

EDUCATION

生理学実習改善への取り組み ～医学生は電気蛙の夢を見るか？～

日本大学医学部生体機能医学系生理学分野 和田 義之

はじめに

心臓生理のように、ダイナミックな動きのある性質のものに対する学生の理解度は特に低い傾向がある。生理学実習では、学生にこのような生体現象を直接観察する機会を与え、講義や教科書で得た知識を基に自ら考えて体系的・統合的に理解してもらいたいと思っている。

日本大学医学部では、20年来ウシガエル摘出心臓の自己灌流標本を用いた生理学実習を行ってきた。本実習は、学生にとって技術的にも実習内容の理解という面でも達成度が低い項目のひとつである。そのなかで、足掛け5年にわたり学生の達成度を上げるための試行錯誤を繰り返し、ようやく一筋の光明が見えてきたと思えるようになった。これらの試行錯誤は、他の実習の進め方においても参考になることもあるかと思ひ、僭越ながら此処に紹介させて頂くことにした。

所謂「八木式灌流実験法」

八木式灌流用カニューレを用いてカエルの摘出心臓を自己灌流させて心収縮を観察する所謂「八木式灌流実験法」は、伝統的な生理学実習項目のひとつであり [1]、心臓に関する学生実習で用いられる。しかし、長時間安定して観察するには完全な灌流標本を作成しなければならず、学生自ら全ての手技操作を行うには技術サポートがある程度必要である。

はじめに ～アナログからデジタルへ

日本大学医学部では2003年度以降、BIOPAC Systems社製のMP-30シリーズ[2]を学生実習に

導入し、生体アンプやトランスデューサなどを組み合わせて様々な生体信号の取得と解析に用いている。それまでのアナログ機器からデジタル機器への入れ替えにより解析が容易になったため、レポートでは外液イオン組成変化による心収縮と心電図の変化を半定量的に検討し考察することを課した。しかし、考察で当然用いられるべき「チャンネル」や「トランスポーター」というキーワードが使われているレポートですら1割にも満たない状況であり、外液イオン組成の変化による活動電位の変化について検討した考察は皆無であった。

第1期 ～シミュレーションプログラム (km) の導入

これまでの反省から、活動電位と心拍動が関連していることを学生に再認識（既に受講済み）させる方策を立てることにした。学生に活動電位を理解してもらうには、実際に活動電位を観察させることが理想である。しかし、活動電位の記録には灌流標本を作成する以上の熟練した技術が必要であり、限られたマンパワーでは実施が難しいのが現状である。そこで、心筋細胞の電気活動をコンピュータ上でシミュレーションするプログラムを用いて、活動電位の発生と心拍動のダイナミックな動きを実感してもらうことを考えた。シミュレーションプログラムは、学生が手軽に使うことができる環境で動作し、直感的な操作が可能なグラフィカルユーザインタフェースを備えた“km”を用いることにした。このオリジナルモデルは、京都大学 Heart Simulation Project Team (野間 昭典, 松岡 達, 皿井 伸明, 倉富 忍) に

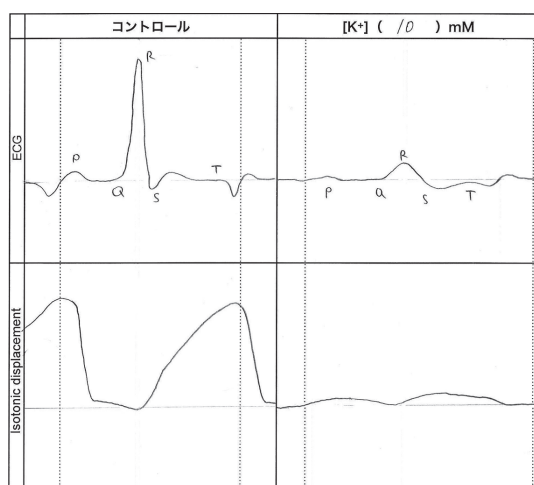


図1. 上段は心電図, 下段は心尖部の位置変化(心収縮)をそれぞれ位相が一致するように描く。左列はコントロール, 右列は細胞外液(灌流液)がカリウムイオン過剰になった状態を描く。学生の作例。

よって開発された Kyoto Model [3, 4] であり, 電気生理学的手法で記録されたイオンチャネルのゲーティングパラメータや電流密度を元に心筋細胞の電気活動をコンピュータ上でシミュレーションするプログラムである。Microsoft 社のプログラム言語 VisualBasic 6.0 により作成されており, 古い Windows 環境から Windows 7 の今日一般的な環境でも大きな不具合なく動作可能であるという大きな利点がある*。

2008 年度以降, レポートの考察を書くためのツールとして “km” を紹介した。ある程度は予想されていたが, 考察の中でシミュレーション結果に言及したレポートが 1 通も無く, 実際にプログラムを走らせてみた学生ですらごく僅かだったことは衝撃であった。

第2期 ～シミュレーション実習とプレゼンテーション

2010 年度からカリキュラム変更により学生実習の枠が一つ空いたこともあり, 実際にプログラムを走らせてシミュレーションを行う実習項目を

*Windows 7 環境では Visual Basic 6.0 (SP6) ランタイムをインストールする必要がある。

新設した。新しい実習は, 実際のカエルの心臓を用いた「八木式灌流実験法」実習を実施する前に, イオン電流, 活動電位, 心収縮が関連していることを学生に再認識させるように構成した。実験内容のシミュレーションを予習という形で行うことにより, 実験内容の理解を助け, 観察された現象について考察しやすいように配慮したつもりであった。しかしながら, 実験終了後にシミュレーションプログラム “km” を使用し, シミュレーション結果を加味して考察した学生はほとんどいなかったのである。さらに驚くべきことに, 「八木式灌流実験法」実習とシミュレーション実習が関連していることすら理解していない学生も少なからず存在したのである。唯一の救いは, 新たな試みとしてレポートの代わりに学生に実験結果と考察を口頭でプレゼンテーションさせたことにより, 学生が理解できていない事柄が明確に判別できるようになった事である。また, 前述の実習の問題点も即時に明らかになったため, この反省が翌年度以降の実習に生かされる事になった。

第3期 ～スケッチの効能

2011 年度は前年度の反省から, 第1週目に実際のカエルの心臓を用いた実験「八木式灌流実験法」を行い, 第2週目を実験結果の解析およびシミュレーションによる実験結果の再現と考察を行う時間に当てることにした。実験結果をまとめるにあたって, 心臓の電氣的活動である心電図と心拍動が関連していることを学生に印象づけ, これらの波形の意味について考えさせる目的で, 実験の記録波形を紙にスケッチさせることにした(図1)。波形を正確にスケッチするためには, その形状を正確に認識しなければならず, 心電図での P 波, QRS complex, T 波, 心房と心室の収縮波形を区別して認識することにつながる。さらには, 心電図と心拍動の位相を一致させてスケッチすることは, それぞれの波形の機序について考えることにつながる考えたからである。

実際, 多くの学生の実習後に行ったプレゼンテーションからは, 心電図波形と心収縮の変化を読み取ろうとする姿勢, 心臓の電氣的活動と心拍

動とを関連付けて観察された現象を理解しようとする姿勢が感じられるようになった。しかし、考察での「チャンネル」「トランスポーター」等のキーワードの出現頻度は若干増加した程度であり、イオン電流と活動電位、活動電位と心拍動が関連していることを理解している学生は約1割であった。

第4期 ～関連づけ

残念ながら学生自身では、イオン電流—活動電位—心拍動を相互に関連づけられるようになることをほぼ期待できない。心臓生理の理解度が低い原因のひとつは、これらの関連づけができていないことであることは明らかである。自明の事であるが、心臓生理についての理解度を高めない限り「八木式灌流実験法」実習の達成度を高めることはできない。となれば、本実習の達成度を高めるためにイオン電流—活動電位—心拍動を関連づけられる仕組みを作るしかない。スケッチにより心電図と心拍動を関連づけられたように、この手法をイオン電流—活動電位—心拍動の関連づけにも適用しようと考えた。第1週目の実際のカエルの心臓を用いた実験、第2週目の実験結果の解析とシミュレーションという構成は前年度と同様であるが、第1週目と第2週目の間に図2左（右は学生の作例）のような課題（自宅学習）を課した。この課題は心周期のひとつの図の中に、心室筋と洞房結節細胞における活動電位、心電図波形の成り立ち、興奮収縮連関、心室と心房の時間的および空間的な関連などを相互に関連づけて描くことにより、作成後に学生自身が心臓収縮過程全体を俯瞰できるように意図した。1度目の提出でも、約7割の学生は概ね正しい作図ができていた。明らかな間違いに関しては添削し、正しく作図できるまで再提出させた。

最終的なプレゼンテーションでは、個々の学生の理解度や考察内容は様々であったが、ほぼ全員の学生が「チャンネル」「トランスポーター」等のキーワードを使用していた。これまでのキーワードすら使われなかった状況からは非常に大きな進歩であると言える。

考 察

本格的に学生実習の改善に取り組み始めた2008年度以降の足掛け5年にわたる「八木式灌流実験法」実習をめぐる様々な試行錯誤のうち、学生の達成度を上げるために有効であったと思われるポイントを3つ挙げてみる。

1. 実験とシミュレーションとの相補効果

心臓生理のようにダイナミックな動きのある生体現象を分析・理解するためにはシミュレーションは有用である。汎用環境で動作し、取扱が簡単な“km”は、学生実習での使用に適したシミュレーションプログラムである。実験とシミュレーションを相補させて組み合わせることにより、学生の心臓生理への理解を深めることができたと思われる。

2. スケッチとプレゼンテーションの有用性

従来のアナログ機器を用いた実習からデジタル機器に切り替えることで作業の効率化を図ってきた。実験データの取得から結果の解析、レポートの作成までの行程がコンピュータ上のデジタル処理となり、実習としてはスマートになったように見えるが、学生の生理学実習での達成度を上げることにはつながらなかった。そこで、実験のまとめから考察までの行程を、学生自身の頭と手を使ったスケッチや手書きといったローテク、アナログ処理に戻し、その成果を口頭でプレゼンテーションさせるようにした。正確にスケッチするには形を正確に把握することが必須であるため、必然的に形状に対する関心が高まり、形状の変化にも気づき易くなるという効果もみられる。図2のような課題では、縦（位相）の関係も正確に把握する必要があるため、位相毎に引き起こされる現象を時間経過に沿って考える契機になると期待できる。また、限られた時間内でプレゼンテーションするためには、内容を理解した上で知識を頭の中で再構築する必要がある。これらによって、教科書などの既にまとまった情報を参考にしてレポートを作成するよりも高い達成度につながったと思われる。加えて、プレゼンテーションの方が提出されたレポートを読むよりも時間的には拘束されるが、学生の理解度が非常に判りやすく評価

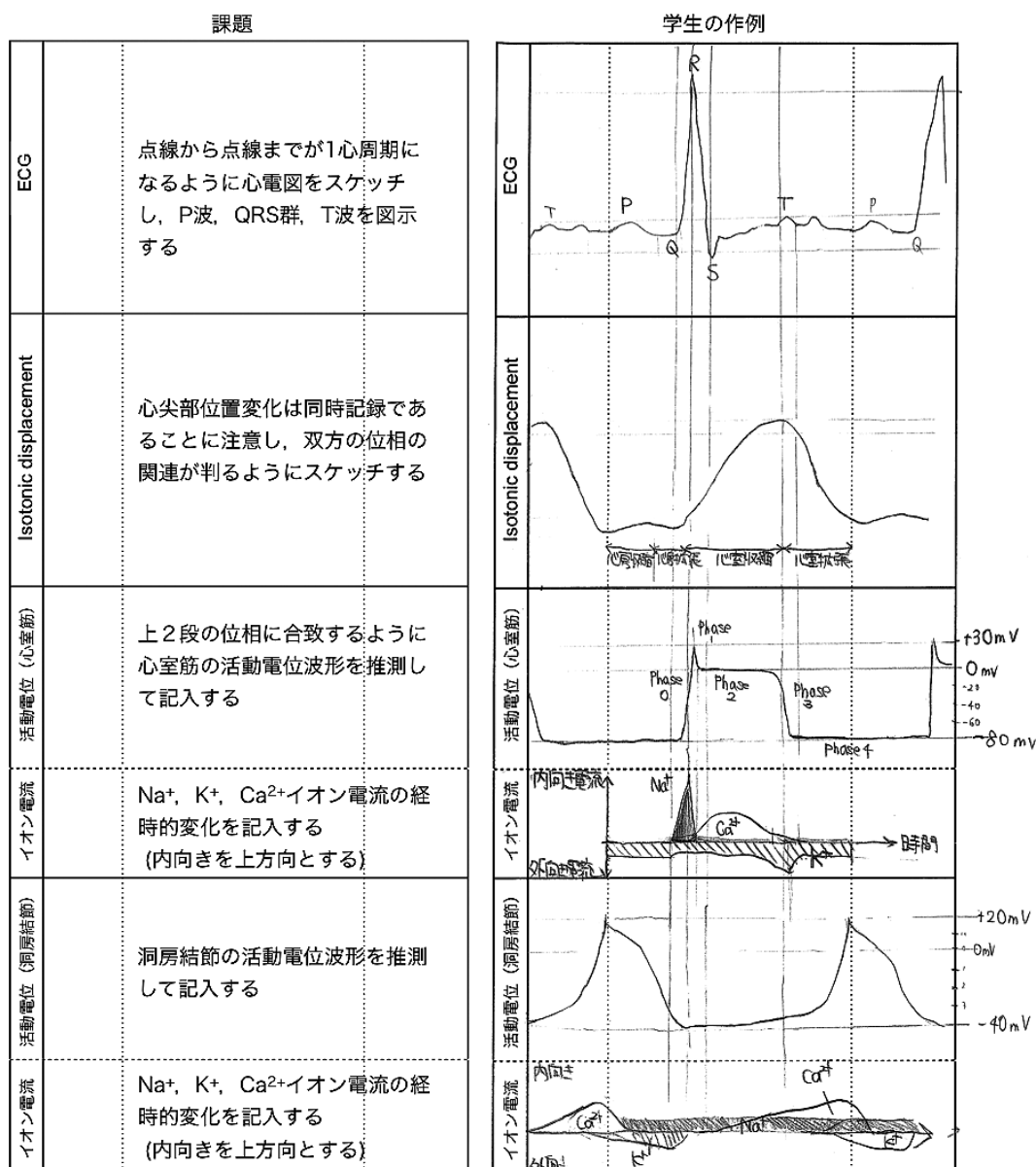


図2. 心筋細胞の活動電位を心周期に作図する課題

し易い。また、その場で学生の評価が可能で、実習の問題点も見つけやすいため、結果的には時間の節約になる。

3. わかりやすく見せるのではなく、学生自ら考えて関連づけさせる工夫

わかりやすい教材が学生の理解度を高めることには必ずしもつながらない。むしろ考える必要が

なくなるため、持っている知識と関連づけて自ら考えることを放棄してしまいやすいと思われる。

図2の課題は、描き込んでいく過程で、洞房結節と心室筋細胞、イオン電流と活動電位、活動電位と収縮などの関連について考える必要がある。課題という形で、半強制的にこの過程をたどることにより心臓生理についての理解を深めることがで

きたのではないかとと思われる。

今後の課題

学生の実験は記録に専念することになりがちなため、実験中に観察させ、考えながら実験を進めて行くことができるようにしたいと考えている。実験前に知識を整理することが理想だと思われるが、限られた実習時間内でどのような形で行うか検討中である。

おわりに ～より良い学生実習のために

高機能なデジタル機器は作業の効率化には貢献するが、学生実習における学生の達成度を高めることに貢献するとは限らない。むしろ、学生から実験の現実感を奪い、現象と実験記録との関連性を切り離し、思考することを妨げることもあるのではないだろうか。心臓生理のようにダイナミックな動きのある性質のものを理解できるようにす

るためには、時間と手間をかけ、学生自身の頭と手を使って個々の事象の関連性を確認していく過程をたどることが必要なのだと思われる。

学生の生理学実習での達成度を上げるための、デジタル機器とアナログ的な手作業のベストミックスを探る取り組みはまだ始まったばかりなのである。

文 献

1. 栗原 敏：新・生理学実習書，日本生理学会編．南江堂，東京，pp 45-48, 1991
2. <http://www.biopac.com/>
3. Matsuoka S, Sarai N, Kuratomi S, Ono K & Noma A: Role of individual ionic current systems in ventricular cells hypothesized by a model study. Japanese Journal of Physiology **53** (2): 105-123, 2003
4. Sarai N, Matsuoka S, Kuratomi S, Ono K & Noma A: Role of individual ionic current systems in the SA node hypothesized by a model study. Japanese Journal of Physiology **53** (2): 125-134, 2003

「教育のページ」は学部学生，大学院生，ポスドク，教員などを対象に，生理学教育に関する取り組みや意見を紹介することを目的としています。原稿は Web（日本生理学会ホームページ）上にも掲載されます。皆様のご投稿をお待ちしています。投稿規程は <http://physiology.jp/exec/page/kyoiku-page-kitei/> をご参照ください。