

Scientific Reasoning Process of Blood Circulation Research Based on Giere's Theoretical Hypotheses Evaluation Program

Seyoung Noh • Yongju Kwon*
Korea National University of Education

<ABSTRACT>

Although science knowledge is variable and theoretically dependent, middle school students have a view that the concept of scientific knowledge is not clear and even scientific knowledge is absolute. As we hypothesize to explain the natural phenomena accurately and logically verify the hypothesis, science has a clear and rational system. In science education, a program is needed to verify scientific knowledge by evaluating hypotheses. Giere developed a program to evaluate these theoretical hypotheses. The purpose of this study is to understand the characteristics of science knowledge through the history of science related to the contents of science curriculum of middle school students. It is also possible to recognize that scientific knowledge is formed through rational verification methods by evaluating hypotheses.

This study applied the history of research on heart and blood to Giere's hypothesis evaluation program and confirmed that this analysis is useful for presenting and evaluating correct hypotheses. Therefore, we propose to introduce these hypothesis evaluation programs into science education so that students can present hypotheses in an appropriate way and make inferences from the scientific process.

Key words : scientific knowledge, hypothesis evaluation program, scientific reasoning, blood circulation

Introduction

자연현상에 대한 지식인 과학지식은 과학 연구의 역사와 함께 축적되고 변하여 왔으며 시대에 따라 과학지식을 생성하고 조직하는 과정도 발달해 왔다. 아리스토텔레스는 과학지식을 보편타당하고 불변하는 속성을 지녔다고 했지만(Galik, 2006), 혈액순환의 연구역사를 살펴보면 심장과 혈관계에 관한 과학지식은 관찰의 한계로 인한 오류가 있었고, 시대가 지남에 따라 수정되고 변화되어 왔다. 직접적으

로 관찰하거나 측정할 수 있는 방법에 대한 한계도 있었으나, 이렇게 관찰하고 측정한 사실을 해석하는 것은 주관적이고 가변적인 인간이기 때문에 과학지식 또한 경험적인 증거에 의해 유지되는 가치나 기존 이론으로부터 자유롭지 않다(Popper, 1953). 혈액순환 연구사를 통해서 기존의 심장과 혈액에 관한 지식이 어떻게 더 나은 추론과 해답으로 대체되어 왔는지(Yoon, 2012), 또한 일반적인 신념과는 달리 과학지식이 얼마나 경험적인 사실과 기존 이론에 의해 지지되어 온 가변적이고 이론의존적인 특성을

* Corresponding Author : Yongju Kwon, kwonyj@knue.ac.kr

지냈는지 알 수 있다(Kwon et al., 2013).

그럼에도 불구하고 중고등학교 학생들의 인식을 살펴보면 과학지식에 대한 개념이 명확하지 않고 (Han & Chung, 1997), 중학생들 뿐 아니라 교사들 또한 절대주의적인 지식관점을 가지고 있는 경우가 있다(Sohn & Park, 2002). 게다가 중학교 과학영재들의 과학지식에 대한 인식의 개선이 요구되고 있다(Park & Hong, 2011). 따라서, 과학지식의 이러한 특성을 현재 중학교 교과과정에 있는 내용과 연관시켜 살펴볼 필요가 있다.

논리적 사고에 기인하는 과학적 방법으로 과학지식은 검증되고 진화하여 왔다. 전통적으로는 귀납적 추론을 통해 관찰된 사실의 규칙성을 바탕으로 과학지식을 생성하였다. 그러나 방법적인 면에서 효율적이지 못하고 결론이 참이라는 보장이 없기 때문에 지금의 과학지식의 형성은 가설을 세우고 귀납적 추론과정과 연역적 추론과정으로 검증하는 가설-연역법을 사용하고 있다(Lawson, 2000). 연구자들은 자연현상에 대한 이론적 가설을 만들어내고 실험과 관찰에 의한 자료를 통해 가설을 검증하는 과학적 과정을 거치게 된다. 이 때 자연현상을 더 잘 설명하는 가설을 만들기 위해 일련의 과정을 거쳐 객관적으로 가설을 평가해 볼 수 있다. 본 연구는 이러한 가설 평가과정 중 Giere(2006)의 이론적 가설 평가 프로그램을 통해 혈액 순환 연구의 역사 속에서 형성된 과학지식들을 평가해 보고자 한다.

과학적 추론과 과학적 과정이 과학자들에게만 유용한 것이 아니라, 과학 교육을 통해 학생들에게 과학탐구 능력을 함양시킬 수 있는 기회로 활용될 수 있다. 현대의 일상생활에 막대한 영향을 미치는 과학과 기술의 진보 속에서 과학적 정보를 입수하고 평가하는 데에도 과학적 추론은 반드시 필요하다. 혈액순환 연구과정이라는 사례를 통한 과학적 추론 학습은 가설형성 뿐 아니라 효과적인 과학적 방법을 학습하기 위한 교수학습에도 다양하게 적용할 수 있다(Kwon et al., 2013).

이에 본 연구에서는 혈액 순환에 대해 고대에서부터 17세기까지 제시되었던 혈액과 심장에 대한 모델을 네 가지로 나누어 제시하고, Giere(2006)의 이론적 가설을 위한 평가의 프로그램을 이용하여 혈액순환에 대한 이론적 모델의 흐름을 확인하고

평가해 보고자 한다. 또한 모델의 변화 과정에 기초한 과학적 방법과 사고과정을 도출하고 이를 활용하여 과학 교육에의 적용을 제안하고자 한다.

Materials and Methods

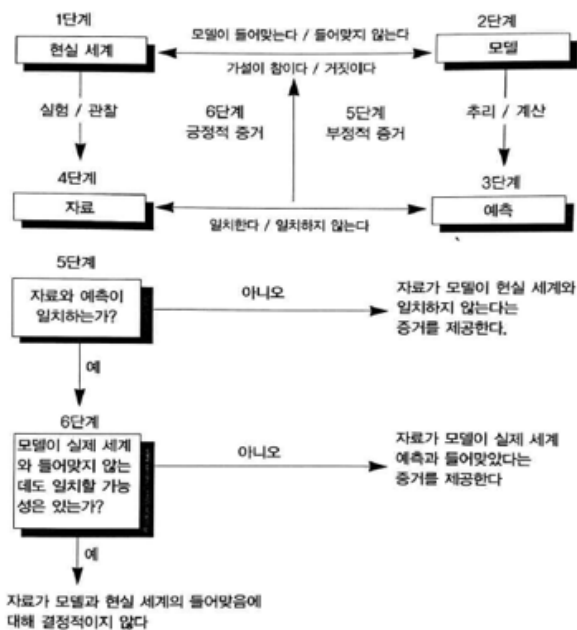
과학사를 살펴보면 기존의 과학지식이 잘못되었다는 것은 쉽게 인정되지 않는다. 이른바 패러다임의 전환이 일어나야 하며 이것을 과학 혁명이라고도 한다(Khun, 2013). 새로운 가설이 등장했을 때 그 가설에 대한 적절한 평가를 해 본다면 이러한 오류를 범할 가능성이 좀 더 낮아질 것이라고 생각된다. 따라서 심장과 혈관계에 대한 의학자들의 관점을 시대별 새로운 가설의 등장에 따라 총 네 가지의 모델로 구분하였으며, 과학지식의 흐름을 해석하기 위한 Giere(2006)의 이론적 가설의 평가를 위한 프로그램 [Figure 1]을 적용하여 보았다.

본 연구에서 혈액과 심장에 대한 고대에서부터 17세기까지의 가설과 과학지식의 변화과정에 대해 Giere의 이론적 가설 평가 프로그램으로 분석한 주요 문헌은 <Table 1>에 제시되어 있다.

<Table 1> Related references of blood system research history

Author(Year)	Title
Yoon, T. W. (2012).	William Harvey's anatomical studies and natural philosophy
Goldberg, B. I. (2012).	William Harvey, soul searcher: Teleology and philosophical anatomy
Gillispie, & Coulston. C. (1983).	The Edge of Objectivity
Chung, E. (2012).	Anatomical harmony of Art : Andereas Vesalius' De humani corporis fabrica
Pearce, J. M. (2007).	Malpighi and the discovery of capillaries
Hwang, S. I. (2004)	Historical figures in medicine
Son, S. Y. (2008).	Harvey's story of bood circulation

Giere는 처음부터 여러 매체에서 접하는 과학지식에 대한 추론을 이해하고 평가하는 지적 능력을 부여하기 위해 이론적 가설을 평가하기 위한 프로그램을 제시하였다(Giere, 2001). 가설 평가의 기본 바탕은, 직접 접근이 가능하지 않은 실세계와 모델이 들어맞는지를 알아보기 위해, 실세계 보다는 접근이 상대적으로 가능한 정보인 자료와 예측의 일치 여부를 이용하는 것이다. 이 과정에서 과학적 사고를 통해 모델로부터 예측을 할 수 있고, 실세계로부터 실험 또는 관찰로 자료를 얻을 수 있어 결과적으로 과학자들의 예측과 객관적인 자료를 평가하여 가설을 검증할 수 있다. Giere(2006)가 고안한 가설평가 프로그램에서 실세계, 모델, 예측, 자료의 4가지 기본 요소를 확인하고 나서, 이론적 가설 평가가 이루어지는 연계된 두 단계로 넘어간다.



[Figure 1] Theoretical Hypothesis Evaluation Program (Giere, 2006)

[Figure 1]에서 1단계는 우리가 알아내고자 하는 자연현상인 실세계이다. 연구의 초점에 있는 실세계를 확인하고 일상적인 용어들로 기술한다. 2단계는 실세계와 들어맞음을 확인하기 위한 이론적 모델이다. 적절한 과학적 용어들을 사용하여 기술한다. 3단계는 모델에서 추론과 계산을 통한 예측이다. 모델이 실세계와 잘 들어맞는다면 확보해야 할 자료가

무엇인가를 확인할 수 있다. 4단계는 실세계를 관찰하거나 실험한 자료이다. 이렇게 4가지 기본적인 구성요소를 확인하고 나면 5단계로, 3단계의 예측과 4단계의 자료를 확인하여 일치여부를 판단한다. 자료와 예측이 일치하지 않으면 가설이 거짓인 부정적인 증거가 제공되는 것이다. 일치하면 6단계로 검증 중인 모델이 실세계와 맞지 않음에도 예측이 자료와 일치했을 가능성이 없는지 검토해 본다. 그러한 가능성이 없을 때 자료에서 모델이 실세계와 들어맞는다는, 가설이 참이 되는 긍정적인 증거라고 결론지으면 된다. 이러한 긍정적인 증거를 많이 얻을수록 자연현상인 실세계를 잘 설명할 가능성, 즉 결론이 올바르게 도출될 가능성이 커진다 (Giere, 2006).

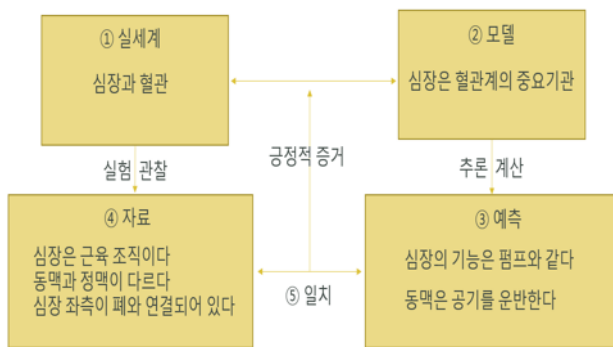
Results and Discussions

Hypotheses Evaluation on the Ancient Blood System

고대 이집트나 중국에서도 맥박이나 순환에 대한 개념이나 이해가 있었다. 크게 흐름에 비유하는 열린 체계이거나 순환에 비유하는 닫힌 체계, 두 가지의 관점이었으나 체계적인 개념은 아니었다(Yoon, 2012). 학문적인 필요에 의한 최초의 해부는 남부 이탈리아의 Alcmaen에서 시작되었고, 당시 해부가 가능했던 대부분의 시체에서는 동맥이 비어 있어 정맥만이 혈관이라고 생각했다(Son, 2008).

헬레니즘 시대(B.C.338~2세기쯤)에는 그리스 이오니아지방에서 북아프리카 알렉산드리아로 의학의 중심이 이동하여, 관찰 뿐 아니라 실험적 방법을 토대로 실제 인체 해부가 체계적으로 이루어졌으며, 절정을 이루다 쇠퇴하였다(Hwang, 2006). 맥박과 심장을 연결시키지는 못했으나, 동맥의 확장과 수축이 심장에서 온다고 보았다(Yoon, 2012).

이러한 고대 혈관계에 관한 가설을 Giere(2006)의 가설 평가 프로그램에 적용하여 [Figure 2]에 나타내었다.



⑥ 사체 해부를 통한 관찰이므로 자료는 모형과 실세계의 들어맞음에 대해 결정적이지 않다.

[Figure 2] Hypothesis evaluation on the ancient blood system

1단계 현실세계 : 실세계의 주제는 심장과 혈관에 관한 고대의 혈관계에 대한 관점이다.

2단계 모델 : 고대 사람들은 심장을 혈관계의 중요한 기관이라 생각했다.

3단계 예측 : Erasistratos(B.C.304~?B.C. 250)는 건삭과 방실판막의 존재로 혈액이 정맥에서 동맥 방향으로 흘러가게 된다는 사실을 알게 되었고 심장이 펌프와 같은 기능을 하는 혈관계의 중요한 기관이라 생각했고 동맥 속에 공기가 포함되어 있다고 추론하였다(Yoon, 2012).

4단계 자료 : Hippocrates(?B.C.460~?B.C.377) 시대에는 임상적으로 환자에 대한 자세한 관찰에 중점을 두고 있었지만, Hippocrates전집 중 『심장에 관하여(De Corde)』에서는 심장을 근육 조직으로 파악하고 있었고 해부를 통해 알게 된 것이라 생각되는 내용들도 있다(Chung, 2012). 기원전 3세기에 체계적으로 인체해부를 시행한 최초의 인물인 Herophilos (B.C.335~?B.C. 280)는 맥박을 물시계로 측정하였고, 인체를 정확하고 객관적으로 관찰하여 동맥과 정맥의 구조가 다르고 동맥이 6배 정도 더 두텁다는 사실을 알았다(Hwang, 2006). Erasistratos (B.C.304~?B.C. 250)는 심장을 관찰한 결과 좌측이 폐와 연결되어있다는 것을 알았다(Yoon, 2012).

5단계 부정적 증거? : 자료와 예측이 일치한다. 부정적 증거가 없다. 심장이 근육조직인 것은 심장이 펌프와 같은 기능을 하기에 적합했고, 동맥과 정맥이 다르다는 것과 심장 좌측이 폐와 연결되어

있다는 것은 동맥이 공기를 운반한다는 예측을 설명할 수 있었다.

6단계 긍정적 증거? : 모델이 현실세계와 일치하지 않는데 자료와 예측이 일치할 가능성이 있는가? 그렇다. 당시의 자료가 시체를 해부한 것이다 보니 관찰의 한계가 있었다. 따라서 자료는 비결정적인 자료이다.

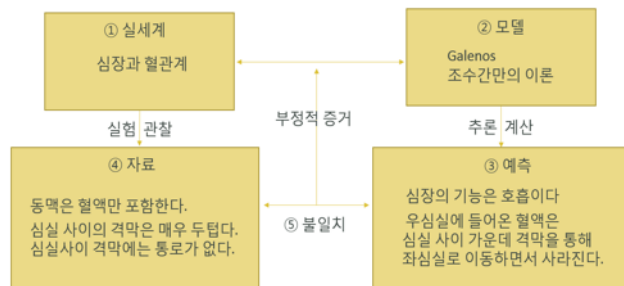
<Table 2> Hypothesis evaluation on the ancient blood system

Step 1 Real World	pulse, heart and blood vessels
Step 2 Model	The heart is important to the vascular system.
Step 3 Prediction	· The function of the heart is like a pump. · The arteries carry air.
Step 4 Data	· From the Hippocrates era, detailed observations of the patient revealed that the heart was muscle tissue. · Herophilos observed that the arteries and veins were different in structure and the arteries were thicker. · Erasistratos observed that the left heart was connected to the lungs
Step 5 Negative Evidence	Is the data agree with the prediction? Yes. Therefore, the hypothesis can be evaluated as true.
Step 6 Positive Evidence	Is there any possibility that the prediction is agree with the data even though the model does not fit the real world? Yes. Because There is a limit to the observation that the material is due to dissection of the carcass.

자료와 예측이 일치하는 긍정적인 증거로 모델은 실세계에 들어맞지만 결정적인 증거를 제공하지 못한다<Table 2>. 따라서 고대의 혈관계에 대한 관점에서는 새로운 대안적 설명이 필요하다고 결론지을 수 있다.

Hypotheses Evaluation on the Roman Period Blood System

로마시대의 심장과 혈관계에 대한 대안적 설명은 Galenos의 조수간만의 이론으로 Giere(2008)의 가설 평가 프로그램을 적용하면 [Figure 3]과 같다.



[Figure 3] Hypothesis evaluation on the Roman period blood system

1단계 현실세계 : 실세계의 주제는 로마시대의 심장과 혈관계에 대한 관점이다.

2단계 모델 : 고대 로마시대 검투사들을 치료했던 Galenos(130~200)는 간에서 혈액이 생성되며, 온몸으로 천천히 영양분을 공급하며 흐르면서 소모된다고 하였다. 조수간만의 이론으로 심장과 혈액의 움직임을 설명하며 밀물처럼 심장을 향해 들어가고 썰물처럼 심장에서 나온다고 주장하였다(Yoon, 2012).

3단계 예측 : Galenos는 몸에 영양을 공급하는 정맥계와 심장으로부터 받은 생기를 몸에 공급해주는 동맥계가 동시에 작용한다고 여겼다. 또한 혈액이 우심실과 좌심실 사이 격막을 통해 흐른다고 생각했다. 공기는 여전히 폐를 거쳐 우측 심장으로 들어간다고 믿으며, 순환의 개념이 아닌 열린 시스템이라 생각했다(Yoon, 2012).

4단계 자료 : Galenos는 살아있는 동물의 동맥을 절개하여 동맥에 혈액이 들어 있다는 사실을 관찰했다(Yoon, 2012). Servetus는 심실 사이의 격막에 통로가 존재하지 않는다고 했고, Vesalius도 해부를 통한 자세한 관찰을 통해 심실사이의 중간 벽에 구멍이 없다는 것을 확인하였고, 좌심실과 동맥에 피가 많이 들어 있음을 알게 되었다(Son, 2006).

5단계 부정적 증거? : 자료와 예측이 일치하지

않는다. 부정적 증거가 있다.

여기에서 주목해야 할 점은 자료와 예측이 일치하지 않는 부정적인 증거라는 점이다. 모델이 실제계와 들어맞지 않음에도 1400년 동안이나 Galenos의 모델이 공고히 유지되어 왔다.

<Table 3>에서 모델은 실제계를 적절하게 나타내지 못하는 경우로 자료와 예측이 불일치한다. 따라서 모델이 뭔가 잘못되었다는 것이다. 이처럼 Giere의 프로그램은 가설을 검증하여 과학지식의 타당성을 평가할 수 있다.

<Table 3> Hypothesis evaluation on the Roman period blood system

Step 1	heart and blood system
Real World	
Step 2	The ebb and flow theory
Model	
Step 3	· The function of the heart is breathing..
Prediction	· Blood entering the right ventricle moves through the septum between the ventricles to the left ventricle and disappears.
Step 4	· Arteries contain only blood.
Data	· The septum between the ventricles is very thick.
	· There is no passage in the septum between the ventricles.
Step 5	Is the data agree with the prediction?
Negative Evidence	No. The data provide negative evidence that the model does not match the real world.

Galenos는 저명인사들과 황제의 주치의이기도 했고, 전통적인 히포크라테스의 의학과 헬레니즘시대 의학의 중심이었던 알렉산드리아 의학을 종합하여 많은 책을 저술하면서 논리적이고 통합적인 의학체계를 만들었으며 철학적 용어를 통해 신체와 질병에 대한 설명을 시도하여 의학이 철학의 한 분야로 자리 잡을 수 있도록 하였다. 로마제국 역시 다른 고대 사회와 마찬가지로 인체 해부를 금하였기 때문에 주로 돼지, 원숭이, 개 등의 해부에 토대를 둔 것이었고, 망설임 없이 그 결과를 인체への 적용으로 확장하기도 했지만, 16세기에 이르기까지 최고의

의학 교과서로서의 지위를 누리며 회의나 도전도 거의 없이 당연하게 받아들여졌다(Hwang, 2004).

중세 유럽에서의 신학 중심의 분위기는 신체보다 영혼에 관심을 기울이도록 하여 해부를 통한 의학의 뚜렷한 발전이 없었으나, 페르시아, 그리스, 로마의 의학은 이슬람 세계의 임상과정에서 도입되었고, 당시 모든 의학적 지식을 총망라하여 이탈리아에서 르네상스 초기까지도 의학 교과서로 사용되었던 Avicenna(908~1037)『의학규범』과 Al-Majusi의 『Complete Book of The Medical Art(980)』에서도 Galenos의 이론을 계승하고 있다(Yoon, 2012). 중세 전기의 해부학의 암흑시기를 지나고 12세기부터 사체 해부가 조금씩 행해지고 시작했으며 13세기 이후에는 점차 그 사례가 증가하였다(Hwang, 2004).

13세기에 아라비아인 Ibn-al-Nefis는 의사이자 철학자로 좌심실과 우심실 사이에 있는 격막은 매우 두터워 어떤 통로도 존재하지 않다고 논리적인 연역만을 통해 폐순환 모델을 생각했다(Yoon, 2012).

인체 구조에 대한 학문적 호기심을 채우기 위해 Servetus(1511~1553)는 스페인에서 허락되지 않은 해부를 몰래 하며 연구를 했고, 동맥과 정맥, 심장 등을 일일이 확인하며 혈액이 순환할 것이라는 생각을 갖게 되었다. 그러나 종교계의 지지를 받던 Galenos의 이론에 대한 도전인데다가 인체 해부를 했고, 과학적인 관찰을 지나치게 종교적으로 신학적인 관점에서 설명하였기 때문에, 종교개혁가 Jean Calvin에 의해 Servetus는 이단으로 몰리게 되고 화형을 당해서, 혈액 순환에 대한 그의 생각은 1694년에 이르기까지 알려지지 않았다(Son, 2006).

14세기에 볼로냐 대학에서 최초로 공개적인 해부를 시작하였으나, Galenos의 책을 의학교수가 읽어 주면 이발외과 의사 해부하였고, 학생들도 실제 해부에 참여하지 않았다(Chung, 2012). 그리고 이발외과 의들은 라틴어로 이루어지는 어려운 의사들의 토론에 참여할 수 없었다. 고대의 의학 이론을 전혀 알지 못하는 사람이 해부를 하고, 의학 책을 읽는 사람은 해부를 하지 못했기 때문에 해부학은 오랫동안 발전하지 못했다. 14세기경 이탈리아에서는 르네상스 운동이 시작되고 북이탈리아에서는 실제로 해부하는 문화와 전통이 발달했기 때문에 해부가 가능했다. 볼로냐와 피렌체에서 사체 해부가 시작되었

고, 이탈리아 파도바 대학의 교수들도 직접 해부를 하기 시작하였다(Son, 2006).

종교 전쟁이 휩쓸던 16세기에도 베네치아공화국에 속해 있던 파도바대학은 조직화된 상인들의 큰 영향력으로 비교적 안정된 학문연구 환경이 만들어져 파도바 대학은 당시 가장 수준 높은 의학교육이 이루어질 수 있었다. 16세기중엽 벨기에의 Andreas Vesalius(1514~1564)는 파리 대학을 거쳐, 1537년 파도바 대학교에서 박사학위를 받고 외과와 해부학 교수가 되었다(Yoon, 2012).

Vesalius가 1543년에 저술한 『인체구조에 대하여 (De Humani Corporis Fabrica, 1543)』의 속표지 그림은 Vesalius가 테이블로 내려와서 해부된 실물에 관하여 직접 강의를 하고 설명을 하는 것을 지체 높은 사람들이 관람하는 광경이다. 그리고 실험 조수는 테이블 밑에서 천하게 싸우고 있는 모습으로 격하시키고, 왼쪽에는 원숭이를 그려 넣어 해부학 상 엄청난 오류를 제공했던 비판의 상징으로 나타내고 있다. 이러한 실물 교수의 방법은 Vesalius가 일으킨 혁신이었다(Gillispie, 1983).

Vesalius의 파리 대학 스승인 Sylvius를 포함한 대부분의 의학교수들은 Galenos의 해부학에 감히 오류를 지적한 Vesalius의 성과와 자세를 아니꼽게 보았다. 그러나 Sylvius가 직접 해부하고 관찰해 보니 Galenos 저서의 여러 오류를 인정할 수밖에 없게 되었다. 차마 Sylvius는 천년이 넘도록 신봉하고 도전받지 않아 온 Galenos의 오류를 인정할 수 없어 그 사이에 사람의 구조가 해부학적으로 변했다는 변명을 하였다(Hwang, 2004).

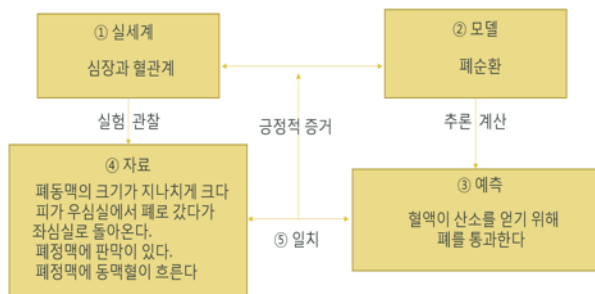
Galenos이론과 종교계에 대한 도전이라 여겨져 화형을 당했던 Servetus와 달리 Vesalius는 부정하기 힘든 자세한 관찰과 증거를 제시하였고 실물교수를 통해 많은 사람으로부터 검증 받았던 것이다.

로마시대부터 이어져 온 Galenos의 이론에 대한 가설 평가는 과학지식을 구성하는 하나의 과정으로써의 가설 검증이 중요함을 보여주며, 과학지식에 대한 일반적인 신념과는 다른 과학지식의 특성을 엿볼 수 있는 과학사이다. 또한 과학 지식에 대한 배경요인들 중에 사회적 지위나 전문적 명성, 과학경력이 부여하는 재산권이 영향을 미친다는 것을 알 수 있다(Merton, 1957).

Hypotheses Evaluation on Servetus's Medieval Blood System

중세후기 스페인의 신학자이자 의학자인 Michael Servetus는『기독교신앙의 회복, 1531』에서 폐순환을 언급하고 있다. 폐를 통과하는 긴 통로를 지나 가야지 않고서는 우심실의 혈액이 좌심실에 도달할 수 없다고 보았다(Yoon, 2012).

Servetus가 심장과 혈관계에 대해 언급한 폐순환을 Giere(2006)의 가설평가 프로그램을 적용하면 [Figure 4]와 같다.



[Figure 4] Hypothesis evaluation on the pulmonary circulation

1단계 현실세계 : 현실세계는 심장과 혈관계이다.

2단계 모델 : Realdo Colombo(1510 ~ 1559)도 1559년『해부학에 관하여(De Re Anatomica)』를 출간하여, 폐정맥에 동맥혈이 흐르는 이유를 설명하려면 혈액이 폐를 통과하면서 공기와 섞여야 한다고 주장하였다. 판막 때문에 혈액이 심장 쪽으로 흘러간다고 설명하며, 폐동맥이 혈액을 폐로 이동시키면서 폐정맥은 공기와 섞인 혈액을 좌심실로 되돌려 보낸다는 폐순환을 주장했다(Yoon, 2012).

3단계 예측 : Servetus는 혈액이 폐를 통과하는 것은 산소를 얻기 위한 것이라고 주장했다(Yoon, 2012).

4단계 자료 : Servetus는 단지 폐에 영양분을 공급하기 위해서 혈액이 폐 쪽으로 흘러가는 것이라고 보기에 폐동맥의 크기가 지나치게 크다는 것을 알았다. Vesalius를 이어 파도바 대학에서 해부학 교수를 맡았던 Realdo Colombo는 1,000여구의

사체를 해부하여 폐정맥에 있는 판막과 폐정맥에 동맥혈이 흐른다는 것을 발견했고, 혈액이 우심실에서 폐로 갔다가 좌심실로 돌아온다는 것을 관찰하였다(Yoon, 2012).

5단계 부정적 증거? : 자료와 예측이 일치한다. 부정적 증거가 없다. 폐동맥의 크기가 지나치게 크다는 사실은 우심실의 혈액이 좌심실에 도달하기 위해 폐를 통과하는 긴 통로를 지나간다는 예측을 설명할 수 있다. 또한 폐정맥에 판막이 있으며 동맥혈이 흐르며 피가 우심실에서 폐로 갔다가 좌심실로 돌아온다는 사실은 혈액이 산소를 얻기 위해 폐를 통과한다는 예측을 설명할 수 있다.

6단계 긍정적 증거? : 모델이 현실세계와 일치하지 않는데 자료와 예측이 일치할 가능성이 있는가? 동일한 결과를 산출할 수 있는 그럴듯한 다른 모델이 없다.

<Table 4> Hypothesis evaluation on Servetus's medieval blood system

Step 1	heart and blood system
Real World	
Step 2	the pulmonary circulation
Model	
Step 3	· Blood passes through the lungs to get oxygen.
Prediction	· The size of the pulmonary artery is too large.
Step 4	· Blood goes from the right ventricle to the lungs and back to the left ventricle.
Data	· There is a valve in pulmonary vein.
	· Oxygen-rich blood flows through the pulmonary veins.
Step 5	Is the data agree with the prediction?
Negative Evidence	Yes. Therefore, the hypothesis can be evaluated as true.
Step 6	Is there any possibility that the prediction is agree with the data even though the model does not fit the real world? There is no other plausible models that can produce the same predictions.
Positive Evidence	

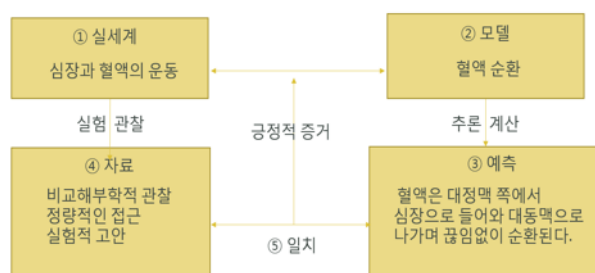
Galenos의 이론과는 달리 Servetus와 Colombo의 모델을 Giere(2006)의 가설 평가 프로그램으로 분석

하면 자료와 예측이 일치하여 심장과 혈관계라는 실세계에 모델이 잘 들어맞는 긍정적인 증거를 제공함을 알 수 있다<Table 4>. 이 프로그램을 따를 경우 Galenos의 이론에 대한 평가와 비교하면 보다 올바른 결론에 도달하기가 쉽다

Hypotheses Evaluation on William Harvey's Blood Circulation System

William Harvey의 스승인 같은 파도바 대학의 Fabricius(1533~1619)는 정맥의 구조에 관심이 많아서 판막들을 특별히 상세하게 관찰하였고, 언제나 정맥의 흐름이 심장 쪽을 향하고 있다는 것을 알았다. 그러나 그는 여전히 Galenos 이론에 맞추어 판막들이 과한 양의 혈액이 물리는 것을 막아 지나치게 정맥이 부풀어 오르는 것을 막아 주는 역할을 한다고 추론했다. 파도바 대학은 유럽 최초로 1584년에 해부학 강의실을 마련했고, Fabricius는 1594년이 강의실을 청중들을 위한 강의실로 개조하여 배부를 진행했고 의과대학생들은 물론 일반인들에게도 공개했다. 이렇게 타당성을 확보하는 것은 중세의 엄격한 추론과 논리적 증명을 대신할 관찰과 실험이라는 새로운 방법이 도입되는 과정이라고 할 수 있다(Yoon, 2012).

William Harvey는 80여종 이상의 수많은 동물 해부와 과학적인 접근으로 혈액이 순환한다는 새로운 가설을 제시했다. Giere(2006)의 가설 평가 프로그램을 적용하여 Harvey의 혈액순환모델을 분석하면 [Figure 5]와 같다.



⑥ 동맥과 정맥의 연결을 설명하지 못하므로 자료가 실세계와 들어맞지 않을 가능성이 있다.

[Figure 5] Hypothesis evaluation on William Harvey's blood circulation system 1

1단계 현실세계 : 실세계의 주제는 심장과 혈액

의 운동이다.

2단계 모델 : William Harvey는 과학적인 접근으로 혈액이 순환한다는 새로운 가설을 제시했다.

3단계 예측 : 17세기 초 William Harvey(1578~1657)는 정맥의 판막들의 배열이 한쪽 방향으로 되어 있다는 사실을 관찰하였고, 1618년경 혈액이 순환한다는 것, 더 나아가 그 속도가 매우 빠르다는 생각에 도달한다. 또한 심장의 박동이 혈액을 순환하게 한다는 사실도 예측하였다(Yoon, 2012).

4단계 자료 : 1628년『동물의 심장과 혈액의 운동에 대한 해부학적 연구(Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus)』라는 책으로 이러한 발견들을 정리하여 출간하였다. 혈액 순환을 구성하고 있는 3가지 명제를 증명하여 가설을 검증하려 했다. 그의 저서 10장에 심장박동이 느린 동물의 심장 실험으로 첫 번째 명제, 심장운동에 의해 정맥에서 동맥으로 이동하는 것을 증명하였다. 뱀의 대동맥을 묶으면 심장에 피가 모이게 되지만 대정맥을 묶으면 심장이 비어버리는 현상을 관찰한 것이다. 11장에서 두 번째 명제, 동맥의 박동으로 신체의 모든 부분들을 향해 지속적으로 전달됨을 결찰사 실험을 통해 증명하였다. 결찰사를 묶어 정맥의 흐름만 막히고 동맥의 흐름은 지속되도록 하여 혈액이 심장에서부터 나와 동맥을 통해 온 몸으로 전달된다는 사실을 확인하였다. 그리고 신체 말단 부위에 동맥과 정맥 간 연결 통로의 존재를 암시하기도 하였다. 13장에서는 정맥판막 실험을 통해 세 번째 명제, 정맥은 심장으로 끊임없이 되돌려 보내는 기능을 담당한다는 것을 보여주었다. 혈관에 들어갈 수 있을 정도로 가는 철사를 팔목의 정맥에 넣는 실험을 통해 심장 쪽으로만 들어가는 것을 확인하였다. 정맥이 심장을 향해서 되돌아가는 혈액을 위한 통로라는 점을 보여주어 간에서 만들어진 혈액이 정맥을 통해 심장에서 신체의 말단 쪽으로 흘러간다는 Galenos의 이론을 반박하였다(Goldberg, 2012).

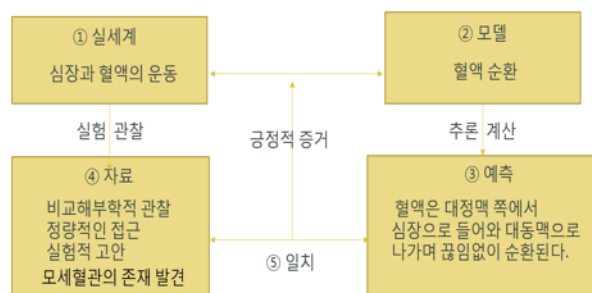
5단계 부정적 증거? : 자료와 예측이 일치한다. 부정적 증거가 없다. William Harvey의 과학적인 접근법은 크게 세 가지 범주로 나눌 수 있다. 먼저, 비교해부학적 관찰로 수축이 심장의 본질적인 운동 이하는 점을 밝혔다. 그리고 정량적인 접근으로 온

몸에 흐르는 혈액의 총량을 계산하여 혈관계가 열린 시스템으로 소모되기에는 지나치게 많은 양임을 확인하였다. 결국 몸 안에서 끊임없이 순환할 수밖에 없는 닫힌 시스템이어야 한다고 결론내릴 수 있다. 마지막으로 실험적인 고안이다. 결찰사 실험으로 혈액순환에 대한 개념을 정교하게 다듬었고 정맥판막 실험으로 혈액이 정맥에서 어느 방향을 흐르고 있는지를 확인하게 되어 혈액순환 모델이 완성되었다(Yoon, 2012).

6단계 긍정적 증거? : 모델이 현실세계와 일치하지 않는데 자료와 예측이 일치할 가능성이 있는가? 그렇다. 신체 말단 부위에 동맥과 정맥간의 연결을 설명하지 못하여 모델이 실세계와 맞지 않을 가능성이 있다. 따라서 자료는 결정적이지 않다.

이렇게 William Harvey는 자료와 예측이 일치하는 긍정적 증거로 심장과 혈액의 운동에 대한 당시 패러다임과는 달리 몸속을 혈액이 순환한다는 사실을 과학적인 접근법으로 증명하였다는 것을 가설 평가 프로그램을 통해서도 알 수 있다.

Harvey는 과학혁명의 시대로 불렸던 17세기에 활동했던 인물임에도 현미경 없이는 모세혈관을 관찰할 수 없었기 때문에 그의 이론은 30년 간 받아들여지지 않았다가 1661년 Malpighi가 개구리의 폐에서 모세혈관 구조를 확인하여 비로소 그의 이론을 납득시킬 수가 있었다(Pearce, 2007).



⑥ 모델이 실세계와 들어맞는다는 결정적인 증거를 제공한다.

[Figure 6] Hypothesis evaluation on William Harvey's blood circulation system 2

이렇게 [Figure 6]에서처럼 Malpighi의 관찰 자료까지 넣어 Giere(2006)의 이론적 가설 평가 프로그램을 통해 분석하면 합리적인 결론에 도달하게 된다<Table 5>.

<Table 5> Hypothesis evaluation on William Harvey's blood circulation system

Step 1 Real World	heart and movement of blood
Step 2 Model	the blood circulation
Step 3 Prediction	· Blood enters the heart from the main vein and into the aorta and circulates constantly.
Step 4 Data	· Comparative anatomy Observation · Quantitative approach · Experimental design · Discover the presence of capillaries
Step 5 Negative Evidence	Is the data agree with the prediction? Yes. Therefore, the hypothesis can be evaluated as true.
Step 6 Positive Evidence	Is there any possibility that the prediction is agree with the data even though the model does not fit the real world? There is no other plausible models that can produce the same predictions.

Conclusions and implication

본 연구는 혈액 순환 연구의 역사를 Giere (2006)의 이론적 가설 평가 프로그램에 적용해 봄으로써 과학자들이 얼마나 합리적으로 과학지식을 형성해 가는지 알아보았다. 그리고 학생들이 과학지식의 특성을 이해할 수 있는 과학사의 내용을 분석해 봄으로써 Giere의 가설평가 프로그램이 올바른 가설을 제시하고 평가하는 데 유용함을 확인하였다. 이에 따라 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

과학지식은 경험적인 사실에 바탕을 두고 있는 기존 이론으로부터 자유롭지 않다. 자료와 예측이 일치하지 않음에도 모델이 지지를 받는 것은 기존의 이론에 의존하는 과학지식의 특성 때문이다.

과학적 탐구과정은 항상 바람직한 과정만을 통해 이루어지는 것이 아니며, 관찰과 실험에 의한 자료가 제한적이거나 오류를 포함할 수 있어 과학지식은 절대적인 것이 아니라 가변적인 것이다.

Giere의 이론적 가설의 평가를 위한 프로그램을 이용하면, 실세계와 맞지 않는 이론이 실험과 관찰에 의한 자료의 제한으로 긍정적인 증거가 되어 바람직한 결론에 도달하지 못하거나, 과학적 지위나 명성의 영향으로 지지받는 모델을 검증하여, 논리적인 과학 지식의 생성이 가능하다.

혈액 순환 연구의 역사를 통한 과학적 추론과정에 대한 과학 학습의 교육적 함의는 다음과 같이 제시할 수 있을 것이다.

교과 과정에 있는 내용과 연결된 과학사를 통해 학생들이 과학 지식에 대해 올바르게 인식할 수 있다.

과학적 추론과정이 과학자들에게만 유용한 것이 아니라, 과학 교육을 통해 학생들에게 과학탐구능력을 함양시킬 수 있는 기회로 활용될 수 있다

과학 학습에서 과학적 사고과정을 경험하고 과학 지식을 생성하는 기회를 제공할 수 있다.

Giere의 이론적 가설평가를 위한 프로그램은 가설 뿐 아니라 교수학습 및 공학적 설계와 구현 등에 다양하게 적용 가능하다.

References

- Chung, E. (2012). Anatomical harmony of Art : Andreas Vesalius' De humani corporis fabrica, *Korean Bulletin Art History*, 38, 184-211.
- Gálík, D. (2006). Induction in Aristotle's system of scientific knowledge, *Organon F*, 13(4), 495-505.
- Giere, R. N. (2001) A new framework for teaching scientific reasoning. *Argumentation*, 15(1), 21-33..
- Giere, R. N., Bickle, J., & Mauldin, R. F. (2006). Understanding Scientific Reasoning. (5th ed.) (Cho, I., Rhee, Y., & Nam, H., Trans) Seoul, Korea: Sowha. (1979)
- Gillispie, & Coulston. C. (1983). The Edge of Objectivity (Lee, P. Y., Trans). Seoul, Korea: Jongno Books. (1960).
- Goldberg, B. I. (2012). William Harvey, soul searcher: Teleology and philosophical anatomy. University of Pittsburgh. Doctorial dissertation.
- Han, J. & Chung, Y. (1997). Teachers' and students' understanding of the nature of science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 17(2), 119-125.
- Hwang, S. I. (2004). Historical figures in medicine. Seoul, Korea: Ryo Moon Gak.
- Khun, T. (2013). The Structure of Scientific Revolution (Kim, M. & Hong, S., Trans). Seoul, Korea: Kachi. (1962)
- Kwon, Y. J., Nam, J., Lee, K. Y., Lee, H. N. & Choi, K. H. (2013). Science Education. Seoul, Korea: Bookshill.
- Lawson, E. T. (2000). Towards a cognitive science of religion. *Numen*, 47(3), 338-349.
- Merton, R. K. (1957). Priorities in scientific discovery: a chapter in the sociology of science, *American Sociological Review*, 22(6), 635-659.
- Park, E. & Hong, H. (2011). Analyzing science-gifted middle school students' understandings of nature of science, *Journal of Gifted/Talented Education*, 21(2), 391-405.
- Pearce, J. M. (2007). Malpighi and the discovery of capillaries, *European Neurology*, 58(4), 253-255.
- Popper, K. (1953). Science: Conjectures and refutations. London and New York: Routledge.
- Sohn, Y. & Park, Y. (2002). Junior high school teachers' and students' perceptions on the science textbooks, *Journal of the Korean Association for Science Education*, 22(4), 740-749.
- Son, S. Y. (2008). Harvey's story of blood circulation. Seoul, Korea: Jaeum&Moeum.
- Yoon, T. W. (2012). William Harvey's anatomical studies and natural philosophy, *Yonsei Journal of Medical History*, 15(1), 7-47.