

두뇌발달의 특수성과 영양

이 양 자

(인세대학교 식품영양학과 교수)

I. 두뇌발달의 특수성

1. 두뇌세포의 종류, SYNAPSE, BLOOD-BRAIN BARRIER 및 신경전달물질 (NEUROTRANSMITTERS)

人間の 腦는 아직까지 알려진 것 중 가장 복잡한 구조를 가진 기관이다. 세포수와 세포크기의 측면에서 성장발달단계를 분류하면 3단계로 나누어지며, 1단계는 세포분열에 의하여 세포수가 증가하는 단계(hyperplasia)이고, 2단계는 세포수와 세포크기가 동시에 증가하는 단계(hyperplasia, hypertrophy)이며, 3단계는 세포크기가 증가하여 조직의 무게가 늘어나는 단계(hypertrophy)이다. 세포의 수가 증가하는 시기의 영양부족이 매우 치명적인 영향을 줄 수 있지만, 세포의 크기와 연결망 등이 완성되는 단계도 두뇌발달측면에서는 매우 중요하다. 뇌조직은 두 가지의 특수한 세포집단으로 구성되며 이들은 主뇌세포(neuron 또는 nerve cells)와 보조뇌세포(glial cells, neuroglia) 집단이다. Neural ectoderm 세포로 구성된 neural tube의 wall로부터 뇌와 척추세포 즉 중추신경계(central nervous system = CNS)가 구성된다. 이 시기는 embryo의 age가 23일 될 때이다. 이 neural ectoderm 세포를 신경상피세포(neuro-epithelia)라고 부르며, 이들의 세포분열로부터 천억개 이상의 중추신경계의 neuron(10^{11})과 neuroglia(10^{12}) 세포가 생성되는데, 이들 중 neuron은 세포분열기가 끝나면, 즉 출생후는 몇몇 예외를 제외하고는 재생될 수 없다는 점이 매우 중요하다. Embryonic disc는 3층 즉 ectoderm, mesoderm 및 entoderm으로 분화된다.

Neuron과 neuroglia의 세포증식은 신경계 발달단계에서 매우 일찍 놀랄만한 속도로 일어난다. 한편, 세포의 사망을 또한 신경계 발달기의 후반기에서 매우 빠르게 일어난다는 사실도 특기할 만하다. 그런데 뇌와 척추세포가 죽지않고 살아남는데 영향을 줄

수 있는 요인은, 산소와 영양소들의 존재, growth factors, 호르몬, 세포의 밀도 등이다. 쥐의 경우, neuron과 glia의 상당한 손실이, 다 자란후가 아닌 초기 발달단계 즉 100일 이전에 일어남을 알 수 있다. Neuron은 생존을 위한 건강한 지원체계를 필요로 한다. 즉, 좋은 영양, 지속적인 산소 공급, 화학적으로 유해하게 될 수 있는 스트레스로부터 벗어나는 것 등과 같은 이러한 환경에서 neuron은 평생 건강하게 기능할 수 있게 되는 것이다.

NEURON(또는 NERVE CELLS)

이들은 모두 약 천억개의 주뇌세포로 모두 독립적 세포로 간주된다. Neuron의 구조적 차이는 그림 1-a에 나타나 있는 데, 대표적인 neuron의 구조는 dendrites(수상돌기, 가지가 난 예민한 나무뿌리 같은 모양), axons(축삭, synaptic terminal까지 연결됨, 긴 것은 1m정도), 및 cell body(또는 soma, 세포체, 비교적 크고 에너지 생산과 합성능력을 가진 suborganelles을 소유함)로 구성되어 있다(그림 1-a, 1-b).

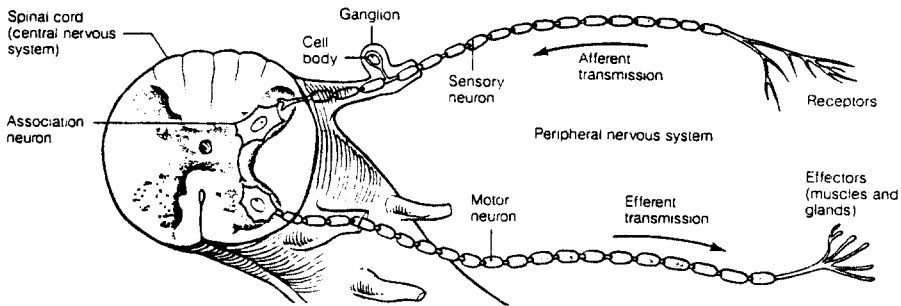


그림 1-a. Neurons Classified by Function

자료: Marieb, EN, Essentials of Human Anatomy & Physiology, 3rd ed., The Benjamin/Cummings Publ. Co., Inc., 1991, p. 178.

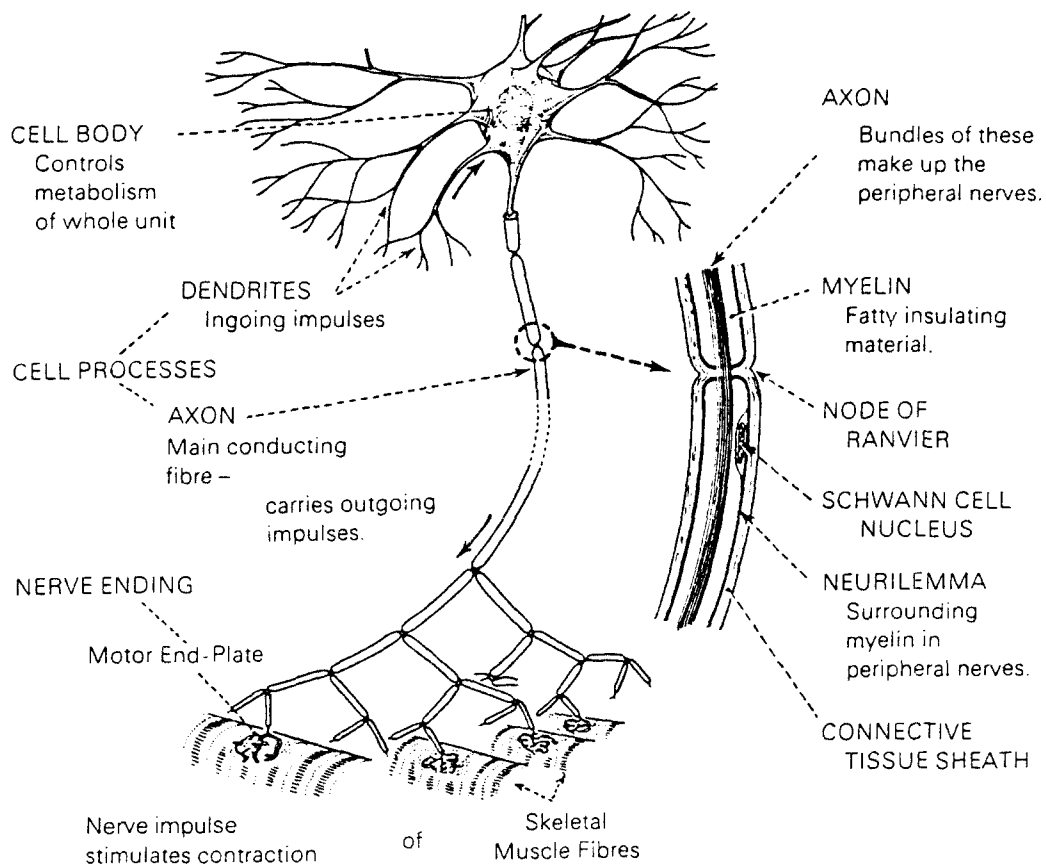


그림 1-b. Typical Nerve Cell (Motor Neuron)

자료: Mackenna, BR & Callander, R, Illustrated Physiology, 5th ed., Churchill Livingstone, New York, 1990, p.17.

NEUROGLIA(또는 GLIAL CELLS, 神經膠細胞)

신경조직에서 풀(glue)처럼 neuron들은 엮어주고 있는 glial 세포는 neuron보다 그 수에 있어서 훨씬 앞서며 신경계의 부피로 평가할 때 약 절반을 차지한다. Neuroglia의 종류는 매우 다양하며 그 다양성은 중추신경계에서 볼 수 있다. 이 세포들의 정확한 분리가 아직은 기술적으로 어렵기 때문에 그 세밀한 기능규명에도 미지수로 남아 있는 부분이 아직 많으나, 일단 중추신경계의 neuroglia를 살펴보면 4가지 종류로 분류되며 이들은 astrocytes, oligodendrocytes, microglia 및 ependymal cells이다(그림 2-a, 2-b).

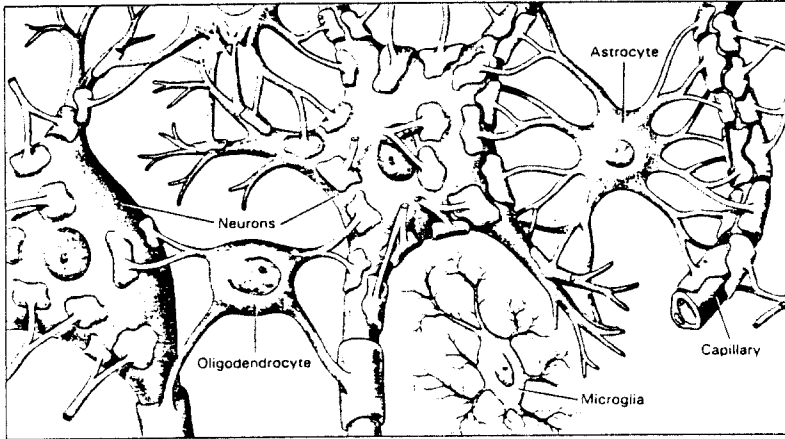


그림 2-a. Cell Bodies of CNS Neurons and the Major Glial Elements

자료: Martini, F, Fundamenetals of Anatomy & Physiology.
Prentice Hall Int'l. Inc., 1989, p.311.

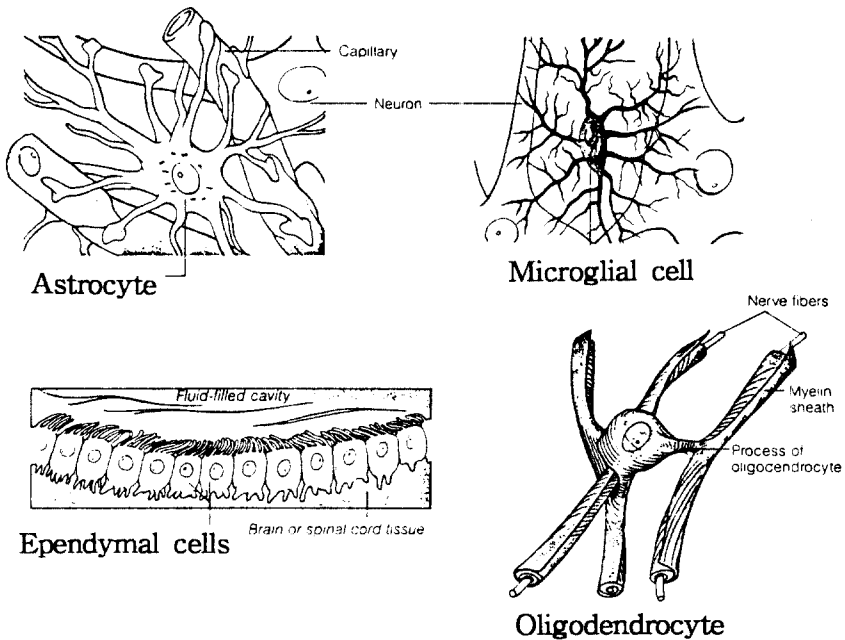


그림 2-b. Types of Glial Cells(supporting cells) Found in the CNS

자료: Marieb, EN, Essentials of Human Anatomy & Physiology, 3rd ed.,
The Benjamin/Cummings Publ. Co., Inc., 1991, p. 175.

ASTROCYTES(星狀膠細胞)

Astrocytes의 cytoplasm은 길게 확장되어 그 발로 혈관벽을 에워싸고 있으며, 혈관으로부터 뇌조직으로 들어가고 나가는 물질을 조절하는 혈뇌장벽(Blood brain barrier = BBB) 형성에 중요한 역할을 한다. 따라서 일반 순환계와 뇌의 세포간액(interstitial fluid)을 분리시키는 한편, astrocytes는 oligodendrocytes와 함께 neuron과 axon의 표면에 cytoplasm의 길게 확장된 발을 부착시키고 혈액으로부터 neuron으로 영양소를 조절하여 공급해주는 역할을 한다.

또 다른 역할로는 시냅스를 감싸주어 neuron의 message를 독립적으로 잘 전달시키는데 한 몫을 하며, 어떤 astrocytes는 상처, 감염, stroke 등에 의한 세포 파괴물질을 제거해 주는 식세포(phagocyte)로서의 역할을 갖고 있다.

OLIGODENDROCYTES(乏突起膠細胞)

Oligodendrocytes는 astrocytes와 유사하나, cell body가 더 작으며 neuron에 소규모로 작용한다. Oligodendrocyte의 특수한 점은 중추신경계의 많은 axon이 oligodendrocyte에 의해 에워 싸여 있는 것이다. 실제로 axon은 여러 막층(multilayered sheath)으로 둘러싸이게 되며 이를 myelin층(지방질 80%, 단백질 20%)이라 부른다. 이러한 myelin층의 둘러싸임으로 인해 neuron의 axon을 가로지르는 action potential의 전도(conduction) 속도는 빨라지게 된다. 그리고 neuron의 metabolic energy를 보존해 준다. 이러한 myelin sheath의 끊겨진 작은 gap을 nodes of Ranvier라고 부르며 myelin의 lipid 성분으로 인해 이러한 구조가 중추신경계의 백질(white matter)를 구성하게 된다. 이에 반하여 neuron의 세포체와 neuroglia의 집합체가 회백질(gray matter)을 이루게 된다.

MICROGLIA(小膠細胞)

중추신경계의 neuroglia의 약 5%만이 microglia로서 크기가 작고 많은 가지를 갖고 있다. 이들의 주된 역할은 경찰관과 청소부라 할 수 있다. Mesoderm으로부터 생성된 microglia는 모세혈관을 통해 중추신경계로 들어와 phagocytic 백혈구의 기능을 한다.

뇌조직에 염증이거나 상처가 나면 microglia 세포는 그 수가 급격히 증가하여 신속하게 대처한다.

EPENDYMAL CELLS

이 세포집단은 central canal과 뇌척수액(cerebrospinal fluid = CSF)을 에워싸고 있는데, 이 액은 쿠션 역할을 하며 기체, 영양소, 노폐물들이 녹아있다. 이 세포들은 glial 세포들과 연결되어 있는데, 이 세포의 주된 기능은 뇌척수액의 조성을 조절하는 감각 수용체(sensory receptors)의 기능을 하는 것으로 여겨지고 있다. 중추신경계 밖에 존재하는 neuron들은 glial 세포로 완전히 둘러싸여 있는데, 여기에 관여하는 glial 세포는 두 종류로서 amphicytes(또는 satellite cells, 衛星細胞)와 Schwann 세포이다. 말초신경계(peripheral nerve system = PNS)에 있어서 amphicyte와 neuron의 cell body는 한 덩어리를 이루어 ganglia를 형성한다. Schwann cell은 말초신경계에서 여러개의 axon을 에워싸고 myelin sheath를 형성하는 것이 특징이다.

SYNAPSE(神經細胞接合部)

시냅스는 신경조직의 특징이며, 축색의 끝과 다른 세포와 ‘세포간 대화(intercellular communication)’를 하는 곳이다(그림 3-a). 시냅스는 neuron의 수상돌기, 세포체 및 축색의 어느 곳과도 이루어질 수 있다. 실제로 neuron의 수상돌기는 온통 시냅스로 뒤덮여 있다고 볼 수 있다(그림 3-b, 1,000~10,000 시냅스/neuron). 수상돌기는 neuron의 표면적을 넓히며, 따라서 많은 시냅스 공간을 제공해주게 된다. 시냅스는 neuron과 뇌세포가 아닌 내분비세포(gland cells) 사이에도 형성될 수 있다. 이러한 연결을 neuro effector junction 또는 neuro muscular junction이라고도 한다. 시냅스에는 화학적 시냅스와 전기적 시냅스가 있는데, neuron과 말초신경과 사이에는 주로 화학적 시냅스가 있다. Presynaptic axon 끝의 Synaptic knob에는 mitochondria neurofilament, neurotubules, ER fragments와 많은 시냅스 소낭(synaptic vesicles)이 존재한다. 시냅스 소낭에는 신경전달물질(neurotransmitters)이 존재하며, 이들은 presynaptic axon을 통

한 action potential 또는 nerve impulse에 의해 exocytosis 과정을 통해 gap으로 방출된다. Action potential이나 정보의 흐름은 한 방향(one-way)으로 되어 있고, 따라서 뇌 조직의 교통은 질서를 이루게 된다.

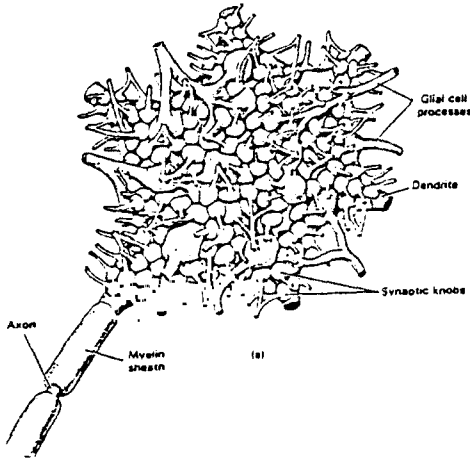


그림 3-a. Synaptic Interactions

자료: Martini, F, Fundamentals of Anatomy & Physiology. Prentice Hall Int'l. Inc., 1989, p.322.

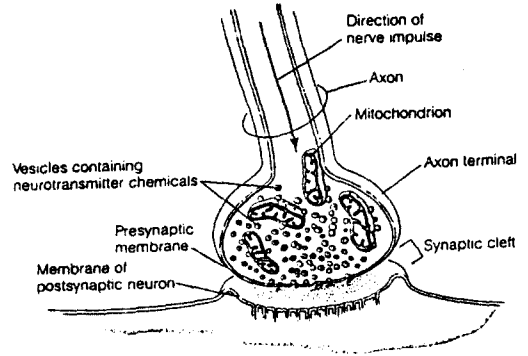


그림 3-b. Enlarged Synapse

자료: Marieb, EN, Essentials of Human Anatomy & Physiology, 3rd ed., The Benjamin/Cummings Publ. Co., Inc., 1991, p. 178.

혈뇌장벽(BLOOD-BRAIN BARRIER)

앞서 astrocyte에서 언급했듯이 정상세포의 cytoplasm은 혈관벽을 에워싸고 혈액성분이 직접 neuron으로 유입되는 것을 방지, 조절한다. 뇌는 몸무게의 약 2%에 불과하나 전체 혈액의 약 16%를 공급받으며, 이를 단위무게로 보면 근육조직의 10배에 해당한다. 간세포는 재생될 수 있고 많은 물질을 처리하는 곳이지만 neuron은 그렇지 못하므로, 간세포로 들어갈 수 있는 많은 물질들이 뇌세포로 들어가서는 안되며, 이를 위해 혈뇌장벽이 존재하는 것이다. 정상세포의 돌기들은 뇌의 혈관을 감싸서 연속적 피막을 제공하는 데, 이 피막은 주로 지방질이기 때문에 지용성이 아닌 물질은 혈뇌장벽을 통과하기 어렵다.

신경전달물질(NEUROTRANSMITTERS)

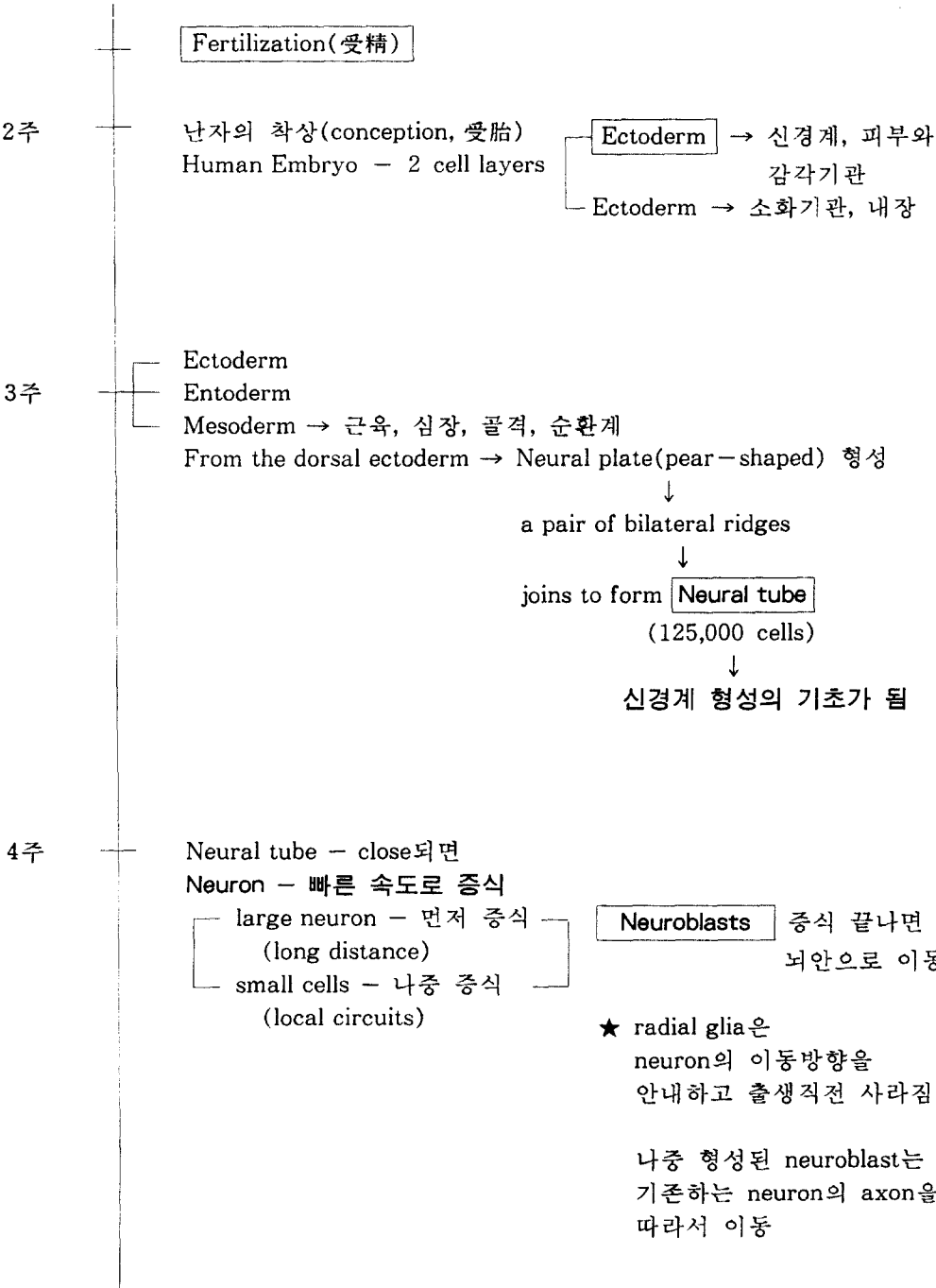
두뇌의 세포와 세포사이에 정보를 교환해주는 신경전달물질은 30~40가지 정도가 알려져 있다. 이들은 기억, 움직임, 감정, 정신기능 등을 통합하여 정상적 행동을 하도록 한다(예를 들어, 두뇌세포와 세포사이에 norepinephrine이 너무 많게 되면 열광하는 쪽으로 행동하고, 너무 적으면 우울해진다는 가설도 생겨났다.).

Acetylcholine, dopamine, norepinephrine 및 serotonin은 4가지 특수한 신경전달물질이다. Acetylcholine은 두뇌피질과 소뇌에 주로 존재하며 자율신경계와 부교감신경계의 신경전달물질이다. 이 물질은 인식, 기억, 운동조절, 감각기능, 양심 및 뇌하수체기능 등에 관여하는 것으로 알려졌다. Dopamine은 변연계(limbic system)를 통한 감정, 운동기능, 그리고 시상하부를 통한 뇌하수체 호르몬 등의 작용에 관여하는 것으로 알려져 있다. Norepinephrine은 교감신경계의 신경전달물질이며, 소뇌의 운동기능에 관여하고 또한 뇌하수체 호르몬의 분비에 관여한다. Serotonin은 두뇌의 여러 곳에 많이 존재하는 신경전달물질로, 감각기능에서 반복적 자극을 전달하고 온도조절기능에 관여하며, 수면조절작용 및 송과선(pineal gland, 松果腺)에서 합성되는 melatonin의 전구체로서의 역할 등이 알려지고 있다. 식사에 따라 신경세포간의 대화와 정보교환이 영향을 받을 수 있다는 기전은 대개 세 가지로 분류할 수 있다. 첫째, 두뇌세포에 존재하는 전구체에 의해 영향을 받는 신경전달물질은 식사에 의해 전구체의 공급에 영향을 받게되면 결국 신경전달물질 합성이 영향을 받게된다. 둘째, 대부분의 신경전달물질은 두뇌세포에서 합성되므로 이때 보조효소들이 결여되면 두뇌기능에 영향을 받을 수 있다. 셋째, 어떤 식품첨가물이나 식품에 자연적으로 존재하는 화학물질이 두뇌작용에 영향을 끼칠 수 있다. 이들은 신경전달물질의 합성, 분비 및 효소작용의 과정에 영향을 미칠 수 있는 것으로 알려졌다.

2. PRENATAL 및 POSTNATAL한 측면에서의 두뇌발달 단계

- 배란기(pre-conceptional period): 수정 → 2주, 난자의 착상
- 배아기(embryonic period): 2주 → 8주(내부기관, 사지, 눈, 코, 입, 귀 형성)
- 태아기(fetal period): 8주 → 40주 출생

PRE-NATAL



- Neuroblast가 최종목적지에 도달하면
Neuron의 모양을 제대로 갖추게 됨
 (dendrite, axon 구조, 화학적 전달물질 생성등)

- Neuronal adhesion 분자에 의해 기능적 unit에 따라
 집합체를 이루며 network를 형성

- Neuron은 약간의 예외를 제외하면 한번 완성되면 **재생 불가**

Neuron을 연결해 주며 신경전달물질을 주고 받기 위해
Synaptogenesis 일어남

Birth
 Neurons

시작은 prenatal 발달기에 되지만
 human neocortex에서의 synaptogenesis는
 출생후에 주로 형성되며 영양과 같은
 여러 환경적 요인이 영향을 미칠 수 있음

출생시 이미 많은 **neuron의 loss**가 생김
 - neuron끼리의 competition으로 간주됨
 - 적절한 synaptic 연결을 못이루면 죽는 것 같음
 뇌 조직의 기능적, 행동적 성숙은
 synapse를 형성하는데 있다가보다는 과잉연결을 지양하고,
 기존하는 연결들을 효율화시키는데 있지 않나 생각함

POST-NATAL

B 300~350 g (뇌무게 at birth)
 1.2 ~ 1.5kg - 성인두뇌의 약 80% (at 4 yrs of age)

① **Glial 세포의 증식** (임신 30주부터 시작됨)
 neuron과 달리 평생동안 재생가능
 출생직후 최대 증식기(사람을 포함한 포유동물)

② Neuron의 axon을 둘러싸는
 myelin sheath(수초) 발달 - **Myelination**

axon을 통해 message를 전달하는 효율 증가됨

출생후 곧 시작되어 3~4세까지 계속

- spinal cord의 axon이 가장 먼저 myelinate됨.



hind brain → mid brain → fore brain

- cerebral cortex안에서는

sensory neuron이 motor neuron보다 먼저 myelinate 됨.

- ③ **Synaptogenesis** 과정 계속됨

이 과정을 통해 출생시와 성숙후 가장 큰 변화초래

- ④ 최신 정보 - 어떤 neuron은 **출생후에도 증식** (첫 수년간)
예) hippocampus와 olfactory bulb

영양적 요인에 의해 영향 받을 수 있는
두뇌발달과정과 관련된 사항들

* Neuron의 수

* Neuron의 크기

* 중추신경계(CNS)에서의 neuron의 위치

* Dendrite(수상돌기)와 axon(축삭)의 발달

* Synaptic 연결들의 발달

* 신경전달물질(neurotransmitter)의 생산

* Glial 세포들의 발달

* Axon을 둘러싸는 Myelination

II. 두뇌발달과 영양

태아는 영양부족에 대해 실제적으로 두가지 측면에서 완화될 수 있다. 즉 1) 어머니 식이 섭취를 통한 직접적인 영향과, 2) 어머니에 의해 저장된 영양소들이 태반을 통해 공급될 수 있는 간접적 영향을 받을 수 있는 것이다. 그런데 어머니의 영양상태가 문제가 있게 되면 위의 두 가지 완충작용이 기능을 할 수 없게 된다. 어머니의 심한 영양불량은 embryo의 착상에서부터 문제가 생기며 곧 유산과 연결된다. 어머니의 영양상태가 약간의 문제를 갖고 임신기를 거치고 임신말기에 심각하게 되면 태반과 태아의 성장에 변화를 초래하게 된다. 동물실험 결과로부터 어미의 열량과 단백질의 결여가 저체중아, 작은 두뇌형성 및 neuron과 glial 세포수의 감소는 물론 myelination과 dendrite의 불충한 발달로 이어짐을 볼 수 있다. 태어난 후 영양보충을 해주더라도 이상에 언급된 두뇌발달과 관련된 결여는 거의 회복되기 어렵다.

사람의 경우 영유아의 두뇌돌레에 영향을 주고 특히 임신중이나 출생후 첫 2년간의 문제는 두뇌에 영구한 영향을 미친다. 에너지와 단백질이 모두 결핍된 marasmus의 경우 단백질은 보통으로 공급받는 kwashiorkor보다 두뇌돌레가 더 적게 나타남을 볼 수 있다. 사람의 두뇌발달에 대한 직접적인 실험결과는 쉽게 얻을 수 있는 약점이 있다.

출생후의 영양결여는 neuron의 수에는 영향을 못 미치는 것으로 알려져 있다. 왜냐하면 neuron 증식의 최대치가 출생전인 태아기에 있기 때문이다. 대신 출생후에 주로 증식되는 glial 세포발달에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 출생후 영양결여의 주된 영향은 뇌세포의 수보다는 크기가 감소되는 점이며, 동시에 synaptogenesis와 axon의 myelination이 크게 저해되는 점이다. 그리고 출생후 영양결여에 의한 영향은 영양보완으로 어느정도 회복이 가능한 것으로 알려졌다.

1. 두뇌발달 시기에 있어서 동물간의 차이

그림 4에서 볼 수 있는 바와 같이 두뇌의 성장발육과정은 동물에 따라 차이가 있으며, 성숙한 사람과 동물간의 크기의 비율을 볼때 guinea pig은 출생전 15~20일 경에 최대에 이르게 되고, 쥐는 출생한 이후 10일경(수유기)에 최대에 이르게 된다. 사람의 경우, 태아기에 가장 중요한 질적 변화가 일어나고, 출생전후에는 질적, 양적변화가 함께 일어나며, 6개월후에는 양적변화만 일어나서 만 2세가 되면 뇌가 거의 완성된다. 양적 성장기에 있어서는 차후 충분한 영양소를 보완해줌으로서 정상으로 회복될 수 있으나, 질적 성장기에 있어서는 영양실조는 영구적 결함을 초래하게 된다.

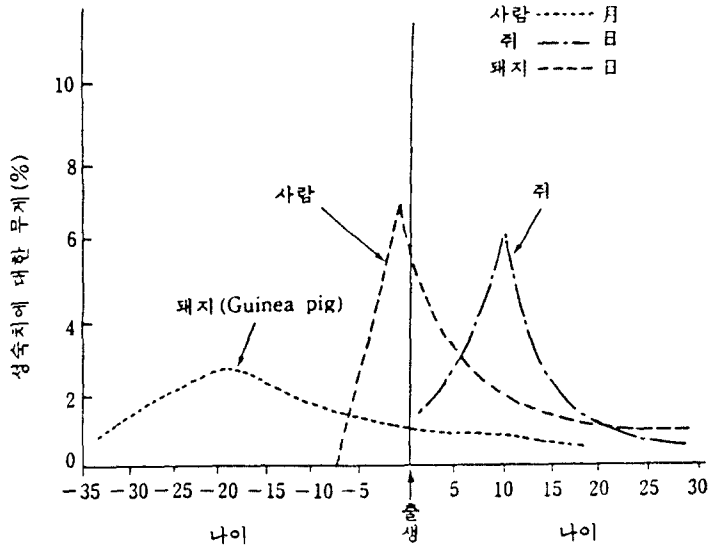


그림 4. 동물에 따른 두뇌 성장률 곡선

자료: Dobbing, J, Malnutrition, Learning and Behavior, The MIT Press, 1967.

2. 월령에 따른 사람뇌의 무게, 단백질, RNA 및 DNA 함량변화

그림 5에 의하면, 뇌의 무게나 단백질 및 RNA의 양은 세포의 크기가 증가함에 따라 세포질의 내용물이 증가하게 되므로 월령이 증가함에 따라 계속적인 증가현상을 보여준다. 뇌의 DNA 총량은 생후 6개월이 지나면서 일정한 수치로 유지됨을 알 수 있다. DNA 양이 일정해 짐은 세포수가 일정해졌음을 나타내며 뇌세포의 분열과정이 거의 마무리 되었음을 의미한다. 뇌세포의 증식기에 있어서 즉, 뇌망막의 critical 또는 vulnerable한 시기에 있어서의 영양실조는 뇌세포 수의 감소를 초래하게 되고 불행히도 미비한 상태로 평생을 보내야 하는 불운을 당면하게 되는 것이다. 어떤 면으로 보면 태아기 즉 어머니 배속에서 신체의 가장 중요한 부분인 뇌의 기본적 구조가 이루어진다는 사실은, 어른이 직접 어린이를 보호하고 조절할 수 있어 위험을 상당히 예방할 수 있다는 사실을 감안할때 천만다행스런 조물주의 섭리라고 볼 수 있겠다.

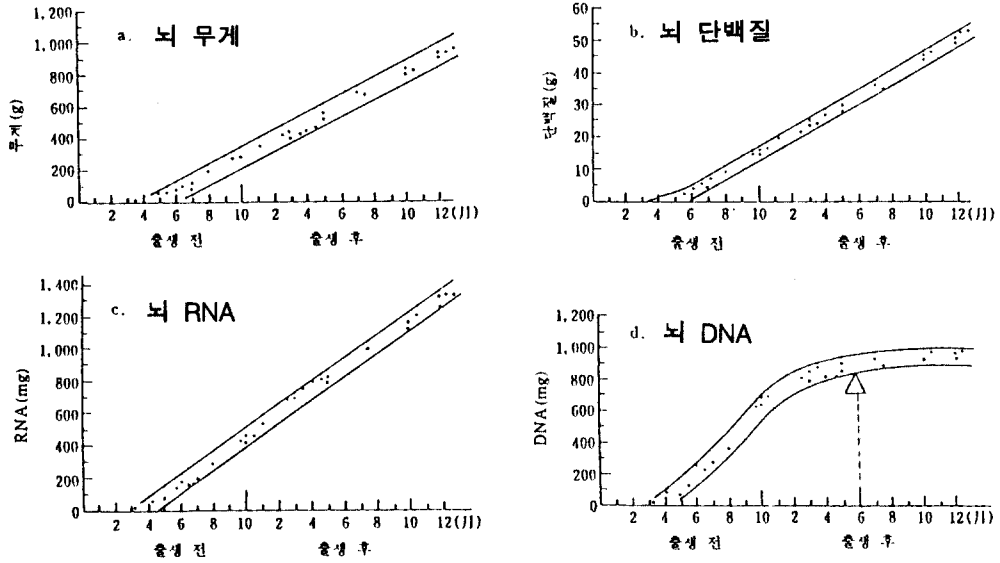


그림 5. 태아의 출생 전후에 있어서 사람뇌의 무게, 단백질, RNA 및 DNA의 변화

자료: Winick M, *Pediat Res* 2:352-355, 1968.

3. 영양실조와 뇌조직의 DNA 함량

그림 6에는 1세 이전에 사망한 사람의 뇌조직에 있어서, 사고로 사망한 경우는 DNA 함량이 정상범위에 속해 있고 심한 영양실조의 경우 정상보다 DNA 함량이 감소됨을 보여주고 있어, DNA 감소로 인한 뇌세포의 감소와 뇌기능의 감퇴는 잠재력 미확보, 저능아 출산 등의 가능성을 강하게 지적해주고 있다. 실제로 수태시부터 생후 1년사이 사망한 비율을 보면 90% 이상이 출생이전에 사망한 것으로 나타나 태아기의 위험성과 중요성을 동시에 지적해준다고 하겠다.

두뇌의 성장발육과정중 뇌의 단백질이나 지방질 대부분이 뇌 자체에서 합성되므로 이들의 합성을 위한 충분한 영양소 재료가 모체로부터 태반을 통해 공급되어야 한다. 그러므로 이 모든 생합성 과정과 세포의 증식 과정이 원만히 이루어지기 위해 충분한 에너지 공급이 이루어져야 한다. 단백질-열량부족(protein-calorie malnutrition) 현상은 미개발국의 전유물이 아니고 선진국에서도 볼 수 있는 문제로서 심각히 다루어져야 할 과제이다.

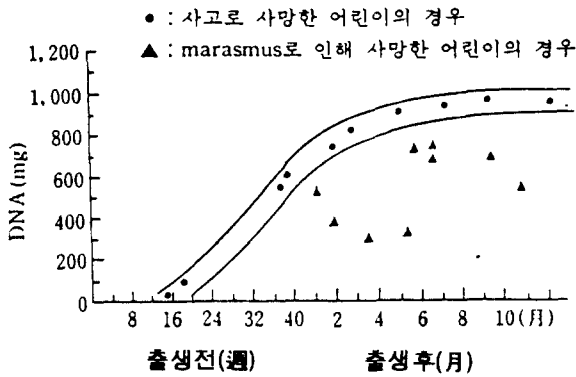


그림 6. 만 1세 이전에 사망한 영아 두뇌의 DNA 함량

자료: Winick M, Fetal Growth and Development, Waisman HA and Kerr G, E ditors, McGraw-Hill Book Co., 1970.

4. ω 3계와 ω 6계 지방산과 두뇌발달

1) ω 3계와 ω 6계 지방산이란?

다음의 그림 7과 8에 ω 3와 ω 6계 지방산의 구조와 이들의 종류를 나타내었다.

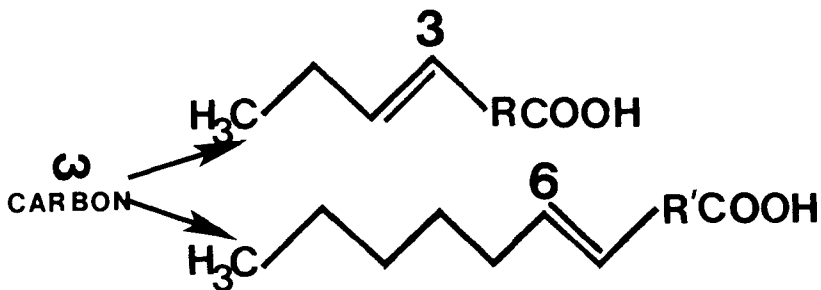


그림 7. ω 3계 와 ω 6계 지방산의 구조

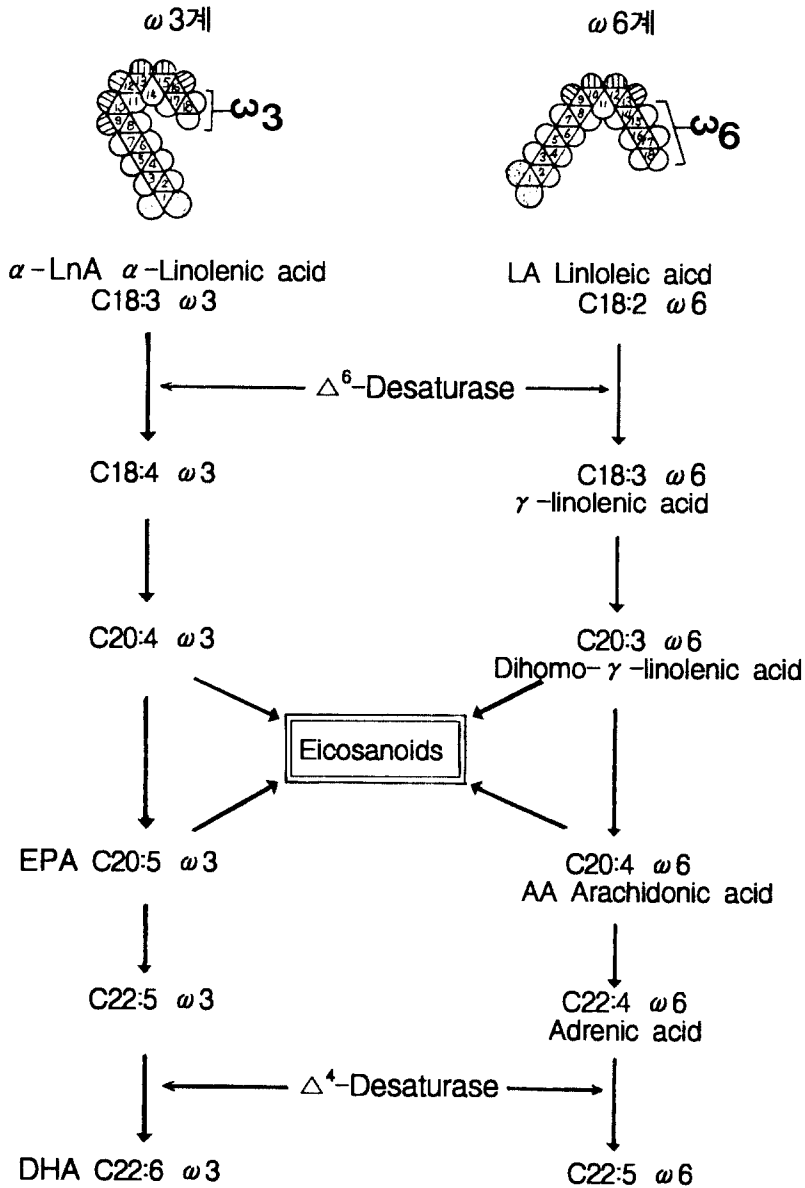


그림 8. ω 3계 와 ω 6계 지방산

Linoleic 산(LA, C18:2, ω 6계)와 α -Linolenic 산(α -LnA, C18:3, ω 3계, 특히 콩·들깨에 풍부)은 식물성 식품 특히 식물성 기름에 존재하며 이들은 체내에서 이중결합이

더 많고 더 큰 분자로 전환가능하다. 그런데 이들은 유사한 구조로 인해 서로 경쟁적으로 그 대사과정을 방해하는 것으로 알려졌으므로 적절히 균형된 섭취가 필요하다. ω 3계의 EPA(C20:5, Eicosapentaenoic acid)와 DHA(C22:6, Docosahexaenoic acid)는 등푸른 생선에서 공급받을 수 있으며, ω 6계의 AA(C20:4, Arachidonic acid)는 동물성 식품으로부터 섭취할 수 있다.

2) DHA(ω 3계)와 AA(ω 6계)의 균형과 두뇌발달

뇌조직은 지방조직 다음으로 지방질이 주성분으로 다량 함유되어 있으며, 불포화지방산 중 특히 장사슬 ω 3계 지방산인 DHA가 풍부함이 특기할 만하다. 사람두뇌의 최대성장기가 태아기와 영아기임은 잘 알려진 사실이다. 뇌조직의 neuron에 DHA가 구성분으로 축적되는 주된 시기는 임신 26주에서 40주 사이이며, DHA의 절반 가량이 출생이전에 축적되는 것으로 추정되고 있다. DHA는 두뇌와 망막(retina) 특히 시냅스막(synaptic membrane)과 광수용체(photoreceptor)막에 많이 존재한다.

사람 뇌조직의 발달은 임신 3기에 최대로 일어나는데, 이는 neuromotor activity와 직결된다는 점과 neuron은 한번 파괴되면 다시 재생될 수 없다는 사실을 생각할 때, 미숙아는 물론 임신기와 영아기의 균형있는 공급의 중요성을 강조하지 않을 수 없다. ω 3계 지방산 부족시 광수용체 세포의 기능변화로 망막에 이상이 생기며 두뇌기능에도 영향을 준다는 것이 지적되었다. 망막의 지방산 조성을 보면 총지방산의 50% 이상이 DHA로 구성되어 있어 이의 중요한 역할을 짐작할 수 있다. Vision에 관여하는 rhodopsin 분자에서 비타민 A와 함께 인지질에 함유되어 있는 DHA의 역할 규명이 매우 필요하게 되었다.

임신 말기와 수유기에 있어서 필수지방산의 요구량은 각각 총열량섭취의 1~2%와 2~4%로 더 증가하게 한다. 우유에는 필수지방산이 총열량의 1%보다 적게 함유되어 있고 영아는 장사슬 불포화지방산을 합성하는 능력이 잘 발달되어 있지 않으므로, 장사슬 불포화지방산을 함유하고 있을 뿐 아니라 총열량의 10~12% 가량의 필수지방산을 함유하고 있는 모유의 공급이 매우 중요하다. 특히 미숙아나 분유를 먹여 키우는 아이들에게는 ω 3계와 ω 6계 지방산의 충분하고 균형된 공급을 위한 대책이 시급히 세워져야 한다. 그런데 모유는 어머니의 영양상태에 영향을 받으므로 임신기나 수유기동안은 물론 평상시의 균형된 식생활을 통해 바람직한 성분을 가진 모유를 공급할 수 있

도록 항상 힘써야 하겠다. 최근의 연구에서 분유로 자란 영유아가 모유로 자란 영유아보다 뇌피질의 DHA 수준이 더욱 낮아져 있음이 보고되기도 하였다.

ω 3계 지방산인 α -LnA(C18:3)로부터 DHA의 전환이 얼마나 효과적으로 일어나느냐 하는 것은 많은 연구자들의 관심의 대상이 되고 있다. 뇌세포에서 α -LnA로부터 EPA를 거쳐 DHA로의 전환이 원활하지는 않지만 가능하며, α -LnA가 매우 쉽게 산화되어 대사될 수 있는 점 등이 알려지면서 식물성 식품(들깨, 콩, 채소 등)에서 얻을 수 있는 α -LnA의 필요량에 관한 연구도 ω 6계 LA와의 균형면과 절대량 측면에서 활발히 전개되고 있다. 임신기동안 ω 6계인 AA(arachidonic acid, C20:4)로부터 prostaglandin(PG)의 합성이 활발하여 임신부와 태아에 중요한 영향을 미침을 또한 알 수 있으며, ω 6계인 AA의 부족시 분만에 이상이 있음도 지적되었다. 따라서 두뇌발달시기에 있어서 ω 3계인 DHA와 ω 6계인 AA의 적절한 균형이 요구된다고 하겠다. 출생후 두뇌조직 완성기까지 필수지방산을 함유하는 인지질 합성이 급격히 증가하므로(그림 9), 임신부와 태아 및 영아에 있어 필수지방산 공급의 필수성을 재삼 강조하게 된다. 캐나다에서 최근 세계 최초로 ω 6와 ω 3계 지방산에 대하여 영양권장량에 포함시켰다.

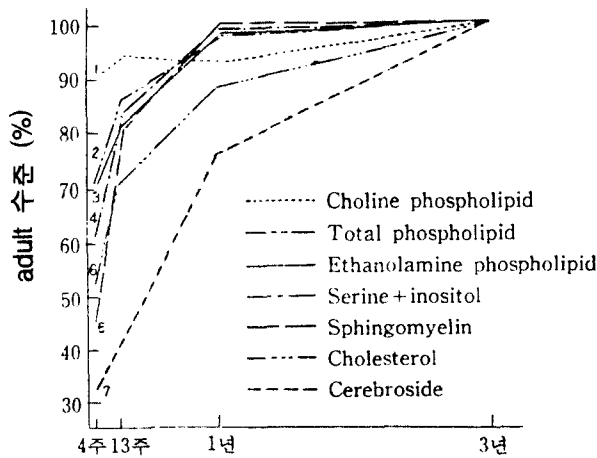
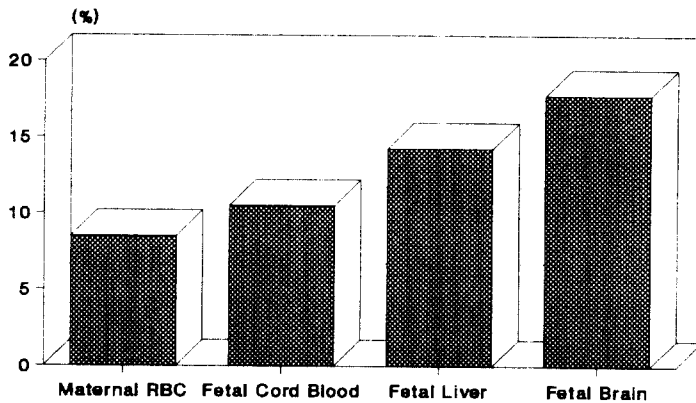


그림 9. 출생후 돼지 뇌(guinea pig)의 인지질과 콜레스테롤 농도의 증가

자료: Dobbing, J, Malnutrition, Learning and Behavior, The MIT Press, 1967.

3) BIOMAGNIFICATION

동물실험에서 어미는 임신전부터 지방조직에 저장해 두었던 ω 3계 지방산을 태반이나 모유를 통해서 새끼에게 공급해줌을 알게 되었다. 실제로 어미와 태아간에는 아래 그림 10과 같이 DHA 농도에서 biomagnification 현상이 존재함이 확인되었다. 이러한 관계가 DHA뿐 아니라 태아가 필요로 하는 모든 물질에 적용되는지는 확인되지 않았다.



어미 적혈구 < 태아의 cord 혈액 < 태아의 간 < 태아의 뇌조직

그림 10. Biomagnification of DHA

자료: J Intern Med 225(Suppl 1):166, 1989

재인용: Nettleton, JA, J Am Diet Assoc 93:59,1993.

5. 뇌조직의 항산화계

뇌조직의 지방은 매우 불포화도가 높을 뿐아니라 산소(O_2) 소모량이 매우 큰 조직으로서 지방의 과산화물 및 free radical 형성에 촉진제로 작용할 수 있는 철분(Fe) 함량이 높은 조직이므로, 중추신경계를 불포화지방의 과산화현상으로부터 보호해야하는 매우 중요한 의미를 갖고 있다.

세포의 여러 효소들이 과산화작용을 조절함에 참여하는 바, 이들은 superoxide dismutase(SOD), glutathione peroxidase(GSH-Px) 및 catalase가 있다. Sulfhydryl(-SH) 그룹을 함유한 단백질도 과산화물처리에 도움을 줄 수 있다. 혈뇌장벽(Blood-Brain Barrier)은 뇌조직에 필요한 영양소 확보에 매우 중요함을 강조하였다. 예를 들어 비타민 C의 혈액 농도가 낮을지라도 뇌조직내 비타민 C수준을 적절히 유지시킨다. 그리고 항산화 작용을 하는 α -tocopherol의 농도도 뇌조직은 확보하는 것으로 나타나며, 특히 뇌조직의 비타민 E는 다른 조직에 비해 매우 단단히 결합되어 있으며 turn-over 속도가 느려 더 유용히 쓰일 수 있음도 지적된 바 있다. 이러한 뇌조직에서의 항산화계의 중요성으로 인해 뇌조직은 free radical을 scavenge하는 특수한 내인성(endogenous) 물질을 확보하여 제공하는 것으로 알려졌으며, 이들은 dopamine, norepinephrine, taurine 및 carnosine 등으로 알려졌다. 저체중이고 항산화물질의 저장이 낮은 미숙아가 periventricular hemorrhage나 retinopathy의 문제가 있는 경우 비타민 E 요법으로 수정될 수 있으나 그렇지 못한 경우도 있으며, 신생아에 대한 비타민 E 요법이 심각도는 완화시켰지만 retinopathy가 완화되지 않을 경우도 있었다. Multiple sclerosis를 치료함에 있어서 비타민 E, Se, 비타민 C 및 적절한 균형의 ω 6와 ω 3계 지방산을 공급하므로 긍정적 결과를 얻고 있으며, 이 방면의 연구가 계속되고 있다.

Alzheimer's 질병이나 Down's syndrome 등 신경계 질병들에 있어서 megavitamin이나 mineral 보충요법들을 쓰고 있으나, 이로 인해 또 다른 불균형을 초래하지 않도록 유의해야 할 것이며, 무엇보다도 신경세포의 재생제한에 대한 사실을 감안할 때 치료보다는 예방책에 주력하고 이를 위한 guide line들이 우선적으로 제시, 활용되어야 하겠다.

6. 철분과 두뇌발달

철분(Fe)은 신경계에서는 ① 산화, 환원요소 및 전자전달계 ② 신경전달물질(neurotransmitters)의 합성과 분비(효소포함), 및 ③ myelination 과정에 필수적 역할을 한다고 알려졌다. 영향을 받는 신경전달물질로는 dopamine, serotonin, catecholamine, γ -aminobutyric acid(GABA) 등이 있다. 철분은 신경계에서 basal ganglia에 가장 많이 함유되어 있으며 white matter에 주로 존재하며 두뇌 성장이 최대 시기에 철분의 up-

take도 최대인 것으로 알려졌다. 철분의 뇌세포로의 투입은 blood-brain barrier를 통하여 이를 운반하는 transferrin에 의한 것으로 알려졌다. 철분과 인지(cognition) 및 행동(behavior)과의 관계는 임상연구에서 상관관계가 있는 것으로 나타났으나, 그 전에 있어서는 확실히 밝혀지지 않고 있다. 한편 철분 결핍은 영아의 감정(emotion)에 상당한 영향을 줌이 알려졌다. 이는 dopamine 대사의 변화에 초래되는 우울(depression)과 근심(anxiety)의 결과로 설명하였으며, 생물학적 및 심리학적인 간접적인 영향에 의한 가능성도 제안하였다.

뇌조직의 항상성 유지의 파괴와 연결되는 Parkinson's 병, multiple sclerosis, Alzheimer's 병 및 Hallervorden-Spatz 병들이 철분의 항상성과도 관계가 있을 것으로 추측되고 있다. Alzheimer's 병의 경우 뇌조직내에서의 철분의 이동(mobility)이 감소됨과 산화적 대사과정에 이상이 있음을 연결시켰다. 철분의 저장, 이용, 운반에 주역할을 하는 세포가 oligodendrocyte인 바 multiple sclerosis와 같은 경우 초래되는 철분의 homeostasis의 파괴는 oligodendrocyte의 기능에 지장을 주게 된다. Oligodendrocyte의 주요 기능이 myelination이므로 multiple sclerosis의 경우 myelination에 손상이 초래됨은 자명하다. 세포내에 부족된 철분상태는 환경적 요인과 더불어 바람직하지 못한 영향을 미치게 되며, 이는 두뇌발달기에 있어서 위험시기에 신경계의 기능과 행동발달에 까지 영향을 줄 수 있으며, 이는 나중의 철분보완으로 돌이키기 어려운 경우에 이를 수도 있다.

그러나 한편, 철분(Fe), 구리(Cu), 아연(Zn), 셀레늄(Se)등 미량 영양소가 태아발달에 필수적이지만, 이들의 과량 존재나 다른 화학적 형태로 존재할 때 오히려 해가 될 수 있다는 점에 항상 유의해야 하겠다.

7. 비타민 B₆와 인지발달

최근 동물실험에 의하면, 발달기간에 있어서의 비타민 B₆의 결핍은 synaptic 과정에 영향을 주므로 결과적으로 인지발달에 영향을 줄 수 있음이 지적되었다. 여기서 N-methyl-D-aspartate(NMDA) glutamate 수용체가 관여하는 신경전달물질계의 하나인 glutamatergic계가 관여하는 것으로 추측되는 바, 이 NMDA 수용체는 두뇌발달기에 있어서 뇌세포의 형태, 세포 분화 및 synapse 형성 등에 관여하는 것으로 제안된

바 있다. 식이를 통하여 비타민 B₆의 섭취를 결핍시킨 신생쥐의 뇌에서 NMDA 수용체에 작용하는 neuroactive 아미노산인 glutamate와 glycine의 농도가 유의적으로 낮아져 있음이 알려졌다. 두뇌발달시기에 있어서 NMDA 수용체의 불활성화는 hippocampus에 의해 long-term potentiation(LTP)을 선택적으로 감소시키고 NMDA를 매개로 하는 초기 학습과 기억 형성과정에 손상을 끼치게 된다. 두뇌발달시기에 있어서 비타민 B₆의 영양이, 학습과 기억에 관계되는 synaptic 과정에 미치는 영향을 자세히 규명하기 위하여 보다 많은 신경화학적 및 행동발달 측면의 연구가 요구된다.

8. 영양과 행동

식품이 성격, 행동 및 성취도에 있어서 중요한 인자가 될 지도 모른다는 생각은 160여년전 불란서 철학자 J. A. Brillat-Savarin에까지 거슬러 올라가며, “You are what you eat”이라는 말의 근원은 훨씬 더 이전의 고전문서나 예술작품에서 표현되고 있다.

여러 동물실험을 통하여 신경해부학적 및 신경화학적 측면에서 영양이 미치는 효과에 대하여 많은 연구가 이루어져 왔으며, 두뇌가 빠른 속도로 분화 발달되는 시기에 영양의 효과가 매우 큼도 지적되었다. Neuron의 재생 불가의 사실로 인해, 크게 영향 받을 수 있는 시기를 위험시기(critical period)라고 불려왔으며, 이 시기가 사람의 경우 임신 말기와 출생후 수개월간으로 알려졌다.

행동발달의 중요한 부분인 두뇌의 발달과정이 특수하고, 이 특수시기의 영양상태가 치명적 영향을 미칠 수 있음을 감안할 때 ‘어린 시기의 편식이 편견을 가진 성격을 낳게 한다’는 옛말과도 일맥상통하는 점이 없지 않다. 또한 두뇌대사가 매일의 식사변화에 예민하다는 사실에서도 식사와 행동의 유관성은 충분히 예측할 수 있다. 즉 두뇌활동의 중요한 매개체로서의 신경전달물질인 serotonin, acetylcholine, norepinephrine 등의 합성이 식사중의 전구물질인 tryptophan(아미노산), choline, tyrosine(아미노산) 등에 특히 의존함을 감안할 때 식사가 행동에 영향을 미칠 수 있을 것이라고 판단된다.

두뇌대사와 활동에 대해서는 아직 알려져 있지 않고, 영양소와 행동과의 관계를 알아보는 연구에서, 정확한 영양소 섭취의 조사가 어려우며, 행동의 효과는 장기적으로 나타나는 것이므로, 因果(cause-effect) 관계를 짧은 기간에 분명히 규명하기가 힘들고 행동의 표현이 여러 복합적 관계의 미묘한 총합으로 나타나 행동변화의 정량적 측정이 매우 어려운 점 등을 고려할 때, 식사와 행동의 관련성을 정량적으로 증명함에

있어서 신중한 접근과 연구 및 결과에 대한 설명이 요구되어진다 하겠다. 특히 영양소의 체내대사와 기능수행에 있어서 모든 영양소의 균형이 가장 중요하며, 어떤 특정 영양소와 특정 행동을 연결시키려는 연구는 신중히 재평가되어야 한다.

과거 20여년간 “영양과 행동”에 대한 사람들의 관심은 증가되어 온 반면, 특정식품의 건강과 질병에 대한 효과에 대하여 지나친 과신과 과잉섭취문제가 대두되었으며 이는 영양학의 기본 철칙인 균형식(balanced diet) 이론에 정면 대결되는 food faddism을 낳게 하였다.

저혈당증, 과량의 설탕섭취, 식품첨가제, 식품 알레르기 현상 및 비타민과 무기질의 결핍 또는 과잉 등의 여러문제가 범죄행동과 관련있을 것이라는 지적이 있으나, 과학적 근거가 결여되어 있다. 또 식품첨가제, 식품알레르기, 정제된 설탕 또는 카페인의 과량섭취 등이 어린이의 과민성에 영향줄지도 모른다고 지적된 바 있으나, 이들에 대해서 확고한 과학적 근거가 부족된 실정이므로 아직도 연구중이다.

9. 영양실조와 영양보완의 효과

1) 영유아의 영양실조

병원에 입원한 영유아를 대상으로 영양실조의 역사가 있는 영유아와 영양실조의 역사가 없이 다른 이유로 입원한 영유아를 비교한 조사에 의하면, 영양실조를 경험한 영유아가 덜 active하고 좌절을 참지 못하며 사회적 반응도가 감소되고 진취성과 독립심 측면에서 부족한 것으로 나타났다. 출생전 영양실조의 역사가 있는 저체중아는 정상체중에 비해 덜 움직이고 시각 자극제에 집중하는 속도가 늦은 것으로 나타났다. 여러가지 다른 연구에서도 심한 영양실조는 정보를 처리하는 능력의 감소로 인해 환경적 signal에 대한 반응력이 감소됨을 나타내었다. 결과적으로 영양실조로 인한 어린이는 육체적, 사회적 환경과의 상호작용에 제한을 받게 되며, 이로 인해 차후 지능적, 행동적 기능발휘에 심각한 영향을 초래할 수 있다고 할 수 있다.

2) 미숙아와 모유인자

모유가 인위적으로 만든 formula보다 영유아를 위해 더 유익하다는 것은 이미 알려진 사실이다. 여기서 더욱 강조하고자 하는 것은 미숙아(pre-term) 영유아이다. 왜냐

하면 미숙아는 두뇌발달이 매우 빠르게 이루어지는 시기에 태어났기 때문에 이 시기 영양공급에 매우 유의하지 않으면 행동발달에 비가역적 결과를 초래할 수 있기 때문이다.

영국에서 행해진 926명의 미숙아 연구결과를 보면 미숙아에게 모유를 먹이는 것이 높은 발달점수와 깊은 관계를 보여주었다. 그리고 이중 300명을 7살-8세에 follow-up 조사한 결과 I.Q. 점수와도 유의적 관계를 보여주었다. 이 관계는 어머니의 교육정도 와 사회적 계층의 요인을 제거한 후에도 유의적 관계를 나타내었다.

Pre-term 모유는 term 모유보다 단백질 함량이 더 많은 것으로 지적되었다. 모유에는 장사슬 ω 3계 지방산인 DHA를 비롯하여 신경조직발달을 위한 여러 요소들을 갖추고 있다. 앞에서 지적한 바와 같이 ω 3계 장사슬 지방산인 DHA는 두뇌와 망막(retina) 발달을 위해 축적되는 성분이다. 다른 요소들로는 여러가지 호르몬과 trophic factor들이 두뇌의 성장과 성숙을 위해 영향을 주는 것으로 추측되고 있다. 이상에서 연구된 미숙아에 대한 결과를 그대로 정상분만아에 적용시키기는 어렵지만, 우선 미숙아들에서 모유를 적극 권장할 것과 미숙아를 위한 formula가 바른 성분을 갖추도록 수정하는 일이 시급하다.

3) 영양실조의 역사와 학교성적

서양의 연구에서, 영양실조의 역사가 있는 어린이는 학교 성적이 유의적으로 낮게 나타났다. 영양실조의 경험이 있는 어린이들은 집중력과 기억력이 낮고, 협동력이 부족하고 감정적으로 불안정하게 나타났다. 연령이 9세에서 15세가 되어 follow up 조사한 결과 지능적 능력과 섬세한 운동기능에 있어서 정상아들보다 뒤떨어졌다. I.Q.에 있어서도 계속적으로 낮게 나타난 영양실조의 영향이 회복되지 못함을 보여주어, 초기의 영양부족이 장기적으로 결과되어 정신운동성(psychomotor), 지적능력 및 학교성적에 영향을 미침을 알 수 있다.

4) 한국 국민학생의 균형식과 인성발달

표 1에는 국민학생을 대상으로 얻은 균형식에 대한 설문을 통해 얻은 결과를 점수화하여 food habit score와 여러가지 인성발달과의 관계를 표시하였다.

<표 1> Mean Score and Standard Deviations of Psychological Functionings by Food Habit Score

Variables	Groups	Poor	Fair	Good	Excellent
		M ± SD	M ± SD	M ± SD	M ± SD
<u>1. Cognition</u>					
1. Perceptual speed		45.0 ± 5.3 ^a	48.7 ± 7.8 ^b	50.4 ± 8.2 ^b	54.5 ± 8.1 ^c
2. Space perception		48.0 ± 12.3 ^a	59.0 ± 12.6 ^b	61.0 ± 13.5 ^c	64.7 ± 10.6 ^c
3. Reasoning		41.9 ± 7.4 ^a	50.1 ± 11.9 ^b	53.7 ± 11.9 ^c	58.8 ± 9.6 ^c
4. Numerical ability		45.3 ± 14.1 ^a	52.7 ± 11.0 ^b	55.9 ± 11.7 ^c	59.3 ± 10.7 ^c
5. Memory		41.0 ± 8.8 ^a	47.3 ± 9.6 ^b	49.0 ± 11.4 ^c	51.9 ± 9.7 ^d
6. Verbal ability		44.1 ± 7.4 ^a	50.2 ± 9.1 ^b	52.4 ± 8.2 ^b	53.2 ± 5.2 ^b
7. IQ		98.9 ± 15.3 ^a	125.2 ± 9.2 ^b	121.6 ± 18.3 ^b	130.2 ± 12.1 ^c
8. Numerical reasoning		52.4 ± 9.7 ^a	59.1 ± 9.5 ^b	59.1 ± 10.3 ^b	59.9 ± 10.3 ^b
9. Figure reasoning		53.6 ± 8.1 ^a	59.9 ± 9.4 ^b	61.4 ± 8.1 ^b	61.2 ± 7.2 ^b
10. Digit span		4.9 ± 0.9 ^a	5.4 ± 1.4 ^a	5.6 ± 1.4 ^b	5.9 ± 1.7 ^b
11. Finger dexterity A		11.8 ± 2.8 ^a	15.1 ± 4.6 ^a	15.5 ± 3.9 ^b	17.4 ± 3.7 ^c
12. Finger Dexterity B		15.3 ± 4.2 ^a	17.6 ± 5.3 ^a	18.2 ± 4.7 ^b	20.2 ± 4.3 ^c
<u>11. Personality</u>					
13. General activity		11.2 ± 4.2 ^a	10.9 ± 5.1 ^a	11.5 ± 5.0 ^a	11.1 ± 5.8 ^a
14. Deominance		7.7 ± 3.6 ^a	9.7 ± 4.3 ^a	10.7 ± 4.3 ^b	11.7 ± 4.8 ^b
15. Emotional stability		9.1 ± 3.6 ^a	11.1 ± 4.9 ^a	11.1 ± 5.2 ^a	13.1 ± 4.9 ^b
16. impulsiveness		10.5 ± 4.5 ^a	9.5 ± 4.7 ^a	10.5 ± 4.5 ^a	9.5 ± 4.3 ^a
17. Reflectiveness		11.3 ± 2.9 ^a	13.3 ± 8.6 ^a	14.3 ± 3.4 ^b	15.3 ± 5.9 ^b
18. Sociability		11.2 ± 3.6 ^a	13.2 ± 5.9 ^a	13.2 ± 4.3 ^b	15.2 ± 4.1 ^b

Values not sharing a common superscript in row are significantly different at $p < 0.05$.

자료: 이기열 등, 한국영양학회지 19: 233-245, 1986.

5) 학교급식의 효과

경기도와 서울특별시 교육위원회에서 학교 급식효과를 분석한 자료를 그림 11과 표 2로 나타내었다.

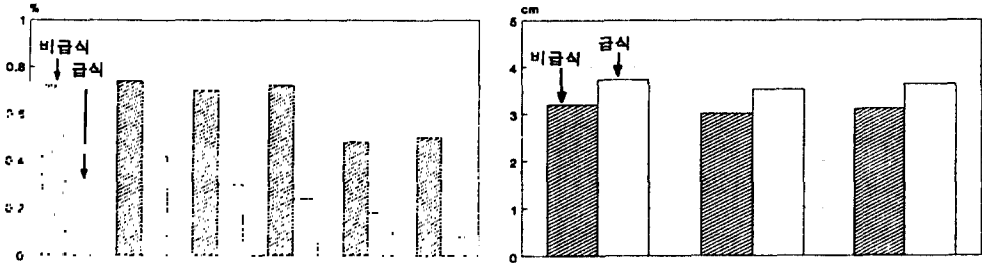


그림 11-a. 급식/비급식 학교 결석률 비교
자료: 경기도 교육위원회(1986)

그림 11-b. 급식/비급식 아동의 신장발육 비교
자료: 서울특별시 교육위원회(1986)

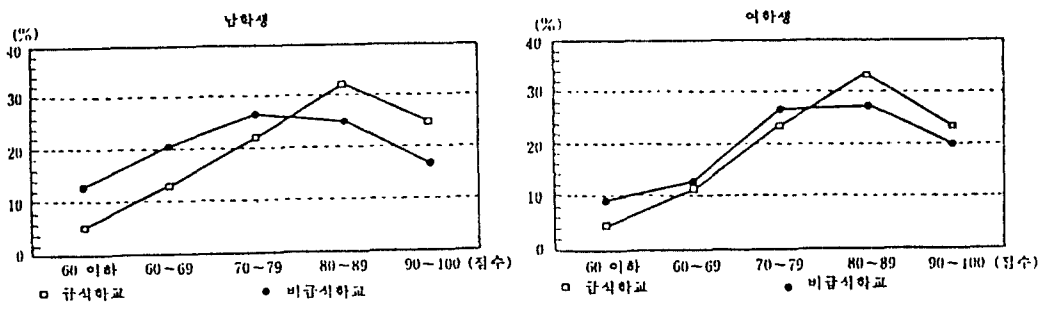


그림 11-c. 급식/비급식 학교 학생 성적 비교
자료: 경기도 교육위원회(1986)

(그림 11-a, b, c 재인용 : 영양자료집, 한국영양학회, 신광출판사, 1989.)

<표 2> 급식 아동의 공동체 의식을 중심으로 한 人性 함양 정도(단위: %)

내 용	반 응	'84	'85
① 점심 시간에 책상을 재배열 할때에 어떻게 하는가?	① 친구와 같이 힘을 합쳐서 한다.	81.47	85.74
	② 친구가 해주기 바란다.	5.49	5.20
	③ 하기 싫다.	12.51	9.06
	④ 기 타	0.53	
	계	100	100
② 급식을 같이 먹지 않는 친구들 볼 때 어떤 느낌이 드나요?	① 같이 먹었으면 좋겠다는 생각이 든다.	74.96	81.36
	② 나하고 상관이 없다.	8.09	5.84
	③ 별 생각이 없다.	16.95	12.80
	계	100	100
③ 학교급식을 실시한 후 친구들과의 관계가 어떻게 되었다고 생각합니까?	① 더 친해졌다고 생각한다.	49.80	60.98
	② 그저 그렇다.	47.94	39.02
	③ 기 타	2.26	
	계	100	100
④ 학교 급식 당번을 하는 것에 대해 어떻게 생각하십니까?	① 급우들을 위하여 솔선하고 싶다.	65.04	78.09
	② 하기 싫다.	11.84	1.36
	③ 정해 주기 때문에 할 수 없이 한다.	23.12	20.57
	계	100	100
⑤ 급식 분배는 누가 하는 것이 좋다고 생각하십니까?	① 내가 하는 것이 좋다.	13.90	41.8
	② 당번을 정해 놓고 하는 것이 좋다.	42.65	11.8
	③ 돌아가며 하는 것이 좋다.	40.23	46.4
	④ 하기 싫다.	3.46	
	⑤ 기타	0.76	
	계	100	100

자료: 서울특별시 교육위원회, p. 34, 1986

(재인용: 영양자료집, 한국영양학회, 신광출판사, 1989, p. 311).

균형된 식생활을 하는 어린이의 인지나 행동발달이 더욱 좋다는가, 학교 급식을 받는 경우 결석률이 줄고 학업성적이 올라가며, 신장이 더욱 커지고, 대인관계가 더욱 좋아지고, 공동생활을 잘하게 되는 등 다음에 제시하는 결과들은 학교급식이 엄청나게 클 장기적 효과에 비해 너무나 부분적인 사실임을 인정하지 않을 수 없다. 너무나 당연하고 분명한 사실을 타 분야 사람들이나 정책결정자들을 위해 도움을 주기 위해 제시하는 이러한 부분적 결과들이 만에 하나 영양이나 학교급식 효과를 과소평가하게 만들까 오히려 염려된다.

아침을 걸르는 것과 같은 short-term 영양효과에 대하여 간략히 언급하고자 한다. 여러 연구팀을 조사해서 아침을 걸르는 것이 늦은 아침의 문제 풀이에 분명한 영향을 준다고 보고하였다. 그리고 이들의 혈액에는 포도당과 인슐린 호르몬 농도가 낮아 있었다. 두뇌의 대사작용에는 포도당이 에너지원으로 반드시 필요하며 체조직에는 포도당의 급원이 매우 적음을 감안할 때, 아침에는 short-term fasting의 상태가 되고 이를 break해야 하는 것이다. 따라서 break fast의 의미를 재강조하게 된다. 실제로 최근 13주의 몇 학교에서 학교 아침식사 프로그램을 실시한 결과, 이 프로그램에 참여하지 않은 학생들과의 비교에서 achievement test score와 결석률 등에서 유의적인 차이를 보였다.

Ⅲ. 제 언

건강과 영양을 위한 투자의 결과는 긴 기간을 두고 하나의 健康하고 幸福한 人間으로 나타나기 때문에, cause-effect를 강조하는 경제적 원리처럼 오늘 심어 내일 수확하여 그 결과를 증거물로 보여주기가 힘들다.

두뇌발달과 행동발달에 대한, 아직은 산적해 있는 오묘한 진리의 veil이 벗겨질수록, 이들 과정에 대한 이해의 폭이 넓어질 것이고, 따라서 바람직한 총체적 人間 형성에 대한 보다 합리적이고 구체적인 지침이 마련될 수 있을 것이다.

현 시점에서 생명과학의 진리와 과학적 근거를 믿고 장기투자의 지혜를 거침없이 발휘하는 결단이 중요하다. 이 시점에서 몇가지 제안하고 싶은 점들을 열거해 보면 다음과 같다.

1. 모유수유를 생활화하자.
2. 일상 식생활의 개선(특히 가임여성)으로 올바른 모유 성분을 확보하자.
3. 직장 탁아소를 의무화하여 모유수유의 가능성을 최대로 효율화하자.
4. 모유수유가 불가능한 경우를 위하여 대체유의 영양 균형성에 대한 집중 연구와 대책을 시급히 마련하자.
5. 한국적인 이유보충식 개발을 가정차원과 상업차원에서 실천할 수 있도록 연구 노력을 집중하자.
6. 사회는 미숙아(pre-term infants)에게 더욱 큰 관심을 갖고, 이들의 출생에 대한 예방책을 미리 강구해야 하며, 의료원에서도 미숙아 clinic을 강화하여 예방 및 관리에 힘써야 하겠다.
7. 質적으로 量적으로 균형된 학교급식의 국가 차원에서의 확대실천이 시급하다.
8. 두뇌의 발달 성장이라는 측면에서 hard-ware와 soft-ware 개발을 동시에 고려해야 한다. 식품영양학자와 아동학자의 공동노력이 필요하다.

9. 가임여성, 임산부 및 수유부들을 위한 영양교육자료와 태아 및 영유아를 위한 양육 자료가 협력관계에서 개발, 보급되어야 한다.
10. 국가와 민간차원에서, 탁아소의 올바른 설치 운영을 위하여 적극 지원해야 한다.
11. 대중매체(TV등)는 국민건강 개선을 위해 영양(특히 아동을 위한) 프로그램의 체계적으로 제도화하기를 촉구한다.
12. 국가는 21세기의 주역들을 가장 人間的이고 生産的인 측면에서 지혜롭게 기르기 위하여, 국가 정책측면에서 장기투자의 지원책을 우선적으로 채택하여야 한다.

IV. 참 고 문 헌

김선희. 태아 및 아동의 영양과 성장발달, 한국영양학회지, 24(3), 243-250. 1991.

박연희·김미경·정은정·이양자. 두뇌조직의 α -tocopherol에 관한 연구 - I. Saponification 과정 유무에 의한 뇌조직, 간조직 및 혈청 α -tocopherol 농도의 비교 연구, 한국영양학회지, 23(2), 108-114, 1990.

이기열·이양자·한희정·조혜영·김명호·이성진·왕영희·박명윤. 영양상태와 인지 및 인성 기능과의 상관성에 관한 연구(국민학교 아동을 대상으로), 한국영양학회지 19, 233-245. 1986.

이양자. 고급영양학(제2 개정판), 신광출판사, 1992.

_____. 영양과 두뇌발달 한국영양학회지, 10(2), 5-11, 1977.

_____. 학교급식의 중요성. 우리나라 학교급식의 의의와 당면과제, 한국영양학회, 1990.

이한빈. A human resource approach to socio-economic planning, Keynote Speech, Intern'l Workshop on Child Development Policies in Korea, Korea Development Institute, UNICEF, 1981.

장남수. 바람직한 지방산의 섭취 형태, 한국영양학회지, 26, 486-501, 1993.

최문희·문수재·안홍석. 수유기간에 따른 모유의 성분 함량 변화와 수유부의 섭식태도 및 영아의 성장 발육에 관한 생태학적 연구. II. 모유의 지질 함량에 관한 연구, 한국영양학회지 24: 77-86, 1991.

한국영양자료집, 한국영양학회편, 신광출판사, 1989.

- Arbuckle, L. D. & Innis, S. M. : Docosahexaenoic acid in developing brain and retina of piglets fed high or low α -linolenate formula with and without fish oil, *Lipids*, 27, 89–93, 1992.
- Beard, J. L., Connor, Jr. & Jones, B. C. : Iron in the brain, *Nutr Rev*, 51(6), 157–70, 1993.
- Connor, W. E.: Neuringer M & Reisbick S: Essential fatty acids: The importance of ω 3 fatty acids in the retina and brain, *Nutr Rev*, 50(4), 21–29, 1992.
- Crawford, M. A. : The role of dietary fatty acid in biology: their place in the evolution of the human brain, *Nutr Rev*, 50(4), 3–11, 1992.
- Dobbing, J. : Effects of experimental undernutrition on development of the nervous system. In *Malnutrition, Learning and Behavior*: Cambridge: The MIT Press. 1967.
- Guilarte, T. R. : Vitamin B₆ and cognitive development: Recent research findings from human and animal studies, *Nutr Rev*, 51(7), 193–198, 1993.
- Harris, E. D. : New insights into placental iron transport, *Nutr Rev*, 50(11), 320–331, 1992.
- Jacobson, S. : Sequence of myelination in the brain of the albino rat. A. Cerebral cortex, thalamus and related structures, *J Comb neurol*, 121, 5–29, 1963.
- Kanarek, R. B. & Marks–Kaufman, R. : *Nutrition and Behavior, New Perspectives*, New York: Tufts Univ., Pub. by Van Nostrand Reinhold. 1991.
- Lands, W. E. : Biochemistry and physiology of ω 3 fatty acids, *FASEB J.* 6, 2530–2536, 1993.

- Leaf, A. & Weber, P. C.: A new era for science in nutrition, *Am J Clin Nutr*, 45, 1048–53, 1987.
- Lee–Kim, Y. C., Kim, M. K., Choi, Y. J., Hwang, H. J., Chung, H. Y., Lee, J. H., Chee, K. M., Park, J. S., & Cha, Y. N.: Effects of dietary ω 3/ ω 6 fatty acids on fatty acid composition of brain, serum, liver, maternal milk & adipose tissue and on hepatic enzymes, 3rd Toronto Workshop on Essential Fatty Acids, Toronto, Canada, 1991.
- Lucas, A., Morley, R., Cole, T. J., Lister, G., & Leeson–Payne, C. : Breast milk and subsequent intelligence quotient in children born preterm, *Nutr Rev*, 50(11), 334–335, 1992.
- Lucas, A., Morley, R., Cole, T. J., et al: Early diet in pre–term babies and developmental status at 18 months, *Lancet*, 335, 1477–1481, 1990.
- Mackenna, B. R. & Callander, R. : *Illustrated Physiology*, 5th ed., Churchill Livingstone. New York: 1990.
- Marieb, E. N. : *Essentials of Human Anatomy & Physiology*. 3rd ed., The Benjamin/Cummings Publ. Co., Inc., 1991.
- Martini, F. : *Fundamentals of Anatomy & Physiology*. Prentice Hall International Inc., 1989.
- Moreira, F., Kunz, C., & Lonnerdal, B. Quantitation and analysis of protein in preterm milk from mothers delivering at different gestational ages, *FASEB J*. 6, A: 1115, 1992.
- Nettleton, J. A. : Are n–3 fatty acids essential nutrients for fetal and infant development? *J Am Diet Assoc*, 93, 58–64, 1993.

- Simopoulos, A. P. : Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development, *Am J Clin Nutr*, 54, 438-463, 1991.
- Taylor, E. M., & Morgan, E. H. : Developmental changes in transferrin and iron uptake by the brain the rat, *Dev Brain Res*, 55, 35-42, 1990.
- Thompson, R. F. : 腦, 金基錫 譯, 星苑社 1989.
- Today's Children-Tomorrow's World, The State of the World's Children, UNICEF, 1989.
- Um, Y. S., Chung, E. J., Lee, J. H., & Lee-Kim, Y. C.: Effects of dietary ω 3/ ω 6 fatty acid composition on phospholipids of brain synaptosome & RBC membranes and on behavioral development of the rat, Presented at the 15th Inter'l Congr Nutr, Adelaide, Australia, 1993.
- Westermarck, T., Antila, E., & Atroschi, F. : Vitamin E Therapy in Neurological Diseases. In *Vitamin E in Health and Disease*, Packer & J. Fuchs(Eds.), J, New York, Marcel Dekker, Inc. 1992.
- Winck, M. : Changes in nucleic acid and protein content of the human brain during growth, *Pediat Res*, 2, 352-355, 1968.
- Winick, M. : Cellular growth of fetus and placenta. In *Fetal Growth and Development*, M. A. Waisman, and G. Kerr,(Eds.). New York: McGraw-Hill Book Co. 1970.