(昭和13年10月25日受領)

ムラサキウニの興奮傳導系に就て

(13 挿圖)

Is there Any Anastomosing Plexus in the Superficial Nervous System of the Sea-Urchin?

(13 Figures)

木　下　治　雄
東京帝國大學理學部動物學教室

Haruo KINOSITA
Zoological Institute, Faculty of Science, Tokyo Imperial University

Résumé

1) As is well known, when a stimulus is applied to the body surface of the sea-urchin, the spines around the stimulated spot respond so as to lean towards the stimulated spot. The response becomes less notable with the distance from the stimulated spot, and it has been considered that the impulse is propagated, with decrement, diffusely through the superficial nerve plexus. As a matter of fact, Uexküll (1900) has shown the cases in which the impulse could make a détour round obstacles placed experimentally in the route of its propagation. However, this is not true, least in *Anthocidaris crassispina* (and also in *Pseudocentrotus depressus*, *Strongylocentrotus pulcherrimus*, *Mespilia globulus* and *Diadema setosum*). According to the experiments shown in fig. 1, 2, 3, 4, 5 and 6, it is clear that there are superficial nerve elements not forming plexus but radiating approximately linearly from the circle of muscles around each spine, and if a stimulus is given to the nerve element, the impulse performs a linear progression (without showing any lateral propagation) to the muscle at the base of the spine.

2) The surface of the spine possesses no conductivity of impulse, so that when an impulse reaches a spine in its course of progression, it can only activate the spine muscles facing the centre of the propagated impulse, but no further propagation of the impulse can establish across the spine. In this sense each spine is an obstacle for the conduction of impulse. However, when an impulse causes the contraction of the muscles on one side of the spine, the muscle-complex on the other side of the spine is mechanically stretched by the leaning movement of the spine, so that a new excitation develops there which propagates also linearly through the superficial nervous elements and causes the contraction of the next spine. In other words, in the integument of the sea-urchin there are many nerve elements meeting at the base of the spine but insulated perfectly

from one another by the spine, and an impulse originated in one element is transmitted to the other by virtue of this "RELAY" effect of the movement of spine without the usual synaptic mechanism. A quantitative study of such a "relay" transmission is made by an arrangement shown in fig. 7 and the result is given in fig. 8. In view of this fact, it may be stated that, in the body surface of sea-urchin with numberless spines on it, the course of the conduction of impulse is made to deviate from a straight-line by each "relay" transmission of the spine, even if the transmission within a nerve element is strictly linear. This may be the reason why the superficial nervous system looks as if it allowed the impulse to go round obstacles placed in its course of propagation (cf. fig. 9) and formed an anastomosing nerve plexus.

The impulse conducted through the superficial nervous system by means of the "relay" act of the spine travels quite independently of the topographical relation of the body surface (i. e. radial zone and interradial zone, latitudinal and meridional direction of the shell sphere).

3) The radial nerve comes up to the body surface together with the ambulacral system but it does not directly innervate the muscle of the spine. The radial nerve seems to enter into the tube feet from which it is distributed to the muscle in question, because if the tube feet are taken off in an area of considerable extent, the spines in this area do not respond to the radial nerve stimulation.

In an experiment analogous to that of fig. 1 (a and b in this case are the stimulation of the radial nerve in different radial zone), it is shown that the impulse started from the tube foot can not go round the obstacles placed between the tube foot and the muscle of spine.

4) Cutaneous stimulation causes the retraction of the tube feet. This reflex arc passes through the radial nerve, since the radial nerve extirpation abolishes this reflex. According to an experiment analogous to that of fig. 2 (in this case S is a tube foot) it is certain that the sensory nerve in the integument takes a straight-line course towards the base of the tube foot.

*　　*　　*

A) ウニの體表に diffuse nervous system が存在するか?

ウニの體表の一點に刺戟を與へてみると附近の棘はその刺戟點に向つて傾いて來る事が見られるが, その際その傾きの度合は刺戟部位より遠ざかるに從つて小さくなる事がわかる。これは刺戟部位から興奮が diffuse nervous system に依つて減衰傳導 (decrement conduction) を以て四方に傳搬されるが故であるとして說明されてきて居る (e. g. UEXKÜLL 1896 a, BUDDENBROCK 1937)。所で棘にはその基部に於て放射狀に筋肉が張られて居て各筋肉は相互に拮抗的に働く敵手を持つて居るわけであるから今非對稱的な興奮が與へられたとすると最も强く收縮の起つた側へ棘は傾くわけであるが (UEXKÜLL 1921), これを逆に言ふと上述の如く棘が刺戟部位の側に傾くが爲にはその棘の基部の筋肉の內で刺戟源に最も近い筋肉が最も遠い筋肉よりも强く收縮せねばならぬのであつて anastomosing な diffuse nervous system を傳

つて興奮が棘の一方側からその反對側へ通過する際[1] 興奮は著しくその强度を減ずるものと考へねばならない。併し以下に述べる實驗の結果によるとこの樣な diffuse nervous system 自身が實際に此處には考へられないのであつて如上の說明には全然從ふ事が出來ないのである。

此等の實驗では殼の小片を棘の附いたまゝ體から鋸を用ひて切出し，これに必要な手術を施した後1時間以上海水 (running) 中に放置しおき (Dudley and Horton 1929 參照) 後，實驗に用ひた。catch muscle があると收縮後舊位に復するのに手間取ることがあるから多くの場合，殊に kymograph の描記を必要とする場合には catch muscle を强く收縮せしめて置いてその棘を無理にグルグルと搖り動かす事により catch muscle を破壞した後，phasic muscle のみ附着して居る棘について便宜上の實驗をしたが實驗の結果は少くとも本質的には catch muscle intact でも同樣であつた。radial nerve を直接に問題にしてない場合にはこれ (radial nerve) を豫め除去した材料で實驗をした。筋肉收縮の大きさは棘の傾きを "after loading" の isotonic lever で擴大して觀察したが實際筋肉の resting length が問題になり得るから(附錄實驗 I) 筋肉の resting length は常に棘を殼に直角に保つ樣に lever を調節する事により規定した。刺戟としては常に大きさの定まつた濾紙に鹽化ナトリウムの飽和溶液を浸したものを海水をよく拭取つた體表に與へたが又屢々針の先を以てする機械的刺戟をも併用した。電氣刺戟は最初種々に苦心したが，その驚くべき current spread の爲に放棄せざるを得なかつた。

用ひた材料は主としてムラサキウニ (*Anthocidaris crassispina*) であるが，これでは Uexküll (1896 b) の所謂 "Schattenreflex" は微弱であつたので實驗は唯 diffuse day light のもとで特殊な光學的注意を拂ふ事なく行つた。又自身の出す CO_2 のために筋肉の tonus が低下するといふ點 (Uexküll 1896 a) を考慮して實驗を空氣中で行つた時は常に頻繁に海水を灌流した。室温は 24°～28° C の內であつた。

尙 Uexküll (1900) によると "strong stimulation" は棘をして刺戟源の反對側に傾かせると云ふのであるが，彼にならつて鹽化ナトリウム，鹽酸，醋酸，ニコチン，アンモニヤ等で體表刺戟を與へてみたがムラサキウニでは intact のものでも切り出したものでも決してこの樣な事は無かつた。

實驗 1) 第1圖の如く殼上の二棘 A. B のみを殘して[2] あとの棘を拔き取り，この2本の棘の相對する側の筋肉（太い線で描いた部分）を殘し外側の筋肉を全周の半分或ひはそれ以上[3] 切り去り，各棘の中心を結ぶ線（圖上點線）上に橫幅 (*xy*) の充分廣い[4] 濾紙に鹽化ナトリウムの飽和溶液を浸ませたもの[5] a を當てる。若しも體表上にある興奮傳導系が網目をなした單一のものならば興奮はあらゆる方向に任意の經路を辿つて傳はるから A は b 側に，B は a 側に夫々傾く筈である。而も A と B の筋肉が大體相等しければ減衰傳導によつて A の傾きの方が B の傾きより大きい筈である。所が實際にはこの豫想を裏切つて常に A の筋肉は全然收縮せず B のもののみ收縮するのが見られた。反對に a の對稱の位置 b に同樣の刺戟を與へてみると今度は A が傾き B が反應しない。この現象は catch muscle を切斷せぬ intact のものでも，又 A B が共に步帶[6] にあるとき，間步帶にあるとき，一方が步帶に他方が間步帶にあるとき，A B の方向が殼球の赤道面に如何なる角度をなす場合にも常に見られ，又ムラサキウニに限らずアカウニ，バフンウニ，コシタカウニ，ガンガゼでも實證し得る一般性のある事實である。この事は刺戟點から四方へ傳導される興奮に對し棘は一つの遮斷物[7] たる役目をなすこと恰も光源より進行してくる光に對する遮光物の如き關係があり，この投影部になぞらふべき棘の蔭になつた後方部分には興奮は傳はらないものであることが明白である。これでは興奮傳導に極性を持たぬ anastomosing な diffuse nervous system の存在は到底ここに肯定すべくもないのであつて，それにも拘らず Uexküll が何故あの樣な誤つた結論に到達したかと云ふ事は實驗 B に於て論議する事にする。

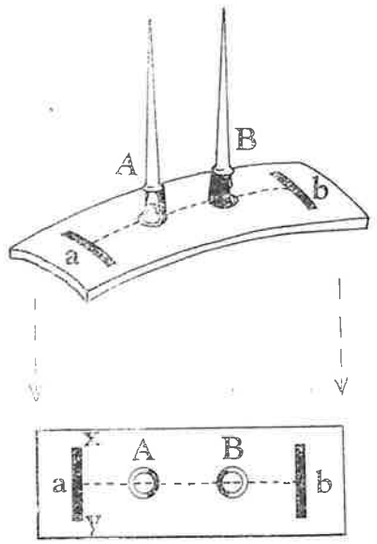

Fig. 1. When a piece of filter paper soaked with saturated NaCl is applied at "a" on the surface of the preparation dissected out as is shown in this figure, the spine A in which all the muscles facing the stimulated part "a" have been cut off, does not respond, while the spine B in which the muscles remain unchanged on the side of "a," leans towards "a," although A is nearer to the stimulated point than B is. The same relation establishes when "b" is stimulated. It is clear that the impulse can not go round obstacles placed in the route of its propagation.

自分はこゝに刺戟源に對する棘の關係を光源に對する遮光物の關係になぞらへたが，これはその形態的な實相が「棘の基部に放射狀に排列されて居る筋肉に innervate して居る運動神經が筋と同一中心線

1) ムラサキウニではこの2つの筋肉間の距離は最大の棘についてみても 3.5 mm を超えることはない。反對にどんな小さい棘でも刺戟源に對し傾く反應は常にあるのであつて若し diffuse nervous system の減衰傳導の爲に刺戟源に近い筋肉が遠い筋肉よりも强い興奮を受けるのだとすれば，それは驚くべき "decrement" だと云はねばならぬ。

2) 他の棘を拔く事の意義に關しては附錄實驗 II を參照され度い。*Pedicellaria* は體表刺戟に反應する事が知られて居る (Uexküll 1899)。實際この動物でも體表刺戟により *Pedicellaria* はその方向に曲るが，これは形が小さい爲か實際上實驗 B に言ふ如き新なる刺戟源とはならないらしいからそれを取殘しておいてもその存在は實際上無視しても差支へなかつた。

3) 併し餘り澤山切り取ると以下の如き結果とはならない。これは實驗4の結果と照合して納得が行くと思ふ。

4) この幅は少くとも棘柱の底面の直徑より大きい事が必要である。その理由は實驗4に詳述する。

5) 體表上の餘分の海水を濾紙で良く吸ひ取り，且 a の位置を適當に選ぶ事により鹽化ナトリウムの擴散を極力防ぐ樣に努めた。以下の實驗でも同樣である。

6) Anton (1927) の言ふ樣にこの材料でも radial nerve があるときは體表刺戟により管足の反應はあり，これにより考へて居る刺戟源以外に二次的に別の刺戟源が出來る可能性がある（これに關しては後の實驗 C 及 I) を見よ）が今の場合は radial nerve を水管系と共に破壞した preparation に就て云つて居るのだから，その管足は體表刺戟に對して反應しないし從つてこれに基く觀察の誤りはない。

7) 棘の表面（但し筋肉の附着せる部分を除く）には體表の他の部分に於けるが如き被刺戟性（鹽化ナトリウム又は機械的刺戟に對する）は全くない。又棘の筋肉を半圓周程なるべく殼に近く切斷しその棘側又は殼側の切口に鹽化ナトリウムの結晶を靜かに置いてその結果を見るに，そこに成立したであらう所の興奮が棘の筋肉柱の中を橫に迂廻して向側の筋肉に傳導されたと考ふべき反應は全くないのだからこの筋肉の部分に橫廻りをする神經（例へば "collar nerve" などと云はれて居るものによる橫廻りの連絡）は考へられぬ。從つて第1圖の實驗で筋肉柱の刺戟源に面して居る部分を除去したことは所要の筋の拮抗筋を取去つただけのことで，決して刺戟源から所要の筋にゆく神經を中斷したものではないことが云へる。

に沿ふ如くに放射して居る」ことに歸せしむべきものと思はれる。

實驗 2) 第2圖の實驗はもつと簡單に興奮傳導の直線性を示すものである。今切り出した任意の殻上の一本の棘Sを殘し，あとをなるべく充分に抜き去り，棘の根本近くに殻を通じ圖の様な切傷を入れる。そしてこの切傷の向ふ側に一定の大きさの圓形の濾紙に鹽化ナトリウムの飽和溶液を浸したもの(a)を置いた場合，棘Sは反應を示さぬのに反しSよりの體表上の最短距離をaの場合と等しくとつた他の點a′, a″に同様の刺戟を與へればSは明らかに傾くのがみられた。[8] この様にa′或ひはa″とaとはS迄の傳導に要する距離が等しいのであるから，aで刺戟をした際Sに反應のないのは所謂興奮の減衰によるものではない事は明瞭である。この様に興奮が邪魔物を迂廻して進む能力のないことは，この體表の興奮傳導系は決して今迄考へられて居た様な anastomosing な diffuse nervous system ではなく，棘の附根の筋肉から放射狀に神經が排列されて居て決して他の神經と網目をなさぬものらしい事を暗示する。

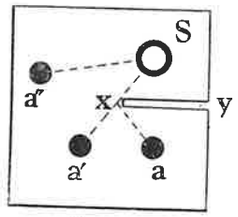

Fig. 2. In a preparation with a single spine S, a cut xy is made in the integument so as to prevent the straightline connection between S and a. An impulse started from a fails to reach S, while the impulse started from a′ or a″ causes the response of S, in spite of the "effective length" of conduction (axS, a′S, a″S) being adjusted to be the same. The stimulation at a, a′ and a″ are made with pieces of filter paper soaked with saturated NaCl.

實驗 3) 殻上に殘した唯一本の棘の筋肉を半周を少しく超える程度[9]に切り去り筋肉を殘した側の表皮上に筋肉より一定の距離（3 mm）に於て第3圖に示す如く濾紙に鹽化ナトリウム飽和溶液を浸したもの(a, b, c)をあてがつた。aとbとは筋肉に面する幅は同じ（1 mm）だが面積を異にし(比が1對5) bとcとは面積は同一だが筋肉に面する幅が遙ふ(その比1對5)のであつて，その効果を同一の動棘筋に就いて比較研究した。(aをあてがひ，次にその部位をよく海水で洗ひ充分時間を置いてbをあてがふと云ふ様にして數次にわたる刺戟を繰返した)。その結果は次表(表I)の如くである。

表の中の矢印は測定の順序を示すものであるが，この順序の如何に關せずaの場合とbの場合とでは收縮の大きさに大差は見られない。それに反しbとcとでは明瞭なる差が現はれて居る。此の場合a又はcの濾紙の外側(筋肉に對し遠い側)の部分でも若しそこに獨立に刺戟を與へてみると有効なのであるからそこは場所的に見て決して減衰傳導に由る刺戟無効の部位ではなく從つてbの場合はaの場合よりも確かに大きな體表刺戟となるであらう事が考へられるが，その差が筋肉に現はれない事は興奮傳導體(神經)が棘から眞直に放射狀に(こゝではbの濾紙の長さの方向に)走つて居る爲にaでもbでも同數の神經が興奮するからだと考へ

8) この結果は UEXKÜLL (1900) の「切傷を入れたときでも興奮は最短距離を迂廻して筋肉に達する」といふ結果と相矛盾するが，これに對する解釋は第9圖に於ける實驗を參照され度い。

9) 餘り深山切取り過ぎると表Iに示す様な結果は得られない。この事に關しては實驗4を參照せられ度い。

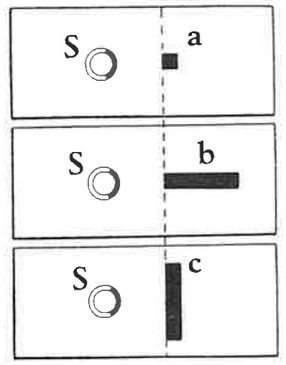

Fig. 3. In a preparation with a single spine S, the circle of muscle at the base of the spine is partly cut off (the rest being indicated by the black semicircles) and a stimulus "a" (a rectangular piece of filter paper soaked with saturated NaCl) is applied. After the response of S being recorded on the kymograph, the filter paper "a" is removed and the stimulated site is washed thoroughly with sea water. Then the next stimulation ("b" or "c") is applied on the same site and this procedure is repeated in the sequence given by arrows in table I. The result (table I) indicates that, in spite of the great difference in the area of stimulation, if the edge of the paper facing the muscle is of the same length and takes the same position, the effect of the stimulation "a" can not be distinguished from that of "b." On the other hand, even if the same filter paper is used and the edge of the paper facing the muscles is put on the same line, the effect of stimulation is quite different for different orientations of the filter paper ("b" and "c"). It may therefore be considered that "a" and "b" stimulate the same number of nerve fibres while "b" and "c" induce excitation in a different number of nerve fibres, suggesting that the nerves radiate approximately linearly from the circle of muscles around each spine.

Table I. Relative contraction height in arbitrary unit when a piece of filter paper soaked with saturated NaCl solution is applied to the body surface at a distance 3 mm from the muscle (shown by semicircular black band) in the manner as is given by a, b, c in fig. 3. In one and the same preparation, the test is repeated after the effect of the previous test being subsided completely by washing out the NaCl with sea water. Arrows indicate the sequence of test.

Number of preparation	Relative contraction height in arbitrary unit						
	(a)→	(b)→	(a)→	(b)→	(c)→	(b)→	(c)→
A	22	20	19	19	29	18	30
B	19	18	18	18	27	17	25
C	21	20	16	14	29	13	25
D	19	19	18	18	25	19	30

る事が出來る。反對にbとcとでは體表刺戟の面積は同一でも異る數の神經が，從つて異る數の筋肉が興奮するものとして理解出來る。結局のところ筋肉より一定の距離に與へられた刺戟はその面積如何に拘らず筋肉に面した方の邊緣の長さが長い程効果的である事が判る。この事を今少しく定量的に定め且神經が棘に對しどの程度に正しく放射狀排列をなして居るかを檢べんとしたのが次の實驗である。

實驗 4) 一つの棘の周りに於て他に大きい棘のなるべく無い[10]方向の筋肉だけを殘してあとを第4圖に示す如く切り去りこの筋肉群 xy の描く弧の半經を r としその弦を a とし夫々測定して置く。次に棘の中心より一定の距離 d を距てゝ色々の幅 b を有する濾紙[11]

10) 周りに相當大きい棘がありこれを筋肉諸共抜き取つた場所で實驗をすると，複雜な結果を得るがそれについては附錄實驗 II を見られたい。又非常に小さい棘（棘の基部の直徑 0.2 mm 程度のもの）は抜かずにそのまゝで實驗を行つたがこれによる影響が實際的に殆んど無い事は附錄實驗 IV 及び表 III を參照されゝば分明する。

11) 實驗3より明らかな如く濾紙の奥行はこの際問題とならない。

に鹽化ナトリウムの飽和溶液を浸ませたものをxyの中心と棘の中心とを結ぶ線に關し相稱になるやうにあてがつた場合、筋肉の收縮の大きさと濾紙の幅 b の大小との間の關係を調べた。その一例を示せば第 5 圖の如くなる。これより言へる事は濾紙の幅 b が或る値より大きい場合は收縮の大きさが一定になる事である。かゝる臨界的な b（これを b_0

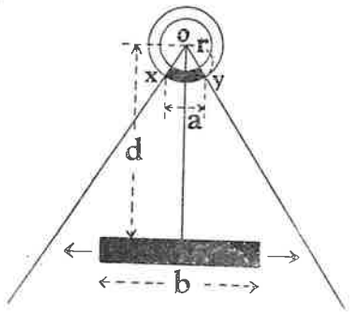

Fig. 4. A part of the circle of muscles at the base of the spine (of the radius r) is left uncut (the length =a), and a somewhat long stripe of filter paper soaked with saturated NaCl (the length = b) is applied on the surface of the preparation at a distance d from the spine and symmetrically for the line connecting the middle point of the muscle bundle and the centre of the base of the spine. The length b is altered so as to stimulate a different number of nerve fibres (cf. fig. 3). The result is given in fig. 5 and table II.

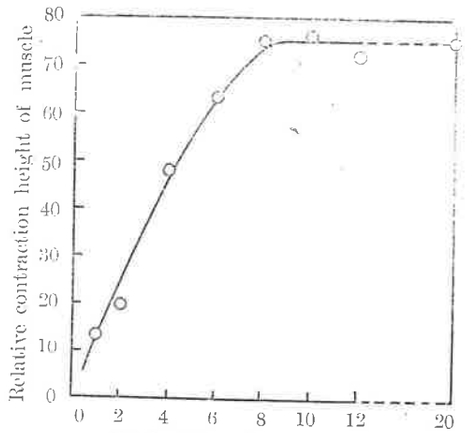

Fig. 5 Relation between the length b in fig. 4 and the resulted contraction height of the spine muscle.
(d = 4.5 mm r = 1.9 mm a = 2.5 mm)

Number of preparation	1	2	3	4	5
$\frac{\sqrt{r^2-\frac{a^2}{4}}}{a}$	0.56	0.56	1.0	1.8	1.1
d/b_0	0.56	0.53	0.94	1.6	1.2

Table II. According to the result shown in fig. 5, there is a critical value of b (denoted here as b_0), above which the response of the spine remains constant irrespectively of the length b. It is clear from fig. 4 that, if the ratio $\sqrt{r^2-\frac{a^2}{4}}$: a is identical with the ratio d : b_0, the line ox or oy should pass practically the end point of the stripe of filter paper in the case in which the paper is of the length b_0 at a given d, suggesting that the nerve emerging from the spine must take a straight, radial course.

とする）の存在する事から棘を中心として比較的正しい扇形の面積に於て神經が放射狀に竝んで居てこれより外の部位に與へられた刺戟はその筋肉には達しないのであることが考へられる。次にこの扇形の底邊をなす長さ b_0 を第 5 圖から求め，それの a, r, d は既知であるから $\sqrt{r^2-\frac{a^2}{4}}/a$ と d/b_0 とを各 preparation で較べてみると表 II の如くなる。

この様にこの 2 つの値に著しい差の無い事は，上に述べた扇形の底邊の兩端が大體棘の中心と筋肉の兩端 xy とを結ぶ線上にある事を示すものでこれを以てすると筋肉から放射狀に排列されて居る神經は殆ど曲りくねる事なく“radiate”して居て，枝も出さぬか或ひは出して居るにしても餘り側方に擴がつて出て居らぬらしい事が了解出來る。

實驗 5） 棘の基部に於て放射狀に排列されて居る筋肉はそれと同一中心線に沿ふて放射狀に直進する運動神經によつて innervate されて居る事はかくして明白となつたが各神經單位は異る長さを持つであらうから第 4 圖に於て濾紙の幅（b）を如何に大きくとつても筋肉への距離（d）が或程度以上に大きくなれば刺戟される神經單位の數は尠なくなるべきであり，從つて筋の收縮は小さくなり，ためにたとへその神經單位は不減衰傳導をするものであつても全體として既述の如き減衰傳導と見らるべきものを見掛上成立させる事になる。

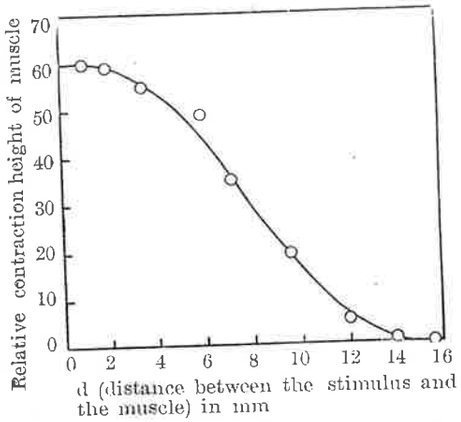

Fig. 6. If the length d in fig. 4 is increased, adjusting the length b at the same time so as to keep b always not less than the critical value b_0 for each new value of d, a decrease in the contraction of the muscle (or a decrease in the number of the stimulated nerve elements) is ensued in the manner as is shown in this figure. The critical value of d, at which the stimulation becomes ineffective (14~16 mm in the present case; diameter of the base of the spine: 3.2 mm) may indicate the length (or “effective length”) of the longest nerve elements among those innervating the group of muscles at the base of the spine (see table III).

今一つの棘を選び，その周圍に於て他の棘のない方向を撰つて第 4 圖に示す如き preparation がなるべく細長く出來る様にする。その切殘した筋肉（a）の大きさから角 xoy を知り，常にその扇形の底邊たるべく充分に長いところの「食鹽濾紙」（b）を用ひ刺戟源となしつゝ距離（d）を變へ，それに對する筋肉（a）の反應を見た。今神經が放射，直線的な分布をなし均一な被刺戟性を持ち，且不減衰傳導をすると考へると，距離（d）の增すにつれて筋の收縮の大きさの減少すること（その關係は第 6 圖に示してある）は棘を中心として放射狀に竝んで居る神經單位が大體どんな長さのものをどんな割合に持つて居るかを示す事になる。但しこの神經は減衰傳導をやらないとは云へないのだから，この神經の長さなるもの

は實際のそれとはどの様な關係にあるかは言へないのであるが，ともかくこの "effective length" の最大値は棘の大きさ（ここでは便宜上棘柱の底面の直徑で表はした）によつて大いに異るのであつて(この兩者の關係を表にて示せば表 III の如くなる) 假りに大きい棘を動かすには強い筋の收縮を要し從つて "大きい興奮" を要するものならば，かくの如く大きい棘ほどその神經の "effective length" が長いと云ふことはこゝに減衰傳導があることを考へにくくする。

Table III. The length of the longest nerve (cf. fig. 6) correlates positively with the size of the spine to which the muscle fibres innervated by the nerve are attached.

Diameter of spine at its base in mm	0.7	0.9	1.6	2.0	2.5	3.0	3.2
Length of the longest nerve in mm estimated from a series of experiments as is shown in fig. 6	3.5	5.0	6.5	8.0	9.8	13.5	15.0

B) 體表に於ける "Relay" 樣式に基く興奮傳導

前述した所の刺戟點を光源に，棘を遮光物になぞらへる analogy からすれば棘の彼方の投影部にあたる場所へは直進的傳搬をする興奮は到達しない筈なのにも拘らずその投影部にあたる場所に位置する第二の棘に實際には反應が見られる。併しこのことは第一の棘を實際上動けなくすればもはや起らぬのであつて，例へば2本の棘 AとB 以外の棘を全部拔き取つた preparation で A棘の B棘に對する反對側の體表上の一點（その點と Bとを結ぶ直線内に Aがあると云ふ樣な點）に鹽化ナトリウムの結晶を置くと普通ならAに次で B も反應するのだが，A 棘を全く動けない樣に固定して置けば B 棘はもはや傾かないのである。この事からすると棘の右側（例へば）から興奮が來る場合右側の筋肉は收縮するがそのために左側の muscle complex は "stretch" され，この "stretch" によりその部位に興奮が成立しそこが二次的の刺戟源[12]となり，こゝから興奮の新しい出發が行はれるものと見なければならない。

かくの如く神經組織としては全く不連續的に誘發される "induction of excitation" とも云ふべき "relay" mechanism が具つて居るが故に神經傳導そのものは直進的であり從つて

12) これは proprioceptor として筋肉内に局在するものであるか，その上の表皮構造の中にあるものであるか，こゝでは敢て論じない事にする。又興奮は "mechanoreceptor" として特殊構造を有するものが stress を受ける事によつて成立するのであるか，單なる神經の "stretch" に依るものであるかと言ふ事もこゝでは立入つて論じない事にするが，本論文では便宜上こゝに mechanoreceptor が存在するかの如き表現を用ひる事にする。實際には上記の張力の增加を感じる感受體が筋肉の表皮附近にあるらしい傾向は見られるのであつて若し筋肉のみを殘して紫色の上皮を取去つたものではこの上に鹽化ナトリウムの結晶を置くとそれ自身の收縮は見られるが幾ら引張つても最早他の棘の筋肉を收縮せしめる事は出來ないのである。但しこの際興奮は成立して居てもそれを他の棘へ傳達すべき神經を失つて居るとも考へられるから，こゝに立入つた結論は出來兼ねる(尙脚註 14 を參照せられ度い)。實際或棘に附着する筋肉組織中に他の棘の筋肉に innervate すべき體表神經が來て居る事は，任意の棘を動けない樣にして置いて，A の或側の筋肉の表皮上に靜かに鹽化ナトリウムの結晶を置くとその側に於て隣接する棘 B が傾く事から分るが此際此側でない方向に於て隣接する棘に反應のないことは，この神經纖維が棘A の筋肉柱を橫に迂廻して B 棘に對して裏側にある方向には行つて居ない事を明示する。

棘は興奮傳導の遮斷物であつても，或場所に成立した興奮波はその傳導の途中に出會した棘を越えてその彼方に disturbance を送る事が出來るのであり，そのために興奮の傳導可能の範圍はこの機構なき場合に比べて大きく[13]なるのである。別言すると一つの神經單位は次の神經單位に對して "synaptic" mechanism でなしに生理的連結をなし得る例をこゝに得たわけで，これが神經的連續性を全く欠ぐが故に敢て "relay" 樣式と云ふ語を用ひたわけである。

この關係を定量的に知る爲に第7圖に示す如く2本の棘 AB のみの preparation を作り各棘の相向ふ外側の筋肉を半分以上切り取り，棘B を kymograph の廻轉を利用して急に下方に

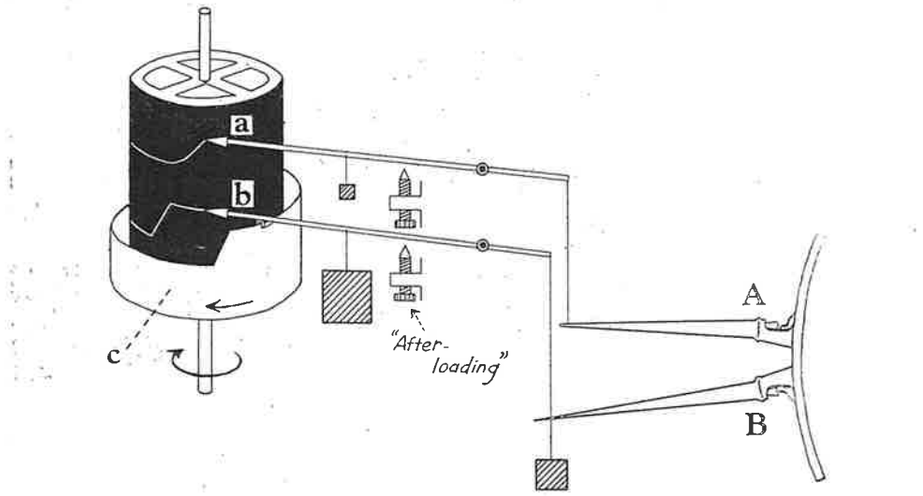

Fig. 7. A device to stretch the muscle at a fixed velocity to a fixed extent
A celluloid cylinder (c) rotates with the kymograph and pushes the lever b upwards, working against the downwards pulling of the weight attached to the lever b, at a known velocity determined by its oblique upper edge and to an extent controlled by the change of the level of the upper edge of the cylinder.

When spine B is thus pulled downwards by the controlled movement of the lever b, the muscle complex on the upper side of the spine B is stretched and an excitation establishes there which is conducted so as to induce the contraction of the muscle of spine A. If there is an obstalce (an incision in the integument) in the course of impulse from B to A, the impulse can not make a détour round the obstacle, so that it is clear that the impulse performs a linear progres-ion.

As is clear from fig. 8, the "stretching" effect of B on A can be analysed in two factors (the "velocity" and the "magnitude").

13) "Relay" 樣式によつて次から次へ新しい興奮波が繼起されてもそれが無限の範圍にまで傳らないのは恐らく relay される毎に興奮 (number of stimulated nerve?) が小さくなるからであらう。relay される時の兩興奮の關係は第7圖及第8圖に關して記述する所を參照せられ度い。

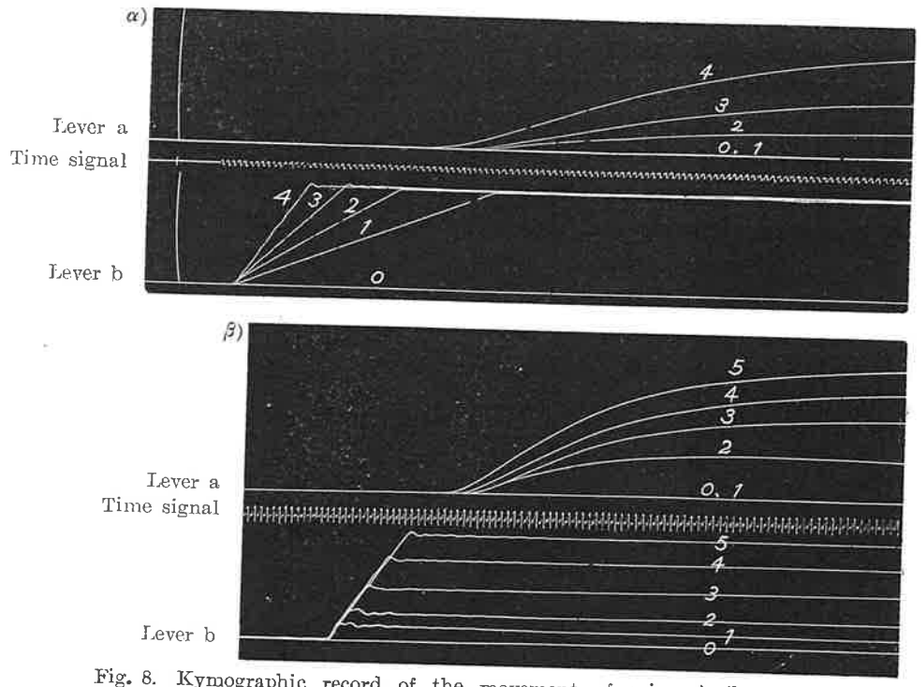

Fig. 8. Kymographic record of the movement of spine A (lever a) induced by stretching the muscle-complex of spine B (lever b) (see fig. 7)
Distance between the muscles (A and B) : 1.5 mm (in α)
and 1.0 mm (in β)
Time signal : 1/100 sec. Temp. 27~28°C

α) When the rate of the "stretching" (b curves) is increased (from 1 to 4), the contraction (a curves) becomes more prominent, even though the "magnitude" of the stetching is kept constant. It must be remarked that if the stretching is too slow (curve 1 in b), no excitation establishes in the muscle-complex.

β) When the "magnitude" of the stretching is increased (from 1 to 5 in b curves) without changing the rate of the stretching, the contraction (a curves) is also strengthened.

曲げる事により[14] その筋肉を急に "stretch" するとこれに應じて棘 A は傾くが，この際の

14) 第7圖に示されて居る如く棘 B の筋肉には充分重い荷重が掛つて居るから第8圖に示されて居る様にこの筋肉は受動的にしか動けない。併しこの荷重を輕くして筋肉 B を引張つて見ると明瞭に B 筋肉自身のこの "stretching" に對する反應（伸長後之に抗して起る收縮）がみられる。そしてその收縮の大きさは引張る速さ及び長さに應じて大きくなる事が判つた。たとへば引張る速さが同様な場合，引き延ばす長さと收縮の大きさとの間の關係を一例を以て示せば，

Relative value of stretching	2.5	10	11	12	14	16	20
Relative magnitude of contraction	1.0	3.0	3.5	3.2	5.0	6.8	12

このstretchingのreceptorは筋の表面の紫色の表皮にあるらしくこれを取去ると，この反應は見られない。

兩棘の動きを杆桿 a, b により kymograph に描かせたものが第8圖である。[15] α 圖から分る様に B の筋の "stretching" の大きさが同一でも A の筋の收縮の大きさ（並びにその速度）は B の筋を引延ばす速さと共に增し，又 β 圖にある如く B を引延ばす速さが一定であつても A の收縮の大きさは B の "stretching" が大きい程大きくなる。併し注意すべき事は，この2つの factors には共に閾域があるらしく，殊に筋肉 B を引延ばす速さが餘りに遲い時は幾ら大きく延ばしても刺戟にならないのである（圖 α 參照）。又 B の筋肉を幾ら速く又大きく "縮めて" もこれに對しては A の筋肉は全く反應しない事も注目すべき事である。所でかくの如く "relay" 樣式によつて誘發された新しい興奮の傳導される神經は "relay" される以前の神經と形態的に同等のものらしい事は次の共通なる特性から考へられる。卽ち 1) 2つの棘の位置が步帶でも間步帶でも或ひは兩方に跨つて居る時でも，又棘の並ぶ方向が殼球の赤道面に如何なる角度をなして居やうともかまはない事。2) "relay" された興奮も矢張 anastomosing な diffuse nervous system を行かす直進性を有する事。[16] 3) 大きい棘（基部の直經約 3.5 mm）に附着する筋肉を effector とし別の筋肉を "stretch" して成立させた興奮が到達するための最大距離が約 15 mm 位[17]である事の3つをこゝに指摘出來る。ことに脚註 12) に述べた樣に，この放射狀に走つた神經纖維は筋肉の上の表皮中にも分布して居るのであるからこの考へは益々確らしく思はれる。

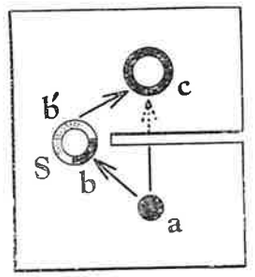

Fig. 9. According to Uexküll (1900), if a stimulus is given at a, the impulse thus induced can go round the cut made in its way to the spine c. However, such is not the case as is shown in fig. 2. However, if there is an "accessory" spine S in such a position as is shown in this figure, the impulse started from a in the direction aS causes the contraction of the muscle b, which induces a stretching of the muscle-complex at b' and a new excitation develops in b'. This new impulse is conducted linearly to c so as to give rise to the response of c. Hence, in spite of the straight-line course of each nerve element, the impulse conducted is "dispersed"—so to speak—in various directions on each arrival at the spine and is made to deviate laterally, so that it looks as if it travelled diffusely through the network of nerve plexus.

已に脚註 8 にも述べた通り Uexküll (1900) は「興奮の直進路上に切傷を入れて前進を遮斷すると興奮はそれを迂廻して傳達される」事を主張して居るが，これは所要以外の棘を完全に除去した preparation では成立たない言分である事は已に實驗 2 で示したが，棘の除去をしない preparation では實際見掛上このことは成立するのであつて，それは全く上記の "relay" 樣式の傳

15) 棘 B を急に動かした振動が A に傳はつて刺戟になつたのではない證據には B の筋肉の紫色の上皮を取るか，AB 間の表皮に充分深く切傷を入れ B を同樣に曲げても最早棘 A は傾かない。

16) この事に關しては附錄實驗 III を見られ度い。

17) この値は表 III に示した値と大體一致する。

導が加はる事に由るものである。例へば第9圖に於てaに刺戟が與へられた場合，直接的な神經傳導acは切傷によつて阻まれるが神經傳導abにより棘Sのaに面した筋bの收縮を起し，このため反對側のb′部に興奮が誘發されそれがcに達してcの反應を起すが，かゝるものをUEXKÜLLは見誤つたのだと考へられる。此際Sを除けば實驗2に已に述べた通り，aの刺戟に對してcの反應する事は全く見られないのである。この様に機械的な“relay”の様な機構がある爲に殼上に棘が密生する場合には各棘は二次的な刺戟源となり，神經は實際には直進傳導をやり迂廻性はないにも拘らず四方八方へ恰もdiffuse nervous systemの場合の様な屈曲性のある傳導をやり得るのである。

尙所要のもの以外は大小すべての棘を丹念に拔取つて（“relay”mechanismなき様にして）神經の“effective length”を見るとそれは表IIIにある如く大型の棘に於てさへ約1.5 mmに過ぎないが棘を拔かないpreparation上の一點に刺戟を與へるとそれより20～25 mm距つた所の小型の棘さへ反應を示す事があるのは，この“relay”mechanismが傳導可能の範圍を擴めるのに役立つものであり，且この際に棘が密集して居れば居る程“relay”mechanismの効果は合成加重されて益々傳導の範圍を擴めるであらう事が理解できる。

C) Radial nerveを刺戟した場合の動棘筋の反應

上述の實驗ではすべてradial nerveを水管系と共に殼の內面からけすり取つたpreparationで行つたものであるが，今これらをけすり取らず殼の內面のradial nerve上の一點に鹽化ナトリウムの結晶を置くか針の先端を以てする機械的刺戟を與へるかすると矢張動棘筋はそれに對し反應するが併しその反應は體表の刺戟に對する反應とは少しく趣を異にする。卽ちradial nerveの刺戟部位附近の表面にある棘は最初刺戟部位の方に傾くが，その際，體表を刺戟した場合の様に大きい傾きは決して得られないのであつて[18]且最初のこの定まつた筋收縮の後は種々の方向へ傾き曲る行動を繰返し，radial nerve stimulantを除いた後でも少しの間繼續する。又刺戟點より距つた位置にある棘では最初に傾く方向も一定せず初めから不安定な棘の**運動**が繰返される。併しradial nerveの一小部分だけ殘してあと**全部**を取去つたものに於てその殘存のradial nerveを刺戟すると（これは實際にradial nerveの“point”stimulationといふ事が出來る）體表を刺戟した時と同様に總ての棘は刺戟點の方に傾き（傾度は體表を刺戟した時より小）不規則性があまり見られないのであつて，この事實よりすればradial nerveの刺戟と體表の刺戟とは動棘筋に對する反應に關し何等本質的な差を持つものでなく，唯體表の刺戟が文字通り“point”stimulationであり得るに反し，radial nerveがそれ自身meridionalな傳導をやるためにこれの上の一點を刺戟しても上記の如くその兩側に於て神經を破壞しておくのでない限り，生理的に“point”stimulationをなさない點に兩者の相違の起る原因がある事が充分察せられる。

今刺戟點附近の棘の最初に傾く方向を更に精しく檢べるとこれは必ず刺戟點より最短距離に於てradial nerveが體表に拔け出ると考へられる場所（卽ち管足のある所）への方向に一致する。歩帶では2列に並んだ大きな棘の外側に管足が2列になつて出て居るのであるから，

18) 體表を刺戟した時とradial nerveを刺戟した時の動棘筋の反應の量的差異に關しては附錄實驗VIを參照され度い。

今一つのradial zone preparationを作りそのradial nerveの兩側の枝を刺戟すべく充分幅の廣い「食鹽濾紙」で刺戟すると，その上の2列の棘は互に反對方向に歩帶の外側に向つて傾くが片方の側だけのradial nerveの枝[19]を機械的に刺戟すれば棘は全部この方向に傾く。この事はradial nerveは水管系と共に體表に出るもので神經興奮は其處から棘へ直進しその棘をそちらに傾けるものと見るべきであつて[20]，この點UEXKÜLL (1921)やAXTON (1927)と一致するわけであるが，これ等の人々によつて代表される考へでは管足と共に體表に出たradial nerveは體表のdiffuse nervous systemのnerve netに連接するものであるとされて居るが，かゝるdiffuse nervous systemの存在は次の實驗の結果から考へられない。卽ち實驗1にならひ2つの歩帶及びこれに挾まれた間歩帶を含む殼を切り出し間歩帶上の2つの棘を殘しあとを拔き去り，この2つの棘の筋肉を第1圖にならつて相互に相對する部分を殘し外方半圓周を切り去り一方この2つの棘を結ぶ線の延長上の兩方のradial nerveの部分を殘してradial nerveの全部を破壞する。この様にして一方側にradial nerveに刺戟を與へるときは常に遠くとも刺戟點に面してゐる筋肉のみ反應するのが見られた。故にradial nerveを刺戟する場合，それに續き表皮の上の傳導を司る神經系は決してdiffuse nervous systemではなく，やはり直進性のある神經單位から成立つて居る事が判る。故にこゝに一本のradial nerveが興奮したとすると（この際ring nerveによる横の連結は考へないとして）興奮はその歩帶に於て2列をなす管足群の根本に現はれ，それが棘に向つて直進する事になる。だから一本の棘に就てこれを言へば（殊にring nerveによる横の連結のある時は猶更のこと）四方の管足の根本に現はれたradial nerveの興奮がそれに向つて突進して來るのだとも言へる。故に今radial nerve上の一點を刺戟してもそれが全radial nerveに擴がる限り一本の棘の刺戟源は一點ではなくなるわけであり，此上更に棘相互間に成立すべき“relay”様式による二次的の刺戟發生があるから實際的には非常に多くの方向から一本の棘に向つて同時性なき多數の興奮が直進して來る事になる。これが恐らくradial nerveの刺戟に對して棘が方向不定の運動（上述）を繰返し體表を刺戟した時のそれとは見掛上の様子を違へて居る原因であるらしく[21]，實際刺戟源のかゝる二次的分散を防いで眞のradial nerveの“point”stimulation（上述）を行ふとradial nerveの刺戟によつても，體表刺戟の場合の様な規則正

19) radial nerveから兩側に派出して居る分枝は同一單位のものでないらしい事はAXTON (1927)も認めて居る。

20) radial nerveが管足の出る箇所以外から體表に出て動棘筋に達して居るか否かをみるためにring nerveを切斷したpreparationで種々實驗を行ひ次の様な結果を得た。間歩帶の棘は歩帶上の表皮を機械的に破壞するか，歩帶はそのまゝにして置いても間歩帶の上でその棘と歩帶との間に充分長い切傷を入れるか，又は棘の周圍の表皮に圓形に切傷を入れると何れの場合でもradial nerveの刺戟に對して最早反應しなくなる。又radial nerveを或る點から先全部破壞すれば，その破壞を受けた部分の歩帶の棘は境界の極く附近を除きradial nerveの刺戟には反應しない。又radial nerveはintactでも歩帶の棘の周りに丸く切傷を入れれば，その棘のradial nerveの刺戟に對する反應はなくなる。だからradial nerveの體表への出口は管足の箇所に限られて居るとみてよい。

21) 尙附錄實驗V參照

しい收縮が見られるばかりでなく反對に表皮上の多くの點に機械的な刺戟を接時的に少しズラし乍ら與へてみると棘には radial nerve の刺戟に際して見らるる如き方向の不規則な運動が現れるのである。

次に水中で管足を充分延ばして居る動物につき，この管足をピンセツトで挾むと管足は收縮し[22]，それと共にこの周りの棘がその方向に傾くのがみられる。又步帶を棘のあるまゝ切り出し管足が良く延びるのを待つて radial nerve を刺戟すると明らかに管足の收縮[23] が見られ，殆ど同時に棘も反應し，管足が最も早く收縮する箇所に向つてその附近の棘が傾く事が判る。これは radial nerve 中の興奮は體表に出るや直ちに體表を直進して棘に達するのでなく，先づ管足に達しそこから改めて體表上に直進性の興奮が發せられて動棘筋の收縮が起るものであらうことを暗示する。實際或部分の管足を根元から全部（數ミリの殘存部分はあるが）取除いた preparation では，その radial nerve を刺戟しても最早管足の無い部分の棘は反應する事が稀であるが，管足を取殘された部分の棘には明瞭な反應が現はれるのであるし，此際管足を取除いた部分に於てもそこの體表上に刺戟を與へれば棘は反應するのだから，radial nerve 及び體表の神經は共に健在するとみるべきであつて，管足を取除く事によつて兩神經に連絡がなくなるものである事が判る。卽ちこの兩神經は管足の上で synaptic に連結して居るか又は radial nerve の興奮に基き管足の收縮し太くなるために起るそこの體表の "stretching" によつて mechanoreceptor が刺戟されて興奮が誘發される（"relay" 樣式による興奮の誘發で，そこに synapse を考へないもの）かの 2 樣の說明[24] が可能になる。

若し後者が正しいとするとウニの神經系は極めて visualize し易い構成をなして居るものだと言ふ事が出來る。卽ち一方に radial nerve と ring nerve とより成る一連の神經系があつてこれは水管系と共に體表に出て單純にそこの管足の筋肉に innervate して居るが，他方動棘筋に innervate して居る體表の神經は棘の中心より放射狀に或長さ眞直に延び，その終端に mechanoreceptor を持つて居るだけで，この 2 つの神經系はその間に synapse 其他の神經的連續性を全く缺いて居るにも拘らず，體表神經の內偶然その mechanoreceptor を管足の上に持つものが管足の收縮により radial nerve に起つた興奮を "relay" 樣式を以て繼受しそれが比較的小數の棘を動かし，これによつて更に "relay" 樣式に基く體表刺戟が誘發され結局多くの棘が反應する樣になるものであると見る事が出來るのである。これを以てすると體表の神經の內偶然その mechanoreceptor を管足の上に持つものゝ數はあまり多くないであらう事から，radial nerve の刺戟による棘の反應（傾き）は體表刺戟によるそれに比べて

22) 管足を强くつまんで收縮する事を阻んで居ても矢張り周りの棘は反應するのだから管足の收縮を伴はなくても體表の神經に興奮を誘起させることは不可能ではない（脚註 24 參照）。

23) radial nerve の刺戟に對する管足の反應をみるに Anton (1927) も報告して居る樣にムラサキウニに於てもその興奮の傳導は少くとも見掛上は "減衰" を示す。併し ring nerve intact で强い radial nerve stimulation を與へれば他の步帶の管足にも反應を起す事が不能可ではない。

24) 若し一帶の管足を輕く (mechanoreceptor の刺戟にならぬ程度に) 押へて收縮をゆるさない樣にした時，その radial nerve を刺戟してもその一帶の棘に反應が現はれないとすれば radial nerve と體表の神經とは synaptic に結合して居るのでなく，ここでも "relay" 樣式による興奮の induction が行はれて居る事が決定的になる譯であるが，或範圍一帶の管足を全部輕く固定して收縮をゆるさぬと言ふ事は技術的に出來なかつた。

小さいことの了解もつく[25]。

D) 體表の刺戟に對する管足の反應

體表に刺戟を與へると棘が動く外に管足にも反應の現はれる事は Anton (1927) が精しく述べて居るが，彼によれば「この體表上に生じた興奮は體表の神經により管足へ直接傳へられるのではなく，一旦 radial nerve に入り，そこから再び體表に出て管足に至る」と言ふのであるが，これには充分な實驗的根據がない。それでムラサキウニでこの點を檢べてみる事にした。先づ管足に對し體表に與へた刺戟の効く範圍は大體 Anton の言ふ通りであり，隣の間步帶迄を包含してゐる。この事は口極部でも反口極部でも同樣であり，決して radial nerve に與へた刺戟が體表の棘に擴がる場合の樣に ring nerve のないにも拘らず刺戟次第で全部の zone に涉る樣な事は見られない（附錄實驗 VII を見よ）。これから考へると同じく體表に存在してゐても動棘筋に innervate して居る運動神經は管足の反應に關する神經と同一のものらしくないと思はれる。實際これは radial nerve を破壞してしまふと體表を刺戟しても管足の反應は全く見られなくなる[26] 事からしても指摘できるのであつて體表上に起つた興奮は一旦 radial nerve を通じる reflex arc を經て管足に達するものであると考へざるを得ない，この管足に關する感覺性の體表神經も anastomosing な diffuse nervous system を形成して居ないらしい事は，管足に關し第 2 圖に示された樣な實驗を行ふ事により知り得た（こゝでは S が 管足，a, a′, a″ が體表上の刺戟源）。

總 括

1) ムラサキウニの體表上の一點に刺戟を與へるとそこに成立した興奮は anastomosing な nerve plexus により體表上を diffuse に四方に傳播され，周りの棘をその刺戟源に向つて靡かせるものであると考へられて居るが，今この興奮傳導の途上に色々な邪魔物を設けて見ると興奮はそれを迂廻して播がる事は全くないのであつて，その進路は直線的であり此處に diffuse nervous system の構造は全く考へられない。

2) 棘自身は興奮傳導性を缺いて居る。だから體表を傳はる興奮が一つの棘に突當るとそれはその突當つた側の動棘筋を收縮させるだけでそれより先へは行かない。この意味では棘は興奮傳導の遮斷物なのであるが，今棘の或側に興奮が到達しその側の動棘筋を收縮させ棘がその側に倒れるとその反對側の動棘筋が伸展せられ，そこに新しい興奮が誘發せられそれ

25) 尙附錄實驗 VI 參照。

26) radial nerve を破壞する際同時に ampulla も破壞されて了ふのが普通であるが，今特に ampulla だけを破壞し radial nerve を intact に殘したもの（これはその radial nerve を刺戟すると管足を經て棘に反應があるから判る）でも體表の刺戟により管足の反應を成起させ得るのであるから radial nerve の破壞に伴つて ampulla が除去される事が體表の刺戟に對する管足の反應の消去の原因とは考へられない。又普通 radial nerve を壞すと管足は半ば收縮した狀態になり，それの收縮は比較的に見難くなるのであるが今殼の裏面から强い水壓を加へる事により管足を先づ延ばし，それと共に體表刺戟を與へてみると矢張管足の反應は見られないのであるから，radial nerve を壞すと最早體表刺戟によつて管足の收縮を成立させ得ない事は決して見掛上の反應の不充分さによるのではない。

が更に體表上を直進する事になる。卽ち體表には棘を境にして相互に“insulate”された神經單位があるがこれらの間に synapse 等の機構を缺いで居るにも拘らず，棘の機械的な動作によつて興奮を一つから他へと“繼送”せしめ得るのである。故に無數の棘を持つ體表に於ては各神經單位內での興奮傳導は直進的であつても興奮が棘によつて“繼送”される毎に進路の屈曲性が附與せられ，邪魔物を迂廻するやうな經路をとることも可能になり，見掛上 diffuse nervous system が存在するかの如き觀を呈するのである。

3) Radial nerve は水管系と共に殼上に出て一旦管足組織內に至り其處で動棘筋へ直進する運動神經に連絡する。故に管足を取除いたものでは radial nerve の興奮は動棘筋へは傳はらない。

4) 體表には直進する感覺神經があり，これは一旦 radial nerve に入り再び殼上に出て管足に達する reflex arc を形成して居る。

附 錄 實 驗

1) 動棘筋の initial length が長い程よく刺戟に應ずる事は UEXKÜLL (1900) により指摘されて居るが，この事はムラサキウニでも云へるのであつて，第 7 圖の實驗に準じた裝置に於て after loading の level の位置を種々に變へて筋肉の initial length を變へると筋肉より一定距離 (5 mm) に與へた

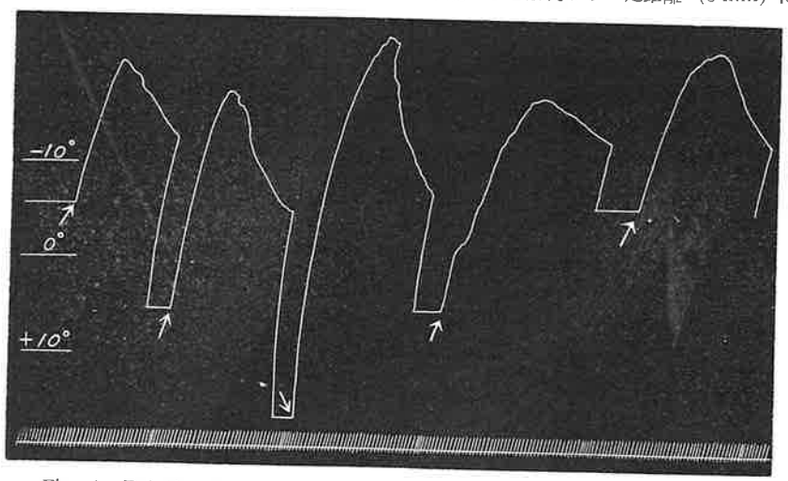

Fig. A Relation between the initial length and the contraction height of the spine muscle.

The muscle is stimulated indirectly by placing on the integument a piece of filter paper (area = 2 × 2 mm^2) soaked with saturated NaCl at a distance 5 mm from the muscle.

Numerical values on the left indicate the deviation angle of the axis of spine from its standard position which is defined arbitrarily to be perpendicular to the body surface. The positive sign means the stretched and the negative sign the slackened state of the muscle in comparison with the standard position (0°).

Time signal: 1 sec. Temp. 26°C

一定の刺戟（鹽化ナトリウム飽和溶液を浸した濾紙，大きさ = 2 × 2mm^2）に對して實驗の順位に關せず initial length が長い程大なる筋肉收縮が現はれる結果を得た（A 圖參照）。

II) 動棘筋からは直進的に且棘に對して放射狀に神經が走つて居るのであるからその途中にある棘を拔去つた場合は丁度こゝに棘の直徑に等しい長さの邪魔物を體表に入れたのと同樣な結果となるべきである。その實例の一つとして B 圖に示された場合を言ふと“食鹽濾紙”の幅（第 4 圖の b に相當するもの）を連續的に增して興奮する神經の數を連續的に增しても棘の拔跡に遮られて効果が直接に筋肉に現れず，圖の樣な不連續的な增加が起るのである。故に實驗 4 に述べた“b_0”の決定には棘の拔跡の位置を充分考慮せねばならぬ。

III) 第 7 圖の實驗に於て 2 つの動棘筋（A, B）間の距離をなるべく長くとり，中間にある大小の棘を全部拔き取り B を一定の速さで或る定まつた所まで“stretch”し，これによつて生じた A の收縮の大きさをみる樣にし，そのとき A B 兩筋肉の中間の表皮に一方の外側からナイフで切傷を入れて行き，順次その切傷を內方へ延ばして終に他の側まで突拔けさせると，それに基き A の收縮の大きさは變化するが，A の收縮の大きさが減少し初める點，及び全く零になる點は切傷の先端が AB 二棘の動棘筋の圓形外廓を同一角で挾み付ける 2 本の共通切線より少し內側にあり，且 AB の中心を結ぶ線に對稱をなし，又棘の拔跡は常に切傷と同樣な興奮の傳導の遮斷物である事が判つた。この事は筋肉の“stretching”によつて成立する興奮の傳導が矢張美事な直線經路をとるものである事を示す。

IV) 第 7 圖の裝置に於て筋肉 A, B 間の距離を一定にすると筋 B が小さい程，筋 B から發し筋 A に向つて convergent に直進する神經の數は少くなるのであらうから筋 A のそれに對する反應は小さくなる筈である。併しこれを確かめる事は A より嚴密に等距離にあつて大きさの違ふ棘を 2 本選び出す事の困難及びこの 2 本の筋肉を夫々同一速度で引延ばす事の技術的困難竝びに A の周圍に附いて居る筋肉乃至は神經の密度が方向によつて等しくないかもしれない事から實際的に不可能であつた。そこで大小 2 つの棘を選ぶ代りに，筋 B の筋 A に面した部分をその兩端から對稱的に順次小さくなる樣に切つて行き，その都度筋 B を同一速度で同じ長さ迄引張りそれに對する筋 A の收縮の大きさを記錄してみた。その一例を示せば表 α の樣になる。

Table α. When the muscle bundle of spine B in fig. 7 is made smaller by dissecting off the both edges of the bundle step by step, the response of spine A induced by pulling B at a fixed velocity for a fixed distance diminishes gradually as is shown in this table.

Relative breadth of the excised muscle bundle B in fig. 7	3.4	3.0	2.7	2.2	2.0	1.6	1.1	0.5
Relative contraction height of muscle A in mm	41	42	40	29	21	14	9	4

Diameter of the circle of muscle bundle at the base of spine A and B: 3.4 mm
Distance between A and B: about 1 mm Temp. 26°C

この樣に筋肉 B が小さくなれば筋肉 A の反應も小さくなる事は明らかであるが，左端の 3 つの data は B 筋が或程度以上大きい時は A 筋の反應は B 筋の大きさに關係しないことを示すものであつて，これは筋 B の內 A に對して眞正面でなく少しく側へ外れた部分から出る神經は筋 A には innervate して居ない事を意味する。これはこの部分が“stretch”される事の少い事にもよるであらうが神經の放射狀構

造から考へても當然理解出來る事である。

今適當な距離にある大小2本の棘を選び，小さい方の棘の筋に急に“stretching”を與へると大きい棘は傾くが，大きい棘を如何に速く傾けても小さい棘は傾かない。これは表 III に示した様に大小の棘によりそれに附屬する神經の長さが異るのに由るもので，兩者間の傳導は決して共通の神經纖維によつて“reciprocal”になされて居るのではない事を示すものである。

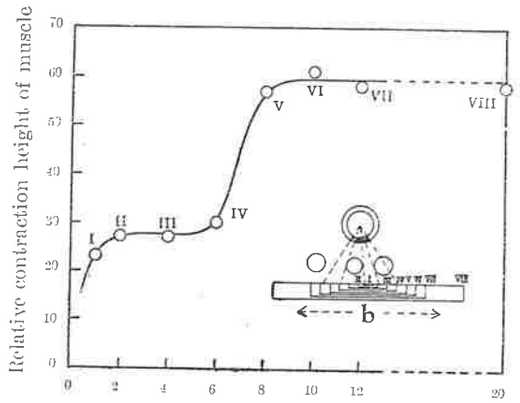

Fig. B An example showing that if extra spines are removed in the area between the stimulant (filter paper soaked with saturated NaCl) and the spine muscle in question (d=6.0mm, r=1.8mm, a=2.0mm), the injured integument at the site of the extra spines acts as an obstacle to the conduction of impulse, so that even if the length of the NaCl filter paper is increased gradually (from I to VIII), the effect is masked very often and there appear very abrupt increases in the resulted contraction.

V) 棘の一方側のみ筋を附けた場合と筋全體そのまゝの場合の棘の反應を比較してみると（C 圖を見よ），一方側のみに筋肉のある場合は單純な“single contraction”が得られるに過ぎないが筋肉全體そのまゝの場合は數回續く不規則な收縮の series から成立つて居る事が判る。そして注意すべき事にはこの事は體表刺戟に於ても radial nerve の刺戟の場合でも同樣に見られたのであつてたとへば一見規則正しい“single contraction”の如く見える體表刺戟のときの反應も筋全體をそのまゝにしてある棘に於ては決して單純な收縮ではなく何個かの山が見える（C 圖 A）のであつて唯此際は第一回の收縮が刺戟源の側に非常に大きく現はれる（その理由は本論文 C の項及び附錄實驗 VI 參照）ために“sustained contraction”なるかの如くに見えるに過ぎないものである事が判る。動棘筋全體をそのまゝにして置いた場合に現はれる反應の複雜性は，結局のところ刺戟源に面した側の筋肉の收縮によつてその反對側の筋肉が“stretching”を受け，この“stretching”を受けた筋肉は一定の潛伏期の後に自身の收縮を起して逆の方向に棘を倒さんとし（脚註 14 參照）かくて棘は方向不安定な動搖運動を交互に繰返すからだと考へられる。この際の弛緩は反對側の筋肉の收縮により早められる事は C 圖の A，B に於ける descending phase の“steepness”を比較すれば理解出來る（此際筋肉にかけた荷重は兩者とも同一であつた）。この様な刺戟興奮のやりとりが兩側の筋肉で交互に行はれ，どちらかの收縮の大きさ或ひは速さが衰へて他方を興奮せしめ得ぬ様になる迄續く。同樣な現象が棘の一方のみに殘された筋肉でも方法によつては實現出來るのであつて，例へばその收縮に際し桿杆に重い錘を掛けると弛緩が早くなり，それが“stretching”と同樣な放果を與へるため descending phase に鋸の齒に似た“repeated contraction”の trace を kymograph 上に示すのである。

VI) Radial nerve の刺戟と體表の刺戟の際では動棘筋の反應は量的に非常に異る。例へば殼上に1本だけ殘した棘の筋を半周だけ切り取り先づ radial nerve に刺戟を與へ，その反應を kymograph に描記した後 radial nerve を破壞し，次に體表刺戟を與へて同樣描記せしめた。その結果の一例を示せば D 圖となる。これによると反應の性質は兩者共全く同樣で弛緩ののろい單純な收縮であるが收縮の大き

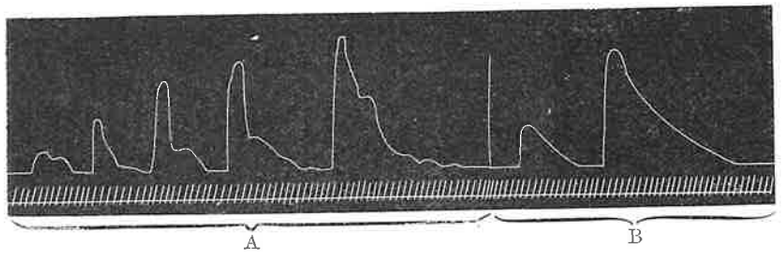

Fig. C Comparison of responses of the same spine with the whole circle of the attached muscles intact (A) and with the muscles detached on one side (B).
At first the response A is recorded, increasing the strength of mechanical stimulation applied to the integument. Then the muscles of the spine on the opposite side of the stimulated spot is cut off and the stimulation is applied again in the same way. It should be noticed that more or less simple contractions are seen in B while in A a single response consists of a complicated series of repetitive contractions.
Time signal: 2 sec. Temp. 26°C

さは radial nerve を刺戟した場合の方が遙かに小さく，棘との距離のなるべく短かい場所を選んで radial nerve を刺戟した場合（棘の筋肉とそれに最も近い管足の出口との距離は 0.5～1 mm）に於てすら收縮の大きさは體表刺戟の場合に比べて非常に小さいのである。即ちこの量的の差は刺戟方法，棘の位置の選び方如何によらず除き得ないものである。これは恐らくは本論 C の末尾に叙述した様な機構によるとも考へられるが又別に動棘筋へ達する興奮が普通“single impulse”ではなく，“a train of impulses”であつて radial nerve からくる train of impulses はその time-interval が長いのによるのではないかとも考へられる。time-interval の長延く所以は管足に於ける radial nerve と體表の神經との連絡が synaptic であらうと“relay”樣式であらうと何れにても考へられる事である。

VII) 動棘筋へゆく興奮の radial nerve と ring nerve とを合せた神經系内に於ける傳導は大體その anatomical な picture の暗示する通りであるらしく（Auton 1927 參照）これは切斷實驗により簡單に確かめる事が出來る。

radial nerve 上の一點に與へられた刺戟に對し動棘筋の反應の現はれる範圍は，イ）刺戟の强度。ロ）刺戟點の位置。ハ）ring nerve の有無によつて變る。刺戟强度によつて反應の起る範圍の異ることは ring nerve intact ならば赤道の邊で radial nerve を强く刺戟すると殆ど全球に反應が見られるが刺戟を弱くする（機械的刺戟を弱くのろく與へてみる）と漸次此神經系に沿つて範圍が小さくなることからも了解出來る。即ち此傳導系全體としては（其部分部分は知らず）外觀上明らかに減衰傳導をなすものであつて，たとへば殼上に1本だけ棘を殘した preparation に於て radial nerve にあてがふ“食鹽濾紙”の大きさを一定にし棘からの距離を變へて刺戟すると動棘筋の收縮の大きさは次表の如くになる。

Table β

Approximate distance between the stimulated point of the radial nerve and the spine to respond (mm)		15	10	5	0	5
Contraction height (in arbitrary unit)	preparation A	—	1	3	10	4
	preparation B	2	6	11	25	8
	preparation C	4	6	9	18	7

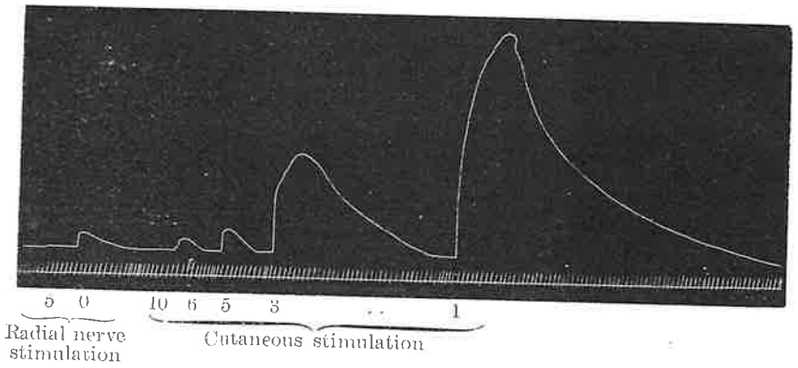

Fig. 1) Comparison of the contractions of the spine muscle in response to the cutaneous stimulation and to the radial nerve stimulation.

The spine with the muscles detached on one side is prepared and the muscles are stimulated by placing on the body surface or on the radial nerve a piece of filter paper (of a fixed area) soaked with saturated NaCl solution. Numerical values indicate the linear (projective) distance between the muscle and the stimulated spot.

Time signal: 2 sec. Temp. 26°C

又刺戟點の位置の影響を細述すると今 ring nerve を切斷した全殼球の棘について反應をみるに非常に强い機械的刺戟を與へたときは（鹽化ナトリウムの結晶を置いた時も同樣）latitudinal な方向に關して云へば赤道の邊を刺戟したときが最も棘の反應の範圍廣く，ring nerve が無くても隣の間步帶を越えて次の步帶の端に達する（15～20 mm)。これより兩極に近い部分を刺戟すればこの反應の範圍の大きさそのものは減じるが反應の起る zone の數はかへつて多くなり（zone の幅が狹くなるから）反口極近くを刺戟すれば ring nerve がなくとも全部の zone の反口極部の棘が反應する樣になる。併し1本の radial nerve に關して云へば，强さが充分大きければ刺戟の部位に關せずその radial nerve の全長に傳導され得る。

文 獻

ANTON, H. (1927) Z. vergl. Physiol. 5, 801. v. BUDDENBROCK, W. (1937) Grundriss der vergl. Physiol. Berlin 359. DULIÈR, W. and H. V. HORTON, (1929) J. Physiol. 67, 152. v. UEXKÜLL, J. (1896a) Z. Biol. 34, 298. v. UEXKÜLL, J. (1896b) Z. Biol. 34, 319. v. UEXKÜLL, J. (1899) Z. Biol. 37, 334. v. UEXKÜLL, J. (1900) Z. Biol. 39, 73. v. UEXKÜLL, J. (1921) Umwelt und Innenwelt der Tiere. Berlin 72.

資 料

(昭和13年11月1日受領)

日本に於ける溫泉動物の研究(XX)
阿蘇溫泉群の Micro-fauna に就て

(4 挿 圖)

上 村 三 男

東京高等師範學校動物學教室

I. 緒 言

阿蘇山の舊噴火口內に湧出する諸溫泉を阿蘇溫泉群と稱し，戸下，栃木，垂玉，地獄，湯ノ谷，內ノ牧等の溫泉があるが，戸下溫泉は栃木に湧出する溫泉の一部をパイプにて浴槽に導いたもので，戸下には溫泉は湧出してゐない。內ノ牧溫泉は泉量僅少で總て浴槽に利用されてゐるが，他の4溫泉は何れも泉量豐富で或は溜りて小池を造り，或は流れて小溪となり，溫泉動物の發生によき環境を提供してゐる。岡田彌一郎・伊東祐一兩氏は夫等栃木・垂玉・地獄・湯ノ谷の4溫泉の動物調査を行ひ，"日本に於ける溫泉動物の研究(XVI)[1]"として報告したが，該報告には顯微鏡的動物相の調査を缺いでゐる。著者は 1936 年5月 27—28 日，及び 1938 年8月 15—16 日の 2 回夫等4溫泉を踏査して顯微鏡的動物に就ての研究を遂げ得たので，玆に其大要を記し，以て前記岡田・伊東兩氏報告の缺を補ひ度いと思ふ。

II. 栃 木 溫 泉

位置・泉質 栃木溫泉は熊本縣阿蘇郡長陽村に在り，白川の右岸に位し，輝石安山岩の間から湧出し，無色透明無味無臭の溫泉である。石津博士[2]の報告によると硫酸苦土泉に屬し，丹波敬三氏の分析の結果によると 15°C に於て 1.003 の比重を有し，1 L 中に含有する諸成分の割合は次の如し。

殘渣總量	1.368	クロール・ナトリウム	0.133
硫酸カルシウム	0.573	クロール・カリウム	0.028
硫酸マグネシウム	0.165	珪酸鹽	0.128
重炭酸マグネシウム	0.162		

1) 陸水學雜誌田中阿歌麿博士記念號に印刷中.
2) ISHIZU, R. (1915) The mineral springs of Japan. Imperial Hygienic Laboratory.