一方向きの興奮伝導に関する研究

其の五 神経筋肉接続部に於ける興奮伝導に就いて

関西医科大学生理学教室（指導 幸塚嘉一教授）

石 川 繁 子

（本研究は文部省科学研究費に依る。本研究の要旨は第24回日本生理学会に於て発表した。）

Studies on the Irreciprocal Conduction of Excitation.

Report V. On the Conduction of Excitation upon the Neuromuscular Junction.

Shigeko Ishikawa

Department of Physiology, Kansai Medical School (Supervised K. Kotsuka)

From a standpoint of conduction of excitation and its direction, the living systems can be classified into three fundamental conduction systems of excitation ("Typical Isodromical System," "Atypical Isodromical System" and "Heterodromical System"). The another verified in the previous report that this fundamental conduction systems of excitation were demonstrated in the conduction of excitation between the atrium and ventricle.

In this paper, it has been verified on the neuromuscular junction whether the above fact is applicable to living systems besides atrioventricular aspect.

Method:—Kühn's M. Gracilis method was followed.

Result:—The conduction of excitation upon the neuromuscular junction showed an irreciprocal conduction of excitation under the normal condition, but showed a reciprocal condition (e. g. with Adrenaline-Ringers solution). The latter conduction changed into an irreciprocal conduction following a change in the conduction (e. g. was used instead of Adrenaline-Ringer's solution).

It was verified that the three fundamental conduction systems of excitation were reversible serially. The results were the same with conduction of excitation in which a septum was the only bridge between the atrium ventricle.

Accordingly the results do not agree with the so far accepted maintenance that the conduction upon the neuromuscular junction is irreciprocal.

緒 言

“新興興奮性伝導性併行法則”（下記参照）が正しいものとするならば、私達は「全生活系は本来は、両方向き興奮伝導をなすものなり。それに或 mechanism が加わる事に依つて、一方向きの興奮

興奮伝導をするものなり。」の立場に在る。

従つて絶対的に、換言すれば、いかなる条件下のに於ても一方向きの興奮伝導で終始する生活系の存在を、否定する立場に在るものである。即、少くとも或一定条件の下では「一方向きの興奮伝導は単に、實際的のものであつて、理論的には必ら

ず、両方向き興奮伝導でなくてはならない。」事を推論するものである。

目 的

上記の推論に於て誤りなくば、従来一方向きの興奮伝導の代表と認められている所の神経筋肉接続部に於ても無論、両方向き興奮伝導でなくてはならない。此の事を実験的に証明するのが此の問題の目的である。

因に上記の推論の前提は次の通りである。

(1) 興奮伝導に関する私達の新定義と新分類に依り、全生活系を3つの基本的興奮伝導系に分類し得る。而して私達の新研究方法——“興奮波伝達時間曲線”に依り、之等3系の検証と3系は互に可逆なる事を実証した。即次の如くである。

- ① “正型的両方向き興奮伝導系” (仮称) (typical isodromical system)
- ② “否正型的両方向き興奮伝導系” (仮称) (atypical isodromical system)
- ③ “一方向きの興奮伝導系” (仮称) (hetero-

第 1 図

dromical system)

以上の三系を図で示せば第1図の如し

此の様な、系の存在と且つ、互に必らず可逆なる

事が前提其の1である。而して興奮伝導系に関する私達の此の新定義及び新分類と従来の先学の実験成績との関係を示すと、次の如くである。

第 1 表

The Relation between our new Classification and
the former experimental results of all living systems.

Theoretical :	Former Experimental Results :
Typical Isodromical System	} Reciprocal conduction }
Atypical Isodromical System	
Heterodromical System.....	} Irreciprocal conduction }
.....	
↑ ↓ Reversible with each other.	

以上3系は互に可逆なる故に之等3基本的興奮伝導系の間に幾つもの移行型が存在し得る。

(2) 興奮性、伝導性に関する私達の新学説“新興興奮性、伝導性併行法則”(仮称)が前提其の2である。即、真に興奮性、伝導性が併行ならば、いかなる点或はいかなる部に就いても、興奮性、伝導性は併行でなくてはならない。従つて従来の興奮性、伝導性併行法則に方向と云う概念を導入してもつと一般化すると、いづれの方角にも興奮性、伝導性は併行でなくてはならない。それを私達は“新興興奮性伝導性併行法則”(仮称)とするならば、総ての方角に興奮性と伝導性は併行でなくてはならないのである。而して“新興興奮性、伝導性併行法則”(仮称)が真なりとすれば、いづれの方角にも両者は併行の筈である。従つて興奮性の存する所必然的に伝導性が存在しなければならぬ。故に、全生活系は本来は両方向き興奮伝導とするものである。之に或条件が加わると、一方向きの興奮伝導をなすものである。

上述の推論に於て誤りなくば、神経筋肉接続部も、神経細胞も無論両方向き興奮伝導でなくてはならないのである。

以上の事を実験に訴えて私達の推論の真なることを証明する必要がある。私は之を事実上訴えて上記の私達の推論の真なる事を証明する事が出来た。

此の証明の為に、私は「Kühne 氏薄股筋実験」の実験方法を採用し、且、私は「Kühne 氏の薄股筋実験」を「対照実験」として採用した。

第 2 図

(解説) Kühne 氏の実験(対照実験): —×印の部に於て即 1~1' 部内に於て機械的刺戟を与えると L 部被刺戟側のみ収縮す。(Ringer's solution 中に於て)

私の実験(本実験): —Ringer's solution に adrenaline を加えて (adrenaline Ringer's solution 中に於て) 上記×印の部即 1~1' 部内に於て機械的刺戟を与えると L 部(被刺戟側)のみならず K 部も収縮す。即 L 部、K 部共に収縮す。

実 験

(1) Kühne 氏薄股筋実験 (対照実験)

1) Kühne 氏実験の目的：——此の実験に於ける氏の目的は、神経繊維は両方向き興奮伝導をなす事を証明するに在る。

2) Kühne 氏実験の方法及び実験成績：——第2図の如く神経筋標本を作り、第2図に示す如くして実験を行う。

Kは有神経の部、l乃至l'は nerve-free の部、少くとも此所には運動性神経の Conducting element は存在していない。K部とL部は腱に依つて分れていて、筋肉的结合はない。

nervefree の部例えばl乃至l'の部に機械的刺戟を与えると、刺戟部位の側、即ち、L部のみ収縮する。その際他側K部は収縮しない。格言すれば、K部は静止している。反して有神経のk部に、機械的刺戟を与えると、刺戟部位であるK部のみならず、L部も亦収縮する。即ちK部、L部共に収縮する。之は次に述べるが如き事柄にもとづくのである。第2図に示す様に、1本の axis

cylinder が叉状に分れて、(此の事実は Meys 氏が組織学的に証明している。)その各枝からK及びLの各部分が別々に神経分布している。そこで有神経のk部に機械的刺戟を与えると、神経繊維の刺戟部位に興奮が起り、それが分岐点にまで伝わりそれからL部に伝導する。以上の事実に反し、前述の様に nervefree の部、即ちl乃至l'に機械的刺戟を加えると、刺戟部位の側、即ちL部のみ収縮する。之は何故かと言え、神経繊維は此所では終結していないからである。

3) Kühne 氏の結論：——Kühne 氏の実験方法は周知の如く、上に述べた様な classical な実験、即ち薄股筋実験に依つて、

i) 神経繊維は両方向き興奮伝導なり。

ii) 筋肉の直接興奮性。

iii) 神経筋肉接続部に於ける興奮伝導は、方向きの興奮伝導なり。

との事実を始めて証明したのである。此の問題の解決に於いて、Kühne 氏の手際の鮮かさに敬意を表するものである。

4) Kühne 氏実験成績批判：——然し 前述

表中の記載事項に就いての説明：—

表中 $m \leftarrow n$, $m \rightarrow n$ とあるは、興奮が神経(n)から筋肉(m)に或はその反対に伝導する事を示し、 $m \leftarrow n$, $m \rightarrow n$ とあるは興奮が伝はらない事を示している。②刺戟の際「機械的刺戟」と記せるは、細いピンセットにて刺戟した事を示す。

第2表 M. gracilis 標本 (Ringer 液)
♀ 蛙 体重——30.5g 脂肪体——0.5g
30/I 10°C~10°C (室温)

時 間	操 作	興 奮 伝 導
8.40 A.M.	右側 M. gracilis 摘出	
8.45	左側 M. gracilis 摘出 対照実験 (リンゲル液)	
	左側 M. gracilis: —	
9.16	l 部を切断	$m \rightarrow n$
9.38	l' 部を切断	$m \rightarrow n$
9.40	n-stem を切断 対照実験 (リンゲル液)	$m \leftarrow n$
	左側 M. gracilis: —	
9.45	l 部を切断	$m \rightarrow n$
10.00	l' 部を切断	$m \rightarrow n$
10.05	n-stem を切断	$m \leftarrow n$

対照実験——第2表は正常条件下に於ては、神経に於ける興奮は筋肉に伝導するが、筋肉より神経には興奮は伝導しない。即ち神経筋肉接続部に於ける興奮伝導は正常条件下に於ては一方何きの興奮伝導をなす事を示す。

第3表 *M. gracilis* 標本 (Ringer 液)
 ♀ 蛙 体重—26.0g 脂肪体—0.4g
 18/Ⅰ 10°C~10°C (室温)

時 間	操 作	興 奮 伝 導
5.00 P.M.	右側 <i>M. gracilis</i> 摘出	
5.05	左側 <i>M. gracilis</i> 摘出	
	対照実験 (リンゲル氏液)	
	右側 <i>M. gracilis</i> : —	
5.40	l 部機械的刺戟	m → n
5.55	l' 部 //	m → n
5.58	n-stem //	m ← n
	対照実験 (リンゲル氏液)	
	左側 <i>M. gracilis</i> : —	
6.00	l' 部機械的刺戟	m → n
6.15	l 部 //	m → n
6.30	l~l' //	m → n
6.45	n-stem //	m ← n

対照実験即第3表は第2表と同じ成績を示す。

第4表 *M. gracilis* 標本 (Ringer 液)
 ♂ 蛙 体重—28.3g 脂肪体—0.5g
 15/Ⅰ 10°C~10°C (室温)

時 間	操 作	興 奮 伝 導
9.30 A.M.	右側 <i>M. gracilis</i> 摘出	
	左側 <i>M. gracilis</i> 摘出	
	対照実験 (リンゲル氏液)	
	右側 <i>M. gracilis</i> : —	
10.00	l 部機械的刺戟	m → n
10.05	l~l' 部 //	m → n
10.10	n-stem //	m ← n
10.30	l' 部 //	m → n
10.50	l 部を切断す	m → n
11.10	l' 部を //	m → n
11.25	n-stem を //	m ← n
	対照実験 (リンゲル氏液)	
	左側 <i>M. gracilis</i> : —	
12.00	n-stem 機械的刺戟	m ← n
12.05 P.M.	l' 部 //	m → n
12.10	l 部 //	m → n
12.40	n-stem を切断	m ← n
1.00	l 部 を //	m → n
1.20	l' 部 を //	m → n

対照実験即第4表は第2表と同一成績を示す

第5表 *M. gracilis* 標本 (Adrenaline Ringer 液~ ergotoxine Ringer 液)♂ 蛙 体重—27.5g 脂肪体—0.1g
7/Ⅰ 9°C~9.5°C (室温)

時 間	操 作	興 奮 伝 導
10.40 A.M.	右側 <i>M. gracilis</i> 摘出	
10.45	左側 <i>M. gracilis</i> 摘出	
11.05	本実験 (アドレナリン・リングエル液) 右側 <i>M. gracilis</i> : —	
11.10	l 部を切断	m → n
11.14	n-stem を切断	m ← n
11.16	本実験 (エルゴトキシシン・リングエル液) (アドレナリン・リングエル液を除去して)	
11.25	l 部を切断	m → n
11.27	n-stem を切断	m ← n
12.00	本実験 (アドレナリン・リングエル液) (エルゴトキシシン・リングエル液を除去して) 左側 <i>M. gracilis</i> : —	
12.08 P.M.	l 部を 切断	m → n
12.13	l~l' 部 //	m → n
12.15	n-stem を //	m ← n
12.20	本実験 (エルゴトキシシン・リングエル液) (アドレナリン・リングエル液を除去して)	
12.25	l' 部を 切断	m → n
12.40	n-stem を //	m ← n

本実験——第4表は或条件例へば adrenaline を加へると神経から筋肉へ及び筋肉から神経へ興奮は伝導する。そこで adrenaline を除いて ergotoxine を加へると、神経から筋肉へ興奮は伝導するが筋肉から神経へは伝導しなくなる。即神経筋肉接続部に於ける興奮伝導は或条件下に於ては両方向き興奮伝導をなすが、他の条件に於ては一方方向きの興奮伝導をなす事を示す。

第6表 *M. gracilis* 標本 (Adrenaline Ringer 液~Ergotoxine Ringer 液)♀ 蛙 体重—26.0g 脂肪体—0.1g
10/Ⅰ 11.0°C~11.3°C (室温)

時 間	操 作	興 奮 伝 導
2.55 P.M.	右 <i>M. gracilis</i> 摘出 左 <i>M. gracilis</i> 摘出	
3.30	本実験 (アドレナリン・リングエル氏液) 右 <i>M. gracilis</i> : —	
3.35	l を切断	m → n
3.37	n-stem を切断	m ← n
3.39	本実験 (エルゴトキシシン・リングエル氏液) (アドレナリン・リングエル液を除去して)	
3.49	l' を切断	m → n
3.50	n-stem を切断	m ← n
3.55	本実験 (アドレナリン・リングエル氏液) (エルゴトキシシン・リングエル液を除去して) 左 <i>M. gracilis</i> : —	
4.03	l を切断	m → n
4.05	l' を切断	m → n
4.07	n-stem を切断	m → n

本実験——第5表は第4表と全く同一の data なることを示す。

第7表 *M. gracilis* 標本
 (Adrenaline Ringer 液~Ergotoxine Ringer 液~Adrenaline Ringer 液)
 ♀ 蛙 体重—32.0g 脂肪体—0.3g
 2/Ⅱ 15.0°C~15.7°C (室温)

時 間	操 作	興 奮 伝 導
9.30 A.M.	右側 <i>M. gracilis</i> 摘出	
9.35	左側 <i>M. gracilis</i> 摘出	
9.55	本実験 (アドレナリン・リングエル液) 右側 <i>M. gracilis</i> : —	
10.00	l 部機械的刺戟	m → n
10.15	l~l' 部 //	m → n
10.18	l' 部 //	m → n
10.20	n-stem //	m ← n
10.25	本実験 (エルゴトキシシン・リングエル液) (アドレナリン・リングエル液を除去して) 右側 <i>M. gracilis</i> : —	
10.35	l 部機械的刺戟	m → n
10.40	l' 部 //	m → n
10.45	n-stem //	m ← n
10.42	本実験 (アドレナリン・リングエル液) (エルゴトキシシン・リングエル液を除去して) 右側 <i>M. gracilis</i> : —	
10.50	l 部機械的刺戟	m → n
11.05	l' 部 を切断	m → n
11.10	n-stem //	m ← n
11.08	本実験 (アドレナリン・リングエル液) 左側 <i>M. gracilis</i> : —	
11.13	l 部機械的刺戟	m → n
11.20	l~l' 部 //	m → n
11.45	l' 部 //	m → n
11.55	l 部 //	m → n
12.00	n-stem //	m ← n
12.02 P.M.	本実験 (エルゴトキシシン・リングエル液) (アドレナリン・リングエル液を除去して) 左側 <i>M. gracilis</i>	
12.10	l 部を切断	m → n
12.30	l' 部機械的刺戟	m → n
12.35	l' 部を切断	m → n
12.38	n-stem を切断	m ← n

本実験——第7表は或条件例へば *adrenalin* を加へると神経から筋肉へ又筋肉から神経へ興奮は伝導する。そこで *adrenalin* を除いて, *ergotoxine* を加へると, 神経から筋肉へ興奮は伝導するが筋肉から神経へは伝導しなくなる。而るに *ergotoxine* を除き再び *adrenalin* と加へると再び神経から筋肉へ, 筋肉から神経へ興奮は伝導する。即, 神経筋肉接続部は或条件下に於ては両方向き興奮伝導をなすも, 他の条件下に於ては一方向きの興奮伝導をなす, 換言すれば一方向きの興奮伝導系と両方向き興奮伝導系とは可逆なる事を示している。

第8表 *M. gracilis* 標本 (Ringer 液~Adrenaline Ringer 液)

♂ 蛙 体重—25.0g 脂肪体—0.3g

I/II 11.0°C~11.5°C

時 間	操 作	興 奮 伝 導
8.20 A.M.	右 <i>M. gracilis</i> 摘出	
8.30	左 <i>M. gracilis</i> 摘出 対照実験 (リンゲル氏液中) 右 <i>M. gracilis</i> : —	
9.53	n-stem を切断	m ← n
9.56	l を切断	m → n
9.58	l' を切断	m → n
10.05	本実験 (アドレナリン・リンゲル氏液中) 左 <i>M. gracilis</i> : —	
10.15	l を切断	m → n
10.17	l' //	m → n
10.20	n-stem を切断	m ← n

対照実験——右側 *M. gracilis* } 本例は一匹の蛙の左右の *M. gracilis* を対照実
 本 実 験——左側 *M. gracilis* } 験とに用いた代表的の一例である。対照実験, 即正常条件下に於ては明かに一方
 向きの興奮伝導なる事を示し。本実験, 即或条件下に於ては両方向き興奮伝導なる事
 を示している。

第9表 *M. gracilis* 標本 (Ringer 液~Adrenaline Ringer 液)

♀ 蛙 体重—16.6g 脂肪体—0.3g

22/II 11.5°C~11.8°C (室温)

時 間	操 作	興 奮 伝 導
4.30 P.M.	右側 <i>M. gracilis</i> 摘出	
4.35	左側 <i>M. gracilis</i> 摘出 対照実験 (リンゲル液) 右側 <i>M. gracilis</i> : —	
5.00	l 部 を切断	m → n
5.04	l' 部 を //	m → n
5.06	n-stem を //	m ← n
5.20	本実験 (アドレナリン・リンゲル液) 左側 <i>M. gracilis</i> : —	
5.30	l 部 を切断	m → n
5.35	l' 部 を //	m → n
5.45	n-stem を //	m ← n

対照実験——右側 *M. gracilis* } 此の例は第8表と同一 data なる事を示す。
 本 実 験——左側 *M. gracilis* }

第10表 *M. gracilis* 標本 (Ringer 液~Adrenaline Ringer 液)

♀ 蛙 体重—30.5 g 脂肪体—0.2 g

3/Ⅱ 10.4°C~10.5°C (室温)

時 間	操 作	興 奮 伝 導
9.45 A.M.	右側 <i>M. gracilis</i> 摘出	
9.50	左側 <i>M. gracilis</i> 摘出	
	対照実験 (リンゲル液)	
	右側 <i>M. gracilis</i> : —	
10.15	n-stem を切断	m ← n
10.17	l を //	m → n
10.18	本実験 (アドレナリン・リンゲル液)	
10.26	l' を切断	m → n
10.28	n-stem を切断	m ← n
10.30	本実験 (アドレナリン・リンゲル液)	
	左側 <i>M. gracilis</i> : —	
10.36	l を 切 断	m → n
10.38	l' を //	m → n
10.40	n-stem を //	m ← n

対照実験——右側 *M. gracilis* } 本例は一匹の蛙の *M.*
 本 実 験——右側 *M. gracilis* 及び左側 *M. gracilis* }
gracilis を右側に *M. gracilis* 於ては対照実験と本実験に、左側 *M. gracilis* を本実験に用いた代表的の一例である。対照実験に於ては即正常条件下では一方向きの興奮伝導をなす。

本実験に於ては明らかに両方向き興奮伝導をなす事を示している。

第11表 *M. gracilis* 標本 (Ringer 液~Adrenaline Ringer 液)

♂ 蛙 体重—25.5 g 脂肪体—0.4 g

18/Ⅱ 14.0°C~14.5°C (室温)

時 間	操 作	興 奮 伝 導
2.30 P.M.	右側 <i>M. gracilis</i>	
2.35	左側 <i>M. gracilis</i>	
	対照実験 (リンゲル液)	
	右側 <i>M. gracilis</i> : —	
2.55	l 部を切断	m → n
2.58	n-stem を切断	m ← n
3.00	本実験 (アドレナリン・リンゲル液)	
3.05	l' 部を切断	m → n
3.10	n-stem を切断	m ← n
3.13	本実験 (アドレナリン・リンゲル液)	
	左側 <i>M. gracilis</i> : —	
3.20	l 部 を切断	m → n
3.25	l~l' 部 //	m → n
3.30	l' //	m ← n
3.35	n-stem //	m ← n

対照実験——右側 *M. gracilis* } 此の例は第8表と全く同一 data を示す。
 本 実 験——右側及左側 *M. gracilis* }

第12表 *M. gracilis* 標本 (Ringer 液~Adrenaline Ringer 液)

♀ 蛙 体重—14.0g 脂肪体—0.3g

25/■ 11.8°C~12.0°C (室温)

時 間	操 作	興 奮 伝 導
4.00 P.M.	右 <i>M. gracilis</i> 摘出	
4.05	左 <i>M. gracilis</i> 摘出	
4.30	対照実験 (リンゲル氏液)	
	右 <i>M. gracilis</i> : —	
4.35	n-stem を切断	m←—n
	l を切断	m—→n
4.38	本実験 (アドレナリン・リンゲル氏液)	
4.40	l' を切断	m—→n
4.43	n-stem を切断	m←—n
4.55	本実験 (アドレナリン・リンゲル氏液)	
	左 <i>M. gracilis</i> : —	
5.00	l を切断	m—→n
5.05	l' //	m—→n
5.10	n-stem を切断	m←—n

対照実験—右側 *M. gracilis*
 本実験—右側 *M. gracilis* 及左側 *M. gracilis* } 此の例は第10表と全く同一成績を示す。

の定義に依り、両方向き興奮伝導をなすものに、正型的両方向き興奮伝導系に属するものと否正型的両方向き興奮伝導系に属するものの2種があるから、神経繊維は無論此のいずれの System に属するかは、Kühne 氏の薄股筋実験の実験方法にては何等言及する事は不可能である。

(II) 私の実験 (本実験)

1) 私の実験の方法: —実験方法の principle は一方向き興奮伝導に関する研究其の3の Kühne 氏縫匠筋実験に同じ、唯標本の作り方に於て差があるのみ。即此の場合には図2の如き標本に就て実験を行う。その際の実験に於ける諸注意は縫匠筋実験の場合と全く同じ。(“一方向きの興奮伝導に関する研究其の3 神経筋肉接続部に於ける興奮伝導に就いて” 参照。)

2) 私の実験の成績: —実験例87例、いずれも同一成績を得た。故に、以下対照実験及び本実験の代表例として11例を示す。

表中記載事項に就いて説明する。(①第2表~第11表参照)

結 語

神経筋肉接続部に於ける興奮伝導は、

1) (i) 正常条件下に於ては一方向きの興奮伝導なるも、

(ii) 一定の条件下に於ては両方向き興奮伝

導になる。

(iii) 然るにその条件を変へる事に依り、再び一方向きの興奮伝導になり得る。

(iv) 即之等の変化は明らかに互に可逆である。

11. 1) の (i), (ii), (iii), (iv) に依り、神経筋肉接続に於ける興奮伝導は、私の推定に全く一致して蛙心の Septum atriosum を房室間の唯一の橋とした時の、房室間の興奮伝導と同一関係なる事を証する。

以上薄股筋実験は縫匠筋実験と全く同一の実験成績及び結論を得し事は明らかである。

拙筆に臨み御懇篤な御指導と御激励を賜はりました恩師幸塚教授に対し深謝致します。又故石川日出鶴丸先生並びに笹川教授から終始御鞭撻を蒙り致しました事を厚く御礼申します。

主 要 文 献

- 1) K. Kotsuka: H. Ishikawa's Collected Papers (1938)
- 2) K. Kotsuka: Proceedings of the Japanese Physiological Society Kyushu (1943)
- 3) W. Kühne: Zeitsch. für Biologie Bd. 22 N.F. 4
- 4) K. Meyers: Zeitsch. für Biologie Bd. 22 N.F. 4
- 5) H. Fredericq: Bell. Acad. r. Belg., Cl. Sci. V.S. 19 (1933)
- 6) 石川繁子: 日本生理誌 10巻, 10号 (1946)
- 7) 石川繁子: 関西医科大学雑誌 8, (1) 1956
- 8) 石川繁子: 関西医科大学雑誌 8, (2) 1956