

상부복외측 연수 심혈관계 세포의 체성교감 반사시 자발적 흥분발사특성 분석 : II. 최소 세포망 모델

차은종·구용숙*·이태수

= Abstract =

Spontaneous Firing Characteristics of Cardiovascular Neurons in the Rostral Ventrolateral Medulla during Somatosympathetic Reflex : II. Minimal Neuronal Model

Eun Jong Cha, Yong Sook Goo*, Tae Soo Lee

Based on the animal experimental results of the companion paper, describing firing response characteristics of cardiovascular neurons in the rostral ventrolateral medulla during the somatosympathetic reflex, the present study developed a neuronal circuit model to provide an insight into arterial blood pressure regulation. Two different kinds of afferent pathways and also two different types of characteristic neurons are postulated, though they are the simplest necessary and physiological as well. Interconnections are structured so that the model satisfies all experimental outcomes. As a result, possible depressor pathway could be derived. The present model describes neuronal response patterns and interactions between one neuron and another. While the model explains the current experimental results, it warrants further experimental validation.

Key words : Somatosympathetic reflex(SSR), Cardiovascular neuron(CVN), Neuronal model, Minimal model.

서 론

상부복외측 연수(RVLM, rostral ventrolateral medulla)는 동맥혈압 조절의 최종공통로로 믿어지므로, 앞서 게재한 동반 논문에서 RVLM 내에 존재하는 심혈관계 세포(CVN, cardiovascular neuron)의 흥분발사 특성에 관한 실험적 연구 결과를 보고하였다. 동맥혈압에 관한 정보가 구심성경로를 따라 조절중추로 전달되면 조절중추 내의 조절세포가 반응하고 그 결과 원심성경로를 따라 조절신호가 전달되기 때문에 이 조절경로를 대신한다고 생각되는 체성교감반사(SSR, somatosympathetic reflex)를 유발하며¹⁾ 동맥혈압(BP, blood pressure) 반응과 CVN의 자발적 흥분발사도(FR, firing rate)의 변화를 동시에 측정할 결과, 표 1에 보인 5 가지의 반응유형을 관찰한

바 있다.

생체변수의 조절기전을 규명하기 위하여 통상 사용되는 방법 중 하나는 조절에 관한 의사결정(decision making)이 이루어진다고 생각되는 부위를 전기자극하며 말초에서의 해당변수의 변화를 관찰하는 것이다. 동맥혈압의 조절기전을 연구하는 경우, 전기자극에 의해 BP가 증가하는 부위는 비교적 쉽게 찾을 수 있으나(승압반응)²⁾, BP의 하강을 지배하는 감압부위에 관해서는 일관성 있는 실험 결과가 관찰되지 않으며^{3~5)} 논란의 여지가 많다. 이는 동일부위 내에 서로 다른 기능을 가지는 세포들이 섞여 있어 특정한 조절기능만을 수행하는 특정부위를 해부학적으로 분리, 관찰할 수 없음을 시사한다. 왜냐하면 동맥혈압 조절의 최종공통로로 믿어지는 RVLM 내에는 여러 신경 세포들이 회로망을 이루어 서로 상호작용을 하며 영향을

* 충북대학교 의과대학 의공학교실, 생리학교실*

* Departments of Biomedical Engineering and Physiology* Chungbuk National University Medical College

통신저자 : 차은종, (360-763)충북 청주시 개신동 산 48번지, Tel. (0431)69-6331, Fax. (0431)69-6609

이 연구는 1994년도 교육부 한국학술진흥재단의 신진교수연구비 지원에 의한 결과임.

표 1. 체성교감반사(SSR) 시 심혈관계세포(CVN)의 흥분발사도 반응유형

Table 1. Firing characteristics of cardiovascular neurons (CVN) during somato-sympathetic reflex(SSR)

흥분발사도 변화		반응유형정의	세포수
감압반응시	승압반응시		
증가(Positive)	증가(Positive)	PP	8
증가(Positive)	감소(Negative)	PN	2
변화없음 (Zero)	증가(Positive)	ZP	2
감소(Negative)	증가(Positive)	NP	4
감소(Negative)	감소(Negative)	NN	1
계			17

미칠 수 있고 이들의 통합적인 결과에 의해 BP가 결정될 것이기 때문이다. 즉, 특정부위를 자극하는 경우 자극환경에 따라 BP의 측정결과가 달라져 일관적인 혈압반응을 관찰할 수 없다.

이를 극복하기 위하여는 혈압조절에 관여하는 신경세포 개개의 기능과 이들간의 기능적 연결 관계를 규명해야만 한다. 그러나 In vivo 상태에서 동작하는 세포의 기능을 자세히 규명하는 것은 실험적으로 거의 불가능하므로 본 연구에서는 앞서 게재한 동반논문의 실험적 결과에 기초하여 모델링을 수행하였으며 구성된 모델에 입각하여 혈압조절기전을 설명하고자 하였다. RVLM 내에 존재하는 CVN은 동맥혈압 조절에 깊이 관여하므로^{2,6)}, SSR에 의한 혈압반응시 CVN의 흥분발사의 반응유형을 분석하여 세포망 모델을 구성하였다. 가장 일반적인 가정들만을 도입하여 실험결과를 정성적으로 설명할 수 있는 기능적 모델을 개발하고자 하였다. 또한 가장 간단한 골격을 가지는 동시에 모든 실험결과를 설명할 수 있는 최소모델(minimal model)을 구성함으로써 동맥혈압의 조절기전에 관한 새로운 고찰 방법을 제시하고자 하였다.

모 델 구 조

1. 개발전략

동맥혈압(BP)의 변화를 일으키기 위하여 SSR을 유발시켰을 때 BP의 반응(감압 및 승압)과 CVN의 활동도(FR)의 변화를 동시에 측정된 결과를 표 1에 보였다. 표 1에서 5 가지의 반응유형 만이 관찰된 것을 알 수 있다. SSR에 의한 BP의 반응은 감압 혹은 승압의 2 가지이고 그 각각에 대하여 CVN의 FR은 증가(positive), 변화없음(zero), 감소(negative)의 3 가지일 수 있으므로 SSR 유발 시 가능한 CVN의 FR 유형은 $3 \times 3 = 9$ 가지이다. 이 중 SSR의 감압 및 승압반응 모두에서 FR이 변화하지

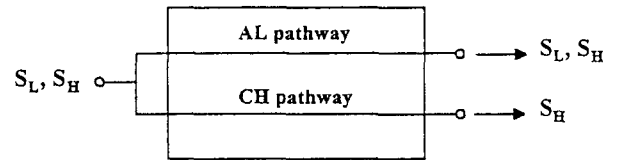


그림 1. 말초신경자극을 RVLM으로 전달하는 구심성 경로의 모델

Fig. 1. Afferent pathway model transmitting the low(S_L) and high(S_H) level stimuli to RVLM

않는 경우는 무의미하므로 이 경우를 제외하면 8 가지의 반응유형이 가능하다. 물론 실제 동물 실험에서는 이들중 표 1에 보인 5 가지의 유형만이 관찰되었다. 그러나 먼저 8 가지의 반응유형을 모두 설명할 수 있는 모델을 구성한 후, 실제 실험결과인 5 가지의 유형만을 설명할 수 있는 모델로 축소하는 전략을 채택하였다. 모델 개발과정을 단계별로 아래에 요약하였다.

- (1) 구심성경로의 말초자극 전달모델 구성
- (2) 말초자극을 전달받는 RVLM 내 CVN의 대표적인 세포유형(특성세포) 도입
- (3) 반응유형 별로 특성세포 간 회로연결 및 합성
- (4) 중첩되는 연결망 삭제
- (5) 최소모델로 축소

2. 구심성 경로 모델

SSR의 승압 및 감압반응은 각각 C-강도, 20 Hz와 A δ -강도, 1 Hz의 말초신경(sciatic nerve) 자극에 의해 유발된다. 이들은 고강도-고빈도 및 저강도-저빈도 자극에 해당하므로 각각 S_H 및 S_L 자극으로 정의하자. 말초신경을 통해 연수로 자극을 전달하는 구심성 신경로는 신경섬유의 단면적에 따라 C-fiber(저단면적)와 A δ -fiber(고단면적)로 구성되므로 자극강도가 큰 S_H 자극은 이들 두 경로로 모두 전달될 수 있으나, 자극강도가 낮은 S_L 은 단면적이 작은 C-fiber로는 전달될 수 없으므로 A δ -fiber로만 전달된다^{1,7)}. 따라서 RVLM에 S_L 자극이 전달되었다면 동일한 경로를 통하여 S_H 자극도 전달된다. 그러나 S_H 자극이 전달되는 경우에는 S_L 자극이 전달되지 않는 경로를 통해서 전달되었을 수도 있을 것이다. 이에 따라 말초자극, S_L 과 S_H 가 전달되는 구심성 경로는 S_L 과 S_H 자극을 모두 전달하는 경로(AL 경로)와 S_H 자극만을 전달하는 경로(CH 경로)의 두 가지로 그림 1과 같이 모델링할 수 있다.

3. RVLM 내 특성세포 설정

일반적으로 인정되고 있는 RVLM 내 승압부위의 세포

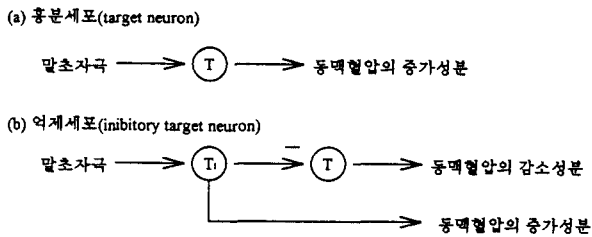


그림 2. RVLM내에 존재한다고 가정한 특성세포의 도식

(a) 흥분세포 (b) 억제세포

Fig. 2. Target (a) and Inhibitory (b) target neuron postulated to exist in the RVLM to generate BP regulation signals

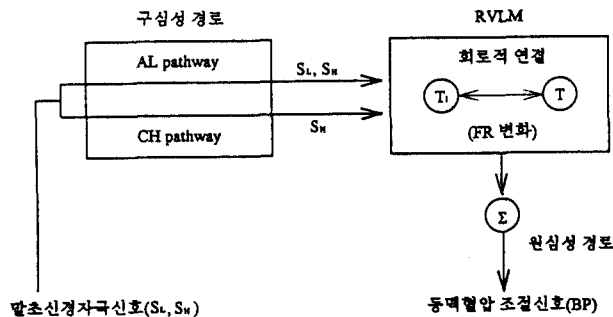


그림 3. 본 연구에서 제안하는 동맥혈압 조절기전의 모델

Fig. 3. Arterial blood pressure regulation model proposed by the present study

는 말초신경의 자극에 대해 자발적 흥분발사가 증가하며 동시에 동맥혈압도 증가한다. 이와 같은 승압경로를 가장 간단하게 나타내는 모델은 말초자극 때문에 흥분발사가 증가하고 이에 따라 혈압의 증가성분을 발생시키는 특성 세포의 존재를 가정한 것이다. 이를 흥분세포(T, target neuron)라 가정하자. 그러나 흥분세포만으로 구성되는 세포회로망은 SSR의 감압반응이 유발되어 BP가 감소하더라도 FR이 증가하는 CVN의 존재를 설명할 수 없다. 따라서 말초자극에 대해 BP의 억제성분을 발생시키는 새로운 특성세포가 필요하며, 이는 말초자극에 대해 자신의 FR은 증가하지만 주변 세포의 흥분발사를 억제하는 새로운 특성세포의 존재를 가정함으로써 달성할 수 있다. 이를 억제세포(T_i, inhibitory target neuron)라 정의하자. 즉, 말초자극이 억제세포를 자극하여 FR이 증가하면 여기에 연결되어 있는 T의 FR이 감소하고 따라서 BP의 감소성분이 발생할 것이다. 또한 T_i 자신의 FR은 증가하였으므로 혈압의 증가성분으로 작용한다. 실질적인 BP의 변화는 이들간의 비중에 따라 결정될 것이다. 흥분세포(T)와 억제세포(T_i)의 동작을 그림 2에 도식화 하였으며 그림 2에서 “-” 기호는 T_i가 T의 흥분발사를 억제한다는 의미이다.

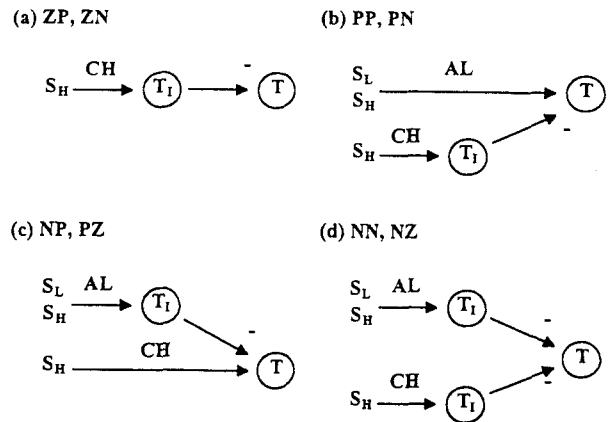


그림 4. 가능한 8 가지 반응유형을 각각 설명하는 단위 모델

Fig. 4. Four unit models explaining the possible eight firing response patterns

위에 설명한 내용을 종합하면, SSR이 유발되어 BP가 상승하거나 하강하는 과정은 말초신경을 전달하는 구심성 경로와 여기에 연결되는 RVLM의 세포망에 의해 결정되며 이 세포망은 다수의 T와 T_i 간의 기능적 연결 관계에 의해 결정된다고 볼 수 있다. RVLM 내 세포망은 말초자극을 받아들여 상호관계에 의해 특성세포들의 FR을 결정하고 이 FR 변화의 합에 의해 BP가 결정된다. 이는 본 연구에서 제안하는 세포망 모델의 기본 골격을 이루며 그림 3에 도식화하였다.

최소 세포망 모델

그림 3에 보인 모델의 기본골격에 입각하여 SSR 유발 시 가능한 CVN의 FR 반응 유형을 모두 설명하는 모델을 구성하기 위하여는 구심성 경로 모델의 AL 및 CH 경로와 RVLM 내 세포망 간에 적절한 연결관계를 설정하는 것과 RVLM 내 세포망의 구성을 결정해야 한다. 이를 위하여 먼저 가능한 8 가지 반응유형을 각각 설명할 수 있는 가장 간단한 연결관계를 그림 4에 제시하였다. 예를 들어 그림 4(a)의 경우 T_i가 CH 경로에만 연결되어 있으면 S_H 자극만을 받아들임으로 S_L 자극에 대해서는 반응이 없을 것이다(zero). S_H 자극에 대해서는 T_i의 FR은 증가하고 T_i에 연결되어 있는 T의 FR은 T_i의 억제 효과에 의해 감소한다. BP는 이들간의 상대적 비중에 따라 결정될 것이므로 증가(positive)하거나 감소(negative)한다. 따라서 그림 4(a)는 반응 유형 ZP와 ZN을 설명할 수 있다. 마찬가지로 그림 4(b~d)는 각각 두 가지 유형을 동시에 설명하는 기본 모델이 된다. 앞서 지적한 바와 같이 궁극적인 BP의 변화는 모델 내에 포함되는

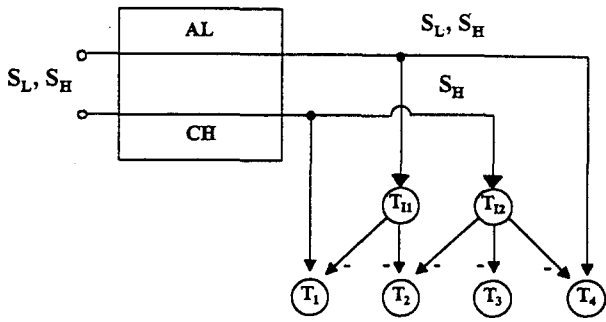


그림 5. 가능한 8 가지 반응유형을 모두 설명하는 합성모델
Fig. 5. Synthesized model explaining all possible firing response patterns

표 2. 모델 내 특성세포들이 나타내는 반응유형
Table 2. Characteristic neurons with corresponding possible neuronal activity response patterns

세포	자극에 대한 반응		반응유형
	S _L	S _H	
T ₁₁	Positive	Positive	PP
T ₁₂	Zero	Positive	ZP
	Negative	Positive	NP
T ₁	Negative	Zero	NZ
	Negative	Negative	NN
T ₂	Negative	Negative	NN
T ₃	Zero	Negative	ZN
	Positive	Positive	PP
T ₄	Positive	Negative	PN
	Positive	Zero	PZ

모든 특성세포(T와 T_i)들의 FR 변화의 함에 의해 결정된다.

그림 4(a)의 전달모델은 그림 4(b) 모델의 아랫쪽 경로와 동일하므로 이에 포함될 수 있으며, 따라서 그림 4(b) 모델은 T와 T_i가 S_L 혹은 S_H 자극에 대해 반응하는 정도에 따라 4 가지 반응유형, ZP, ZN, PP, PN의 4 가지 유형을 모두 설명할 수 있다. 이와 같이 동일한 전달 경로를 공유하도록 그림 4(a~d)의 4 가지 모델을 합성하면 그림 5의 합성 모델을 얻는다. 그림 5에서 말초신경 자극은 AL과 CH의 두 가지 경로를 통해 전달되고 전달 경로 각각은 총 4개의 T와 2 개의 T_i에 연결되어 있다. 또한 이들 간의 최소한의 연결관계를 이용하여 8 가지의 가능한 반응유형이 모두 설명된다. 예를 들어 T₂는 S_H 자극에 대해 T_{11,2}를 통하여 억제되고 S_L 자극에 대하여는 T₁₁을 통하여 억제되므로 반응유형 NN에 해당하는 세포를 나타낸다. 반면 T₁은 S_L 자극에 대해 T₁₁을 통해 억제되지만 S_H 자극에 대해서는 CH 경로를 통하여 자극되고

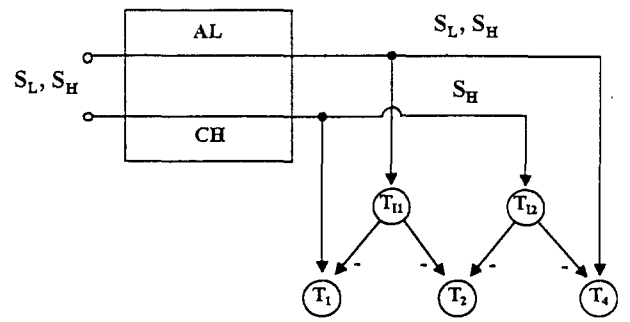


그림 6. 최종적인 최소 세포망 모델
Fig. 6. The final minimal model explaining experimental outcomes

표 3. 최소한의 특성세포에 대응하는 반응유형.
Table 3. Characteristic neurons with corresponding minimal neuronal response patterns

세포	자극에 대한 반응		반응유형
	S _L	S _H	
T ₁₁	Positive	Positive	PP
T ₁₂	Zero	Positive	ZP
T ₁	Negative	Positive	NP
T ₂	Negative	Negative	NN
T ₄	Positive	Negative	PN

AL 경로를 통하여는 T₁₁에 의해 억제되므로 그 상대적인 정도에 따라 FR이 증가할 수도 있고 감소할 수도 있다. 따라서 T₁은 반응유형, NP와 NN을 모두 대변하는 특성 세포이다. 표 2에 이들 6 개의 특성세포들이 어느 유형에 해당하는지를 요약하였다. 특정 자극에 대하여 이들의 흥분발사반응이 결정되면 이들은 다시 원심성 경로를 통하여 통합됨으로써(그림 3 참조) 최종적인 동맥혈압을 결정한다. 동맥혈압은 이들 6 가지 특성 신경세포들의 활동도의 총합에 의해 결정되므로 앞서도 지적한 바와 같이 어느 특정한 세포의 활동도와는 무관하며 단지 S_L, S_H 자극에 대해 각각 감압 및 승압반응을 나타낼 것이고 본 모델은 이와 같은 올바른 동맥혈압을 나타내는 방향으로 동작할 수 있을 것이다.

표 2에서 T₃는 반응 유형 ZN만을 나타내며 유형 ZN은 실험적으로 관찰되지 않았으므로(표 1 참조) 삭제할 수 있다. 또한 표 2의 T₁₁과 T₄는 모두 유형 PP를 설명할 수 있으며 T₁과 T₂ 또한 유형 NN을 나타낼 수 있다. 동일한 반응유형이 두 개의 세포에 모두 포함되는 것은 무의미하므로 이를 삭제하고 실험적으로 관찰되지 않은 PZ와 NZ도 삭제하면 표 3에 보인 바와 같이 5 가지 세포의 특성을 유일하게 규정할 수 있다. 표 3의 5 가지 특성 세포 만을 포함하는 모델을 그림 6에 보였다. 그림 6의

모델은 실험적으로 관찰되는 5 가지의 반응유형만을 유일하게 나타내는 5 개의 특성세포만으로 이루어진 최종적인 최소 세포망 모델이다. 그림 6의 T_1 는 S_H 자극 시 CH 경로를 통한 자극이 T_{10} 를 통한 억제효과보다 크다고 가정하였고, T_4 는 CH 경로와 T_{12} 를 통한 억제 효과가 AL 경로를 통한 자극보다 크다고 가정하였다.

고 찰

본 연구에서는 동맥혈압(BP)을 변화시키는 구심성 정보를 simulation하기 위하여 유발시킨 체성교감 반사(SSR) 시, 상부 복외측 연수(RVLM) 내 심혈관계 세포(CVN)의 자발적인 흥분발사도(FR)의 변화의 동물실험 결과를 토대로, 동맥혈압의 조절에 깊이 관여하는 CVN들 간의 기능적 연결관계를 모델링하였다. 구성된 모델은 실험적으로 관찰되는 5 가지 반응유형을 나타내는 5 개의 세포와 이들 간의 최소한의 회로적 연결관계를 포함하고 있다. 또한 말초신경자극을 전달하는 구심성 경로와 특성세포들 간에도 적절한 연결관계를 규정하였다.

SSR에 의해 BP의 감압 혹은 승압반응이 유발될 때 이를 매개하는 CVN은 실험적으로 5 가지 종류만이 관찰되었으므로(표 1) 이들을 모두 설명하려면 최소한 5 개의 특성세포가 필요하다. 그러나 5 가지 종류의 서로 다른 특성세포를 모두 가정하는 것은 무의미하며 최소한의 특성세포의 종류로부터 5 가지의 실험결과를 도출해 내어야 한다. 말초자극에 대해 FR이 증가하며 FR의 증가가 BP의 증가성분으로 작용하는 특성세포, T₁와 T₂를 억제하여 BP의 감소성분을 발생시키는 특성세포, T₃의 두 가지만을 가정하였다. 어느 한 가지 종류의 특성세포만을 이용하여 모델링을 하는 것은 불가능하므로 두 가지 종류의 특성세포, T와 T₃를 가정한 것은 가장 간단하고 필수적인 가정이다. 시냅스를 통하여 상대세포를 억제하는 세포는 흔히 발견할 수 있으므로 생리적으로 전혀 무리가 없다.

말초 신경 자극을 RVLM까지 전달하는 구심성경로는 해부생리학적으로 지극히 복잡하지만 역시 1 가지의 가장 간단한 가정만을 도입하였다. 큰 자극강도(S_H)와 작은 자극강도(S_L)가 모두 항상 동일한 경로로 전달되지는 않을 것이며 신경의 전기자극은 전달경로로 작용하는 신경섬유의 크기에 관계된다. 따라서 S_L 과 S_H 를 모두 전달할 수 있을 정도의 큰 신경섬유로 구성된 AL 경로와, S_H 만을 전달시키는 작은 신경섬유로 이루어지는 CH 경로의 두 가지 경로만을 가정하였으며 이 역시 가장 단순하지만 필수적인 가정이다. 이는 실험적으로도 확인된 바 있다^{1,7)}. 또한 S_H 가 S_L 보다 자극 강도가 훨씬 크기 때문에 S_L 만을

통과시키고 S_H 를 통과시키지 않는 구심성 경로는 존재할 수 없다는 것은 주지의 사실이다.

생체 변수의 조절기전은 구심성 정보의 전달과 정보처리(조절중추)에 의해 이루어진다는 일반적인 조절구조에 입각하여, SSR 시 말초신경자극이 전달되는 구심성경로와 조절중추로 작용하는 RVLM 내 세포망의 두 block으로 모델골격을 구성한 후, 위에서 설명한 가장 간단하면서도 필수적이고 생리적으로 타당한 가정만을 도입하였다. 이에 따라 조절기구의 기능은 세포망의 연결관계에 따라 결정되며, 역시 최소한의 연결관계에 의해 실험결과를 설명할 수 있는 최소세포망 모델을 유도하였다. 본 최소세포망 모델은 SSR이 유발되어 말초신경자극이 RVLM에 전달될 때, 이를 매개하는 CVN들 간에 어떠한 기능적 연결망이 구성되어 있어야 하는가를 밝혀주며 앞서 게재한 동반논문의 실험결과를 설명할 수 있는 가장 간단한 모델이다. 본 모델의 타당성을 재정리하면 다음과 같다.

1. 세포망 모델 구성에서 필수불가결한 두 가지 종류의 특성세포만을 사용하였으며 이들의 특성은 모두 생리적으로 확인된 범주에 속한다.

2. 말초신경자극이 전달되는 신경로로써 필수불가결한 2 가지 종류의 전달 경로만을 가정하였으며 이 역시 실험적으로 확인된 사실이다.

3. 기관찰된 동물실험결과만을 만족하도록 세포망 내 특성 세포의 수와 상호 연결관계를 최소로 규정하였다.

따라서 본 모델은 말초신경자극이 조절중추의 세포망 내로 어떻게 전달되며 어떤 상호작용에 의해 조절세포들의 흥분발사가 결정되는가 하는 데 대한 최소한의 통찰을 가능케 해준다. 실제의 기전은 이보다 훨씬 복잡할 것이지만 적어도 가장 기본적인 고찰이 가능하다. 이와같이 결정되는 5 개 특성세포의 자발적인 흥분발사도가 산술적으로 합산되어 동맥혈압을 결정하리라 추리하였다. 원심성 경로는 구심성 경로와 마찬가지로 조절신호를 전달하는 역할만을 하기 때문에 이는 가장 간단하며 상식적인 가정이다. 또한 본 연구가 microscopic 한 하나의 신경세포와 macroscopic 한 생체변수인 BP간의 인과관계가 일관적일 수 없다는 사실에서 출발하고 있기 때문에 본 연구의 결과에는 영향을 미치지 않는다.

본 연구의 토대로 사용한 실험과 유사한 실험결과를 기초로 Goo 등은⁸⁾ S_L 자극에 대해 FR이 증가하고 S_H 자극에 대해 FR이 감소하는 PN 유형의 세포가 SSR의 감압반응경로 상에 있는 고유한 세포라고 결론지었다. 이는 특정세포를 말초적으로 자극하여 그 세포의 FR이 증가하면, FR의 증가가 원인이 되어 BP의 감소를 유발하리라고 하는 단순논리에 의거한 것이다. 그러나 이는 다음과

같은 이유 때문에 부당하다.

1. 앞서도 지적한 바와 같이 감압반응시 어느 하나의 세포에 의해 BP가 결정될 수 없다. 왜냐하면 감압반응시 다른 유형의 반응을 보인 세포들이 실험적으로 관찰되었기 때문이다.

2. FR의 증가가 원인이 되어 BP의 감소가 유발된다고 할 때 그 기전에 대한 구체적인 증거가 없다. 이는 단순히 활동도의 증가가 BP를 억제하는 세포 기능을 새로이 가정한 것이다.

본 모델에서 BP의 감소, 즉 감압반응에 주로 기여할 수 있는 세포는 T_{11} 과 T_2 이다. T_{11} 은 S_1 자극에 의해 활동도가 증가하여 $T_{1,2}$ 를 억제하고 그 결과 BP가 감소할 수 있으며 T_2 는 $T_{1,2}$ 에 의해 항상 억제되므로 승압반응에는 전혀 기여할 수 없기 때문이다. 이들의 반응유형은 각각 PP와 NN 유형에 해당한다. 이들 중 T_{11} 은 감압반응시 FR이 증가하고 자신의 FR 성분이 직접 BP의 증가에 기여할 수도 있으므로 고유한 감압세포라고 할 수 없으나, T_2 는 항상 BP의 감소에만 기여하므로 NN 유형의 T_2 세포가 보다 전형적인 감압경로 상의 세포라고 하는 것이 타당할 것이다. 즉, 본 모델에 입각하면 고유한 감압경로 상의 세포는 존재하지만 PN 유형보다는 NN 유형이 보다 훌륭한 대상이 된다.

본 연구의 모델은 두 가지의 구심성 자극 전달경로와 두 가지의 특성세포를 가정하고, 가능한 모든 반응유형을 설명할 수 있도록 가장 단순한 형태의 상호연결 관계를 규정한 후 동물실험 결과에 입각하여 불필요한 부분을 모두 삭제한 것이다. 실제 말초신경 자극이 전달되는 경로를 이와 같이 지극히 단순한 모델에 입각하여 설명할 수는 없으나 본 모델은 1)동물실험 결과로부터 논리적으로 타당한 CVN의 반응유형 분류방식을 제공하고, 2)고유한 감압 경로의 존재 가능성을 뒷받침하고 있다. 또한 고유한 감압경로 상에 있을 가능성이 있는 세포의 감압기전에 대한 논리적 근거를 제시해 준다. 즉, 실험적으로 측정가능한 변수만을 대상으로 몇 가지의 합리적인 가정 하에 논리적인 추론이 가능한 가장 단순한 모델을 제시하고 있

다. 보다 잘 엄격히 설계된 동물실험에 의해 본 모델의 타당성 여부를 가리는 것이 과제일 것이다.

참 고 문 헌

1. J. M. Chung, C. L. Weber, and R. D. Wurster, "Ascending spinal pathway for the somatosympathetic A and C reflex", *Am J Physiol*, Vol. 237, pp. H342-H347, 1979.
2. R. A. L. Dampney, J. Czachurski, K. Dembowski, A. K. Goodchild, and H. Sella, "Afferent connections and spinal projections of the pressor region in the ventrolateral medulla of the cat", *J Auto Nerv Sys*, Vol. 20, pp. 73-86, 1987.
3. A. R. Granata, Y. Numao, M. Kumada, and D. J. Reis, "A1 noradrenergic neurons tonically inhibit sympathoexcitatory neurons of C1 area in rat brainstem", *Brain Res*, Vol. 377, pp. 127-146, 1986.
4. S. M. Barman and G. L. Gebber, "Lateral tegmental field neurons of cat medulla: a source of basal activity of raphespinal sympathoinhibitory neurons", *J Neurophysiol*, Vol. 61, pp. 1011-1024, 1989.
5. 박국양, 구용숙, 김종환, "고양이 연수 복외측부 세포의 동맥혈압 조절에 대한 연구", 대한 흉부외과학회지, 23권, 833-843, 1990.
6. S. M. Barman and G. L. Gebber, "Brainstem neuronal types with activity pattern related to sympathetic nerve discharge", *Am J Physiol*, Vol. 240, pp. R235-R247, 1981.
7. J. M. Chung and R. D. Wurster, "Ascending pressor and depressor pathways in the cat spinal cord", *Am J Physiol*, Vol. 231, pp. H786-H792, 1976.
8. Y. S. Goo, S. J. Kim, and H. K. Sung, "Cardiovascular neurons mediating somatosympathetic reflex in rostral ventrolateral medulla", *Kor J Physiol*, Vol. 27, pp. 185-197, 1993.