나 protein 및 RNA의 양은 세포의 크기가 증가함에 따라 cytoplasm의 내용물이 증가하게 되므로 계속적인 증가현상을 보여주어 DNA의 양과는 대조적인 패턴을 나타내고 있다.

#### 5. 영양실조의 영향

사람에 있어서 생후 6개월 이전의 심한 영양실조는

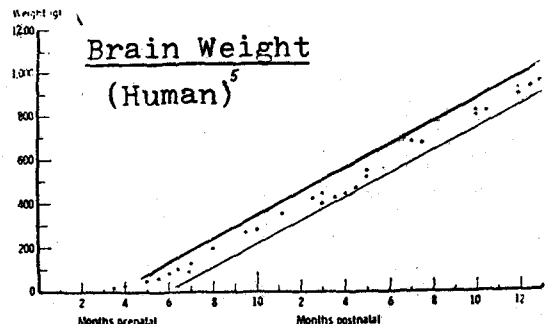


Fig. 8-a.

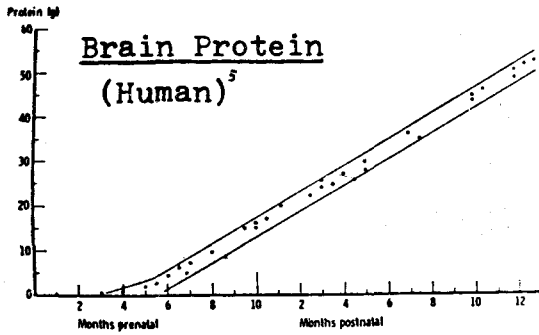


Fig. 8-b.

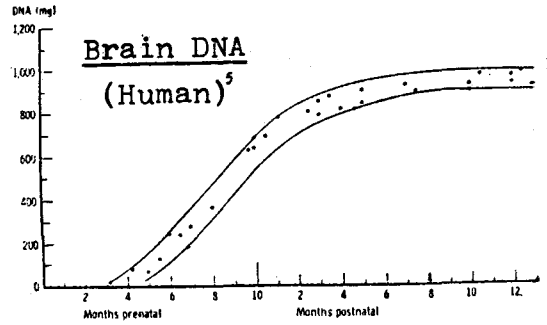


Fig. 8-d.

뇌세포의 수를 감소시켰으며 이때 수반되는 생화학적 결과를 살펴 보면 DNA, RNA, protein, glycosides, lipids, 효소의 활성화도 및 neuron의 axon과 dendrite 사이에서 electrical impulse를 chemical message로 전해 주는 역할을 하는 neurotransmitter들의 감소를 들 수 있다. 쥐와 돼지의 경우에도 뇌의 myelination과정의 감소와 cholesterol, phospholipid 및 gangliosides의 합성이 현저히 감소되었는데 이 현상은 myelination이 완성된 후에 다시 회복 시키려 해도 정상으로 돌아가지 않는 것으로 나타났다. 이렇게 critical period의 영양실조나, 어떤 다른 teratogen들의 영향으로 chromosomal abnormality를 초래할 수 있어서 비가역적인 영구적 영향을 남기게 됨도 잘 알려진 사실이다.

사람의 경우 conception부터 생후 1년 사이에서 사망한 내용을 살펴 보면 95%가 출생 이전에 사망한 것으로 나타나 출생전의 태아가 얼마나 중요하고 위험한 시기인가를 잘 지적해 주고 있다. Fig. 9에는 뇌의 성장발육기에 있어서 정상적 DNA 양의 증가(Fig. 8-d 참조)된 현상과 영양실조된 경우 DNA 양의 감소된 때

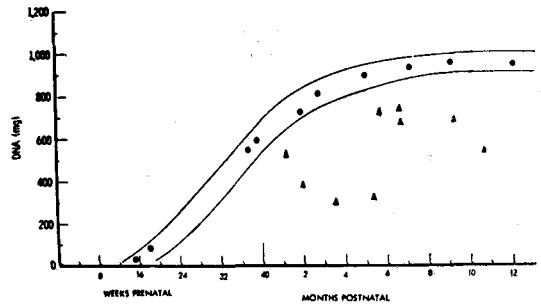


Fig. 9. Decreased DNA content (cell number) in the brains of children who died of malnutrition during the first year of life.<sup>6</sup>

● = Brains of children who died of accidents or poisonings.  
▲ = Brains of children who died of marasmus.

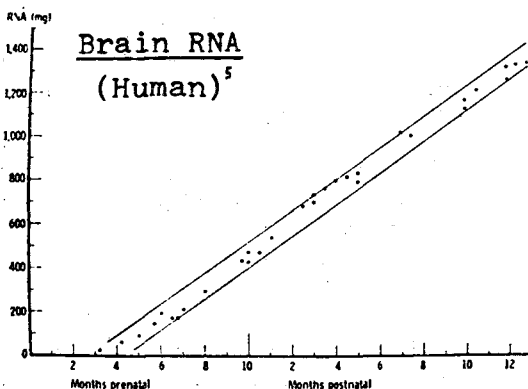


Fig. 8-c.

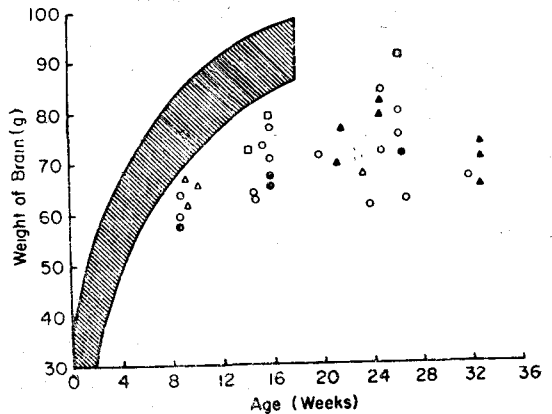


Fig. 10. Brain weight relative to age.<sup>7</sup>  
Shaded area: Normal range.

Dots.: Pigs maintained on low-protein diet (NDPcal %: 2.5-8.3), NDPcal %: Net Dietary-protein Calories per cent.

조직 현상을 나타내었는데, DNA의 감소는 뇌세포수의 감소로, 이는 또한 잠재능력의 미확보를, 이는 결국 불치의 저능아가 될 가능성을 농후히 지적해 주고 있으며, Fig. 10에는 pretein이 결핍된 guinea pig의 경우 뇌의 무게가 정상권내에서 많이 떨어짐을 보여주고 있다.

백나나라씨의 국제회의 석상에서의 연설문을 빌린다면,

「세계 인구 37억중 약 1/3은 하루 두끼만 먹고 저녁은 굶은 채 잠자리에 들고 있다. 이들중 어린이가 약 5억을 차지하고 있다」라고 했다. 아직 발전도상국인 우리나라 전체 인구의 약 40%를 차지하고 있는 어린이 인구의 영양문제의 중요성은 너무나 파소평가 되어지고 있는 형편이다.

### III. 제 언

1. 여기서 우리는, 두뇌의 성장발육 과정에 있어서, 어머니와 영아의 영양결핍 상태가 미치는 영향이 얼마나 클것이나 작을것이나 하는, 정도의 문제를 중심으로 알가알부하며 장구한 시간을 흘려보내는 어리석은 과오를 범하지 말아야 되겠다. i) 사람두뇌의 성장발육 과정에서 가장 위태로운 시기는 태아기로서 이 critical period의 영양실조로 말미암은 악영향은 돌이킬 수 없는 비가역성을 띄고 있으므로 타고난 잠재능력보다 훨씬 미급하게 성장되어 그 보완이 불가능하게 된다는 치명적 사실과 ii) 중요한 뇌세포인 neuron은 再生될 수 없어 비가역성의 영향이 더욱 불가피하게 될 수 밖에 없는 기막힌 사실앞에서, 이에 필요한 근본적이고 필수적인 영양교육을 하루속히 온 국민에게 실천하여, 주어진 자원으로부터 보다 효과적인 균형식의 방안을 제시해야 하는 영양학자들의 양심적 책임은 매우 막중하다 하겠다.

2. 실로 인간의 영양생활은 태아기때부터 시작된다 고 볼 수 있겠으나, 그 훨씬 이전의 어머니와 아버지의 영양상태가 원만한 어린이를 육성하는데 주춧돌이 될 수 있기에, 이러한 의미에서 균형된 영양소의 섭취는 일평생을 계속해서 이뤄져야 한다고 보아야 옳을 것이다. 여러가지 환경적 제요소를 감안한 개개인을 위한 최적의 균형식(personalized balanced diet)의 제시가 시급히 요청된다고 본다. 이에 덧붙여

3. 낮은 가격으로 널리 보급될 수 있는 이유식의 개발을 촉구하며

4. 몸과 마음이 함께 자라나는 학령기 아동들을 위한

학교급식의 효율적 실천을 희망하며

5. 우리 모두가 전세계의 문제인 식량증산의 과업에 몰두해야 되겠다.

6. 눈부신 경제발전 도상에서 약진하고 있는 한국의 현 실정에서, 보다 건전하고 참신한 내일의 국민을 육성하고 모든 질병과 슬픔을 미리 예방할 수 있기 위해, 우선적으로 영양교육을 매스콤등을 통해 전국적으로 실시함으로써, 적은 자본으로 비교할 수 없이 막대한 개인의, 사회의, 나아가서는 국가적 차원에서 큰 수확을 거두게 되고, 이를 통하여 국가발전의 지름길을 달리는 데 머뭇거리지 말아야 하겠다. 동시에 정부 각 부처와 관계전문가들이 혼연일체가 되어 현명한 대과업을 달성하는데 큰적한 일보를 내딛게 되는 날이 하루 속히 오기를 고대하는 바이다.

### 참 고 문 헌

- 1) Present knowledge of the relationship of nutrition to brain development and behavior *Nutr. Rev.*, 31:242-246, 1973.
- 2) Breckenridge, M.E., and E.L. Vincent.: *Child Development-Physical and Psychologic Growth / Through Adolescence-4th ed.*, W.B. Saunders Co., 1964.
- 3) Dobbing, J., and J. Sands, *Timing of neoblast multiplication in developing human brain.* *Nature*, 226:639-640, 1970.
- 4) Dobbing, J., *Effects of experimental undernutrition on development of the nervous system. in Malnutrition, Learning, and Behavior.* Scrimshaw, N.S. and J.E. Gordon, Editors, *The M.I.T. Press*, 1967.
- 5) Winick, M.: *Changes in nucleic acid and protein content of the human brain during growth.* *Pediat. Res.*, 2:352-355, 1968.
- 6) Winick, M., *Cellular growth of the fetus and placenta. in: Fetal Growth and Development.* Waisman, H.A. and G. Kerr, Editors. *McGraw-Hill Book Co.*, 1970.
- 7) Stewart, R.J.C., and B.S. Platt.: *Nervous system damage in experimental protein-calorie deficiency. in: Malnutrition, Learning, and Behavior.* Scrimshaw, N.S. and J.E. Gordon, Editors, *The M.I.T. Press*, 1967.

- 8) Bee, H., *The Developing Child*. Harper & Row, Publishers, Inc., 1975.
- 9) Berg, A., *The Nutrition Factor-Its Role in National Development-The Brookings Institution*, 1973.
- 10) Robinson, N.M. and H.B. Robinson. *The Mentally Retarded Child*. 2nd ed., McGraw-Hill Book Co. 1965.
- 11) Chusid, J.G.: *Chapter 1. The Brain*. In: *Correlative Neuroanatomy & Functional Neurology*. 16th ed., Lange Medical Publications, 1973.
- 12) Wurtman, R.J. and J.D. Fernstrom.: *Effects of the diet on brain neurotransmitters*. *Nutr. Rev.*, 32:193-200, 1974.
- 13) Winick, M. and A. Noble, *Cellular response in rats during malnutrition at various ages*. *J. Nutrition*, 89:390-306. 1966.
- 14) Shank, R.E., *A chink in our armor*. *Nutrition Today/Summer*, 1970.
- 15) Mora, J.O.: A. Amézquita, L. Castro, N. Christiansen, J. Clement Murphy, L.F. Cobos, H.D. Cremer, S. Dragastin, M.F. Elias, D. Franklin, M.G. Herrera, N. Ortiz, F. Pardo, B. de Paredes, C. Ramos, R. Riley, H. Rodriguez, L. Vuori-Christiansen, M. Wagner and F.J. Stare, *Nutrition, health and social factors related to intellectual performance*. *World Review of Nutrition and Dietetics*, 19:205-236, 1974.
- 16) Dobbing, J., *Food for thinking*. *Nutrition Today*, July/August, 1974.
- 17) Nutrients and Genes.: *Interactions in development*. *Nutr. Rev.*, 27:3-6, 1969.
- 18) Diet and birth defects in humans.: *Nutrition Today*. July/August 1974.
- 19) The relationship of nutrition to brain development and behavior, *Nutrition Today*.: July/August, 1974.
- 20) Fernstrom, J.D., and L.D. Lytle, *Corn malnutrition, brain serotonin and behavior*. *Nutr. Rev.*, 34:257-262, 1976.
- 21) Growth of the human brain.: *Some further insights*. *Nutr. Rev.*, 33:6-7, 1975.
- 22) Waisman, H.A., and G. Kerr.: *Fetal Growth and Development*. McGraw-Hill Book Co., 1970.
- 23) Reese, H.W., and L.P. Lipsitt, *Experimental Child Psychology*. Academic Press, 1970.
- 24) Scrimshaw, N.S. and J.E. Gordon.: *Editors. Malnutrition, Learning, and Behavior*. The M.I.T. Press, 1967.
- 25) 어린이 문제 세미나 보고서, 국가발전과어린이, 한국 행동과학 연구소, 1976.