

2014年11月11日

sinotake

nobi 様

「快刀乱麻のごとく謎が解けました」というお便りをいただき、とても元気づけられました。お役に立てたことをうれしく思っています。

さて、ご質問への回答ですが、まず次のサイトをご覧ください。

[http://www.visualphotos.com/artist/2x10528/steve\\_gschmeissner](http://www.visualphotos.com/artist/2x10528/steve_gschmeissner)

左上から3つ目に「Myelinated nerve fibres」という写真があります。有髄神経の電子顕微鏡写真です(着色されています。画像をクリックすると拡大されます)。これを見ると、軸索の中には細胞液だけが満たされているのではなく、何かの「構造物(茶色に着色されている部分)」があります。まるでジャングルのようです。神経繊維の細胞膜の厚さはせいぜい数 nm ですが、その直径は数十  $\mu\text{m}$  もあります。つまり、神経繊維の細胞膜の厚さはとても薄く、それに比べればその直径はとても大きいのです。水で満たされた「ゴムホース」のように神経繊維の内部が細胞液だけで満たされていたのでは、外部から圧力がかかったときに押しつぶされてしまうでしょう。そうならないためにジャングルのような「構造物」があるのだと思います。

このような「ジャングル」の中を、電位の高い状態のパルス波がまっすぐ進んでいくとは考えられません。神経繊維の細胞膜の内側の壁にぶつかっては反射することを繰り返しながら進んでいくのだと思います。ちょうど、直径が数 m もあるようなトンネルの中で手をたたいた時の音が、その壁に反射することを繰り返しながら遠くまで伝わっていくようなイメージです。また、波であれば、「ジャングル」の中でも回折や干渉などを起こしながら遠くまで伝わるように思います。

神経細胞の壁にぶつかるたびに、そこにある陰イオンの影響で電位の高い部分の反射が弱くなっていくのではないかというのが、現在の私の考えです。無髄神経繊維では軸索が太いほど「反射」の回数が少なくなり、それだけ減衰しにくい。また、有髄神経繊維では髄鞘が厚くて神経細胞膜の内側の陰イオンが少ないほど、「反射」の際にやはり減衰しにくい。そのように考えると納得できるように思います。

レポートの中では、「(7)興奮はどこまで伝えられるか」のところ、「陽イオン濃度の高い部分は軸索の中心部分を伝わるのがもっとも順調で、神経細胞膜の内側表面に近づくにつれて伝わりにくくなる」と述べています(レポートを書き始めた頃はそう考えていました)が、この部分の表現は訂正しなければならないようです。軸索の中心部分を伝わるパルス波だけではなく、反射波も含めて、電位の高い状態全体の伝播(とその減衰)を考える必要があると思います。

このレポートの「初めに」のところに書きましたが、私はこの分野の専門家などではありません。むしろ、生物学については何も知らない門外漢です。たまたま、授業を担当しなければならなかったために、この分野だけ少し詳しく勉強してきました。それでもなお、私はしろうとです。自分の言っていることが100%正しいなどは考えていません。レポートを書きながらも「？」と思っているところが何か所かあります。このレポートは、高校の生物教育界という「池」にちょっと大きめの石を投げ入れたくらいのつもりで書きました。あとは、高校の先生方や教科書の著者たちがこの「水しぶき」をどう受け止めてくださるのかを遠目で見守っていこう、というくらいの気持ちでいます。

今回はとても重要な部分を指摘していただきました。改めて考える機会を与えていただきましたことに対し、心よりお礼申し上げます。ありがとうございました。nobi 様の研究生活がますます充実発展しますことをお祈りしています。

追伸

現在の大学の研究者の間では、神経繊維内の興奮の伝導のしくみを、「ケーブル理論」や「電気緊張性電位」という考え方で説明しようとしてされています。「ケーブル理論」は、ケーブル(絶縁被膜のある導線)の中を電気信号が伝えられることに基づいて成り立っている理論です。また、「電気緊張性電位」は、そのケーブル理論から導き出される結果(理論式)に基づく考え方です。

私のレポートの「(9) 神経繊維が太いほど、なぜ伝導速度が大きいのか」の「(D)」の部分で、『導体の電気抵抗はその断面積に反比例する』ことを神経繊維に対して当てはめることができない」と指摘しています。「ケーブル理論」の考え方を「神経繊維内の現象」に安易に応用してはならないと思っています。ところが、どの研究者も、ケーブル理論を神経繊維に適用できるかどうかについてきちんとした検討をしていません。ケーブルと神経繊維の形が似ていることや「電流が流れる」ことなどによって、適用できるのは「当然」だと言わんばかりです。

私の考えでは神経繊維の中を電流など流れていないのですから、ケーブル理論を神経繊維に適用できるはずがないのです。「電気緊張性電位」という考え方の入り口のところで間違っていると思っています。ただ、このことに関しては私自身まだまだ勉強不足ですし、大学の研究者たちと議論をしようとは思っていません。いずれ、「電気緊張性電位」などという考え方の破綻する日が来るだろうと、これまた遠目で見守ることにしています。