

## 基礎生命科学 第16回 Q&A

今回の授業は、よく判ったとか比較的簡単だったという感想を書くひとが多くいた一方で、途中から判らなくなったりかついて行けなくなったなどと書く学生が多数いました。判らなかつた部分については決してそのままにはせず、まずは自身でよく復習してください。文字だけの講義資料を軽く読むだけで問題が解決する場合がありますので、文字だけの講義資料は必ず読むようにしてください。その上で、講義ビデオを見返してみるとよいでしょう。

また、文字だけの講義資料を軽く読んでおくなどの予習をしておくだけで、授業の理解度が格段にアップしますので、是非実践するようにしてください。

### 講義内容以外の質問

23M106： 授業の中で、能動的に取り組むために小テストとは別の確認用の問題をいれてほしいと感じた。

すずき： 何度も書いてますが、授業中に演習問題をやるような時間的余裕はまったくありません。学習項目を削ればそのようなことも可能でしょうが、それでは医学を学ぶために必要な基盤知識を説明しきれません。

解説付きの模擬試験問題を公開したり、ホームページの習熟度自己確認テスト、文字だけの講義資料にある課題、さらには補習コースまでと、他の科目にはない学習教材や教育を受ける機会、質問する場を提供しています。

初年次生物系科目は他大学に比べて授業コマ数が限られているので、それぞれの学生が自己学習の時間を十分にとって身につける必要があります。受け身で授業を聴いているだけでは、本科目を修得できないということを自覚してください。それがどうしてもできない、あるいは納得できないというひとは、医学を学ぶ覚悟ができていないということになります。

### 講義内容に関する質問

22M011： 細胞内外の電位バランスが、単純なミネラルの過剰摂取以外で崩壊することはありますか。また、それは何が原因でしょうか。

すずき： 健常者ではホメオスタシスが正常に機能しているため、細胞が生きている限り膜電位が崩壊することはありません。また、ミネラルの過剰摂取で体液のミネラルバランスが壊れることもありません。膜電位を維持できなくなるのは、細胞が死んでしまうときなどです。

23M005： 神経鞘にはオリゴデンドロサイトとシュワン細胞がありますが、中枢神経における

オリゴデンドロサイトはシュワン細胞とは異なる中枢神経ならではの特別な働きをしますか？

すずき： どちらも神経鞘を作る細胞です。オリゴデンドロサイト（オリゴデンドログリア、あるいは希突起膠細胞とも呼ばれます）はシュワン細胞と違って個々の神経鞘ごとに細胞核を含める必要がなく、省スペースに神経鞘を構築できるという特徴があります。

末梢神経系では神経線維が基本的に平行に束なっていますが、中枢神経系では脳や脊髓の部位によって神経線維が平行に束なる部分もあるし、様々な方向に走行する部分もあり、それぞれに異なるタイプのオリゴデンドロサイトが存在します。オリゴデンドロサイトはこのようにして余分なスペースを大きく節約しているという感じです。一方、末梢神経系ではほとんどすべての神経線維が平行に束なるため、ひとつの細胞体からたくさん突起を伸ばしてそれぞれの先端部に神経鞘（髄鞘）を形成する方式よりは、シュワン細胞のように個々の細胞がそれぞれ神経鞘を作る方が適しています。

この他、シュワン細胞の作る神経鞘には、神経細胞の細胞膜との間に薄い基底膜の相があるのですが、オリゴデンドロサイトの作る神経鞘には基底膜がないという違いもあります。

23M006： 箆箭の角に小指をぶつけたとき、骨折したわけでも内出血しているわけでもないのに何故あんなに痛みを拾うのでしょうか。最初の強烈な痛みはまだしも、あとのジンジンとした痛みを感じることで私たちは何かの危険を回避できるのでしょうか。

すずき： 次に同様のことが起こらないように、不快な痛みを持続させることで脳に思い知らせるという感じで記憶させているのです。嫌な思いをすると、同様のシチュエーションになったときに注意するようになります。

23M008： 興奮伝導のしくみに関して、ナトリウムイオンチャネルの不応期はどうして起こるのでしょうか？ 過分極が関係しているのでしょうか。

23M066： ナトリウムイオンチャネルが開孔して閉じると、しばらく刺激に反応しなくなるのはなぜなんですか。

23M095： 電位依存性  $\text{Na}^+$ チャネルは、開孔して閉じるとなぜしばらく刺激に反応しなくなるかが分からないので教えてください。

すずき： 電位依存性ナトリウムチャネル自体が持つ特性です。過分極は特に関係しません。

電位依存性ナトリウムチャネルには開いた状態と閉じた状態が存在します。また、閉じた状態には、刺激つまり閾値以上の膜電位の上昇で開く状態と、刺激を与えても開かない不活性状態があり、後者の状態になっている期間を不応期といいます。

活動電位が発生する前の閉じた状態のナトリウムチャネルでは、活性化ゲートとよばれるとびら状の構造が閉じていますが、刺激によって膜電位が閾値以上に上昇するとこの活性化ゲートが開きます。これにより脱分極して膜電位がある値（+30 mV 程度）を超

えると、不活性化ゲート（活性化ゲートとは別のとびら状構造です）が閉じてしまい不活性化状態になります。再分極が起こり膜電位が十分低くなると、不活性化ゲートが再び開いて、同時に活性化ゲートが閉じます。これを脱不活性化といい、脱不活性化によって再びチャネルが活動電位の生成過程に加わる準備が整うのですが、脱不活性化の工程に時間を要するため、刺激を与えても活性化ゲートが開かない不応期が生じてしまいます。

神経細胞にあるさまざまなチャネルやポンプの構造や機能を含め、活動電位や神経伝導や神経伝達のさらに奥深く細かい知識がいろいろ（大量に）あるのですが、それらは生理学や神経生理学で詳しく勉強することになります。

23M008： シナプスが神経のどの部分を指すのかがよく理解できませんでした。神経終末から樹状突起にかけての神経細胞間で伝達が行われる部分という認識では間違いでしょうか。

すずき： かなり根本的な質問です。その認識も完全に間違いということではありませんが、あやふやで理解が足りていません。補習コースに参加することをお勧めします。

シナプスというのは、神経終末と相手の細胞間に作られる情報伝達にはたらく細胞接続装置のことです。

自己学習だけでは十分に理解できない場合は、補習コースに参加したりオフィスアワーなどに質問に来てください。判らないまま進級すると後で苦労します。

23M011： 辛味の受容は温覚受容体だと習ったのですが、どうなのでしょう。

すずき： 味覚には甘味、塩味、酸味、苦味、旨味の5種があり、これらを5つの基本味あるいは5基本味といいます。5基本味はすべて舌の味蕾にある味細胞が感知します。これに対し、辛味は味細胞で感知されないので基本味に入りません。

辛味は、舌や口腔の粘膜にある痛覚受容体（パニロイド受容体・カプサイシン受容体）で感じる痛覚として感知されるほか、おなじく舌や口腔の粘膜にある温度覚受容体（冷覚受容体）で感じる温度覚として感知されます。痛覚受容体や温度覚受容体は、温痛覚を受容する神経の自由神経終末の細胞膜上にあるため、辛みを感知する受容体については書籍により痛覚受容体と書くものもあれば温度覚受容体あるいは温痛覚受容体と書くものがあります。温度覚および痛覚受容器については、極簡単にですが次回の授業で紹介します。

23M014： 有髄神経は飛び飛びに伝導するため非常に伝達速度が速いと思いますが、なぜ全ての神経がこのような仕組みをとっていないのでしょうか？伝達の精度などで違いが生まれるのかを知りたいです。また、伝達速度は必ずしも速い必要はないのでしょうか？

すずき： すべてを早くする必要がないためです。進化の過程で考えると、無髄神経の方が古くから存在します。そこに新しく有髄神経が生じたのですが、古くからある無髄神経系のすべてを有髄神経に置き換える必要はありませんでした。遅い痛みを伝える痛覚神経や、母

親が子どもを撫でて安心させるときのような柔らかい触覚などを伝える神経、さらには内臓などの動きを調節する自律神経系に無髄神経が多く残っているのですが、これらの神経は極めて早い伝導速度を必要とするわけではありません。

例えば、コンピューターの USB を考えてみてください。USB は最初 12 Mbps の通信速度しか持たない USB1.0 という規格から始まりましたが、今では通信速度が 10 Gbps の USB 3.2 Gen 2 や 20 Gbps の USB 3.2 Gen 2x2 までができています。しかし、USB マウスや USB キーボードではいまだに USB1.0 の規格品しかありません。これは、通信速度の早い規格が新しくできたとしても、古い規格の通信速度で十分な機器を接続する場合は古い規格を使い続けた方が合理的かつ経済的であるため、敢えて古くても実績のある規格を使い続けるのです。生物も同様で、伝導速度などのある機能にのみ注目するとより優れたシステムが他に準備されていたとしても、特に必要がない限り古くからあるシステムを使い続けるということです。

無髄神経を使い続けることが子孫繁栄に不利な環境になることがあれば、速やかに有髄神経に置き換わるはずですが、そのような環境や淘汰圧がなかったということです。

23M017： 髄鞘は伝導速度を上げるが、どのようにかわり伝導速度をあげているのか。

すずき： 根本的な質問です。授業で説明しているので講義ビデオを見て復習しておいて下さい。あるいは補習コースで訊いてください。

23M034： 高校生物では静止電位が発生する仕組みは、ナトリウムポンプによって輸送されるナトリウムイオンとカリウムイオンの量の違いと、カリウムイオンがカリウムイオン漏洩チャネルで外部に少量だけ受動輸送されることで生まれるイオンの量の違いだと学習したがそれは間違っているのか疑問に思った。

すずき： 今回の授業でも同様の説明をしています。授業内で常時開口しているカリウムチャネルと説明したものが「カリウム漏洩チャネル」です。また、Na/K ポンプと説明したポンプが所謂ナトリウムポンプのことで、3コのナトリウムイオンを細胞外に吐き出すと同時に2コのカリウムイオンを細胞内に取り入れます。このNa/K ポンプによってカリウムイオンが細胞内に入ってきますが、カリウム漏洩チャネルが常時開いていてそこから入ってきた分だけ出ていってしまうため、カリウムイオンの細胞内外の分布はNa/K ポンプがはたらいとも変化しません。このためNa/K ポンプは、ほとんどナトリウムポンプとして機能している状態であるということになります。

23M037： 膜電位が細胞の内側と外側の電位差とのことですが、外側を基準にした内側の電位ですか。

すずき： 前者が正解です。電荷を帯びたイオンの細胞内外における濃度差によって細胞膜を挟んだ電位差が作られるのですが、この電位差のことを膜電位といいます。

23M038： アマクリン細胞やミュラー細胞とはどういう働きを持つ細胞なのか知りたいです。

すずき： アマクリン細胞は、水平細胞と共に輪郭強調の画像処理回路形成に寄与する神経細胞です。ミュラー細胞は網膜にあるグリア細胞の一種で、網膜への栄養供給などにはたっています。(グリア細胞については第 18 回授業で解説します)

網膜の細胞構成やそれぞれの機能については組織学 2 で詳しく勉強することになります。

23M048： シナプスのところに関して、カフェインや薬物に「慣れる」とはシナプスにどのような変化が起きているのですか？

すずき： 薬物に対しては「慣れ」という語は使わず「中毒」「依存」「耐性」などという語が使われます。薬物の種類によって作用機序が異なるため一概に説明できません。カフェインはアデノシン受容体に拮抗することによって、興奮作用や覚醒作用、解熱鎮痛作用、強心作用、利尿作用など全身性に作用する有機化合物です。これらの作用により、眠気防止や疲労感の軽減、集中力の向上、運動コントロールの向上、さらには記憶力向上などに効果があります。さまざまなパフォーマンスを向上させる作用がある一方で、めまいや不眠などの悪影響もあり、過剰に摂取すると死を招くこともあります。

しかし、カフェインを日常的に摂取し続けると精神的依存が発生します。またカフェインの効果は、使用期間の長期化にともなって徐々に減弱します(カフェイン耐性といういわゆる薬物耐性の一種です)。コーヒーの愛飲者の場合、多くがカフェイン耐性ができてしまっています。また、カフェイン常用者や依存者が接種するカフェインの量を減量あるいは接種を中止によると、禁断症状として、頭痛や集中欠如、疲労感、気分の落ち込みなど吐き気や筋肉痛などを生じます。

23M049： 色盲のように色を正しく検知できないのは、今日習った視細胞に問題があるのですか。

すずき： その通りです。L・M・S の各錐体細胞はそれぞれ赤オプシン、緑オプシン、青オプシンという光受容色素を持っており、これらの色素によってそれぞれ違う波長の光を感じます。色盲のばあいはこの 3 種類のオプシンを作る遺伝子のいずれかに問題があるため、たとえば赤と緑の区別が付きにくいなどの状態になります。

色盲については、遺伝医学で詳しく勉強すると思います。

23M071： 細い神経線維と太い神経線維で電気的抵抗に差が出るのはどうしてですか。

すずき： 自分で調べるか、物理学の先生に訊いてください。

23M088： L、M、S 錐体の数に関して個人差はありますか？またその差によってやはり色の

認識は変わるのでしょうか。

すずき： 同様の質問が昨年度の Q&A にありました。以下に再掲載しておきます。

一般的なヒトの場合、L 錐体が最も多いことが多く、次いで M 錐体、一番少ないのが S 錐体となっています。(たとえば、L 錐体が全体の 50%程度、M 錐体が 35%程度、S 錐体が 15%程度など) ただし個人差が大きく、L 錐体より M 錐体を多く持つひともいます(個人差がありますが一番少ないのは S 錐体です)。

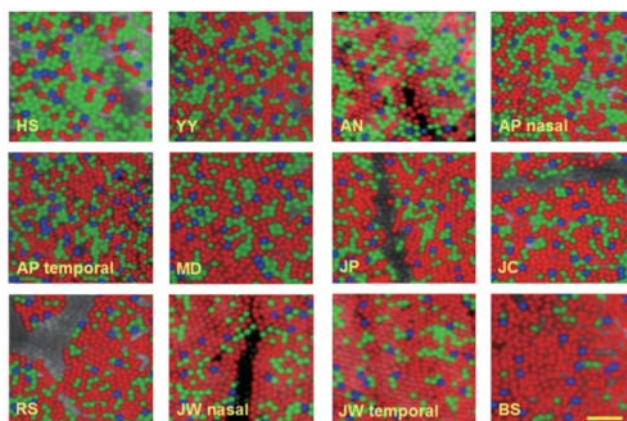


図5 網膜上の錐体分布 (Bar=5min)  
赤で示したのがL錐体、緑、青で示したのがそれぞれM、S錐体である。パネルの違いは被験者の違い、もしくは同一被験者の測定場所の違いをあらわす。

23M094： イカは、太い軸索を持つことで興奮の伝導の速度をあげたり、目の構造がカメラと同じで無駄がなかったりと、進化に成功している部分が多い気がしますが、何か理由はありますか。気のせいでしょうか。

すずき： 進化の歴史的な経緯によってこのようになってしまったということです。人間を含む脊椎動物は原索動物と呼ばれる祖先型の生物から進化してきたと考えられていますが、この原索動物だった頃の祖先が、今の人間の網膜のような構造的欠陥を持つ眼を持っていたのです。この祖先動物が生きていた頃は、眼の役割としては細かい字を読み取ったり、遠くにいる敵を見分けたりする必要があまりなく、明るい方向と暗い方向をぼんやりと見分けることができれば十分に生き残れたのでしょう。そのような祖先から引き継いだ眼の基本設計は、簡単には変更できないため、現在の人間の眼に構造的欠陥が残っているということです。このような進化の歴史的経緯によって引き継がれた構造的欠陥のことを「進化遺産」といいます。

なお、イカは直径が1ミリメートルにもなる極めて神経線維を持ちます。これによってある程度伝導速度を早めることに成功してはいますが、このように太い神経線維では細かい神経回路を作るのは極めて難しくなります。例えば、太いビニール被覆線でコンピュータの計算回路を作ろうとすると、電卓程度の集積回路であったとしても皆さんの勉強部屋と同じくらいのスペースが必要になるし、電線の量も格段に増えるので電力消費量も桁違いに増えてしまいます。このため、イカの脳内には簡単な神経回路しか組み込めません。

23M103： 授業を聞いていた中で「神経鞘の一部が髄鞘」とありましたが、それは神経鞘は髄鞘を含めた全体を示す、という認識で良いのですか。

すずき： その通りです。

23M107： 静止電位が負になる説明の際に、クロライドチャンネルやナトリウムチャンネルは常に閉鎖しているとあった。ナトリウムチャンネルは刺激があったときに一時的に開くが、クロライドチャンネルが開くときはどのようなときなのかお聞きしたい。

すずき： クロライドチャンネルは細胞の浸透圧を保つためにはたらいています。

動物細胞は、浸透圧環境が乱れると一時的な浸透圧性の膨張や縮小の後に正常容積近くへと回復させる容積調節能を持っています。つまり、細胞外液の浸透圧の上昇によって、細胞外から NaCl と水が流入して細胞が膨張するのですが、このとき一時的に細胞内のクロライドイオンの濃度が高まった状態になります。それらのクロライドイオンは、さまざまなイオンキャリアーとクロライドチャンネルがはたらくことで元の状態に戻ります。なお神経細胞の場合は、これらのイオンキャリアーによって細胞内のクロライドイオン濃度が極めて低い状態に保たれています。