

EDUCATION

生理学実習「感覚の強さの計量」実習内容の変遷と 機器製作の試み

大分大学名誉教授（医学部神経生理学講座） 横井 功

旧大分医科大学では2000年からチュートリアル教育を中心とした新カリキュラムを開始した。実習は各コース内で行うこととなり、生理学講座第一（現：神経生理学講座）は「正常編」コースで「ウシガエル坐骨神経の活動電位」と「活動電位のシミュレーション」を、「神経・筋」コースで「神経伝導速度」を、「運動器」コースで「上腕2頭筋3頭筋の筋電図活動」と「姿勢反射」を、「皮膚」コースで「皮膚の感覚の分布と二点弁別閾」を、また、「特殊感覚器・頭頸部」コースで「味覚」「大脳誘発電位」「視野とフリッカー」「音源定位」と「感覚の強さの計量」の実習を担当することとなった。この他に2008年からは看護学科の実習も一部担当している。本稿では「感覚の強さの計量」実習で学生が実習結果からどのような疑問を抱き、それを解決するために我々がどのような装置を制作して行ったかを紹介したい。

「特殊感覚器・頭頸部」コースでは実習は午後15時～17時に設定され三回で終了する予定になっていた。このため実習生をA群4グループとB群4グループとに分け、第一週にA群は「味覚」実験を、B群4グループは各々残りの4実験のどれかを行い、第二週には反対にB群が「味覚」実験を、A群が残りの実験を行い、第三週の学習発表会で実験の知識を全員で共有してもらうこととした。

2003年から開始した「感覚の強さの計量」実習は、主観的な感覚の強さを計量し物理・化学的刺激の強さとの間に存在する量的関係性を考察することを目的とした。この関係性の検討は19世紀より行われ、刺激の強さ S と $S+\Delta S$ は異なると識別し得る最小の刺激強度差 ΔS が S に比例して $\Delta S/S=C$ の時に C をウェーバー比と言うが、ウェーバー・フェヒナーの法則では刺激 (S) の増大に伴って感じる感覚 (E) はウェーバー比に比例する一定の単位 (ΔE) をもって増加すると考えて $\Delta E=k_1 \cdot \Delta S/S$ とし、積分して $E=k_1 \cdot \log S+a$ (k_1 と a は定数) と考える。また、スチーブンスの法則では、 ΔS が基準刺激 S に比例して増加するとき、これによって生じる感覚の強さの変化分 (ΔE) も基準感覚の大きさ E に比例して増すと考え、 $\Delta E/E=n \cdot \Delta S/S$ とし、これを積分した $\log E=n \cdot \log S+b$ (b は定数) からべき数 n のべき関数 $E=k_2 S^n$ ($k_2=e^b$) が得られる。スチーブンスの法則はほとんど全ての感覚について広い刺激範囲で成立し、頑健性があるため人数が少なくともそれなりの結果が得られるであろうとの予測がこの実験を選んだ理由であった。

実習には光の強さと音の大きさを刺激として使用し、感覚の強さは握力で表現する方法、及び被験者自身が最大刺激の何%と直接評価する方法とで行うこととした。刺激強度は6段階とし、白色LEDに与える電流を変えることにより光強度を変えて提示し、音は1kHzの正弦波の音量を変えてヘッドフォンで提示することとした[図1]。他のテーマで実習中の被験者を訪ねて計測することを想定して電池動作としたが、学生からは「周囲の環境もファクターの一つとなるのでは？」との指摘が出て、光と音が制御されたシールドルーム内で実習を行うこととなった。握力による表現では、まず被験者に最強度の刺激を提示して握力計を力一杯握らせて最大握力を測定。次いで、刺激強度を変えて提示しその強さを握力で表現(評価)

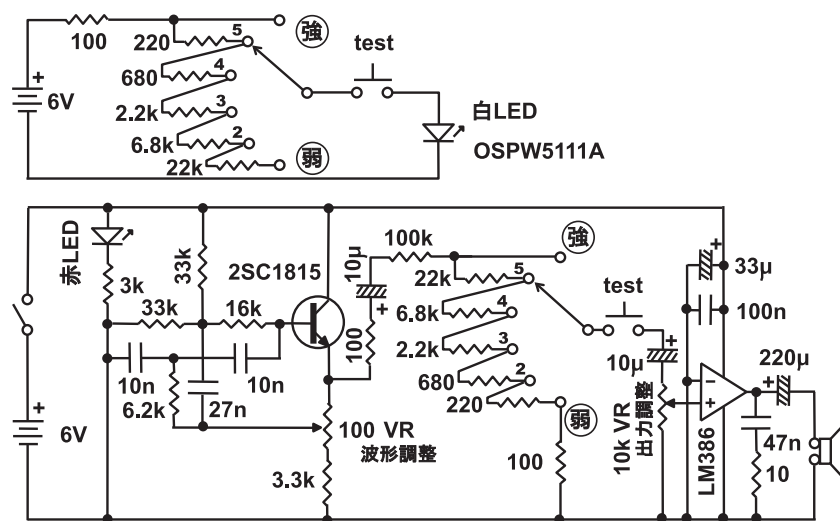


図1. 光度と音量実験装置の回路図

刺激強度は6段階とし、白色LEDに与える電流を変えることにより光強度を変え(上)、1kHz正弦波をツインT型発振器で作成しヘッドフォンに与える電圧を変えることにより音量を変え(下)被検者に提示した。

させ、5段階の強度で得られた握力を最高握力に対する%で表現。一方、直接評価では被検者に最強度の刺激を提示してこれを100%とすると伝え、次に刺激強度を変えてその強さを数値で表現させる。得られたデータは2法則に則って解析させた。装置は2セット作成したがヘッドフォンを除く制作費は3,000円ほどであり、クラス全員の測定は実習時間内に終了し、後述するように20名程度の測定でもスチーブンスの法則が満足されることもわかり、費用対効果が高い実習となった。しかし、実習前の学生からは「感覚って主観でしょ。個人の主観を数値化して集めると直線になるって、なんかどうも違和感があるんですけど。感覚の評価なんてやったことのない素人のデータなんて集めて揃うんですか?」という疑問は度々出て来た。2004年の実習では始まって20分ぐらいたった頃検者グループから「15人ほどやりました。けど、見たところデータがむちゃくちゃで…ばらばらもいいとこなんです。おまえらの結果はこんなだ! 真面目にやれ! やり直しだ!」と言おうと思って今あいつらのデータを解析しています」との声が上がった。ところが数分後には「な

に! だいたい直線に乗ってる? おかしいな。このデータそんなには見えんけどなあ…続けてみるか…」と言うこともあり、実習前の学生の疑問には「やったことがない。なら、まあやってみて。それからそれから」と答えている。学生の評価は「やっている時はあやしく見えるけど、解析してみるときれいになる所がこの実験の不思議な所」と。2008年の実習で学生から2つの疑問点が出された。一つは「光度、音量は物理的刺激だが化学的刺激ではどうなる」との疑問であった。これには「味覚」実習の結果を参考にして食塩水の濃度を変え対応することとし、化学感覚にもスチーブンスの法則が成立するとの結果が得られた。もう一つは「光度、音量、握力の受容は極端に言うとも一つの受容器細胞の活動変化でも可能な、言うなれば単感覚細胞方式である。しかし、音の高さなどは周波数により受容器細胞が異なっているから応答範囲分担方式である。もし応答範囲分担方式で受容された感覚にもスチーブンスの法則が適用できるのならその情報処理場所は中枢神経系内である。違えば、個々の受容器細胞自体がこの法則に則って反応して情報を中枢に送っている、との

仮定を否定できない」との疑問であった。このため周波数可変の正弦波発信器を制作し、音の高低の応答もスチーブンスの法則に則っていることが確かめられ、処理系は中枢神経系内にありと2009年に学生は結論した。以上の結果を受け以後の実習では光度、音量、音の高低、塩味を刺激として用いた実習となったが、測定は実習時間内に終了できた。さらに、2013年に応答範囲分担方式に関して医学科学生から「感覚強度を表現している握力は単感覚細胞方式である。表現するのに応答範囲分担方式の関節角度を使用したら結果は変わるかも知れない」との意見が出てきた。これには回転角度センサーを使用した電子式ゴニオメーターを制作し、物理的刺激強度と肘の角度の間でもスチーブンスの法則が成立することが2014年に確かめられた。しかしこの結果にも「肘の角度と角度の感覚はべき数=1で $E=k_2S$ の一次関数なので強度の表現に使用するのは問題では」との指摘が出た。これには解決のためのアイデアを募集しているがまだ提案はない。

一方、2011年に看護学科学生からは「例えば音を聞いて強さを最強の何%と表現した時はスチーブンスの法則に従うけど、逆に何%の強さにするよう指示されて設定した音量はスチーブンスの法則に従うの?」との疑問が出てきた。このため2012年には光度、音量、音の高低を固定ではなく可変式とした実験装置を作成した。例えば音の高低実験では、「ボタンを押して聞こえる音が100%の音の高さです。つまみを廻して80%の高さにして下さい。100%がわからなくなったらボタンを押して確認もかまいません」と指示し、被験者が設定した周波数を記録し解析した。学生により「裏検査」と銘々されたこの実習の結果はスチーブンスの法則に従っているとは言えないとの結論になったが、「何%にしるなんて言われてもやったことがないもの。無茶よ…」との声が出、「じゃ練習してみようか。先生練習用にもう1セット作って下さい」との結末に、2013年からは「裏検査」の後「トレーニング」を行ってから再度「裏検査」を行うことになった。この「裏検査」、「トレーニング」などの新知見は生理学会で看護学生により発

表された [1, 2]。

この他に「刺激強度をランダムに変化して」「刺激の強さと反応との関係をプロットし、傾きを計算する」との簡単な指示だけであった実験方法も、ラテン方格配置法で割り付け分散分析を行うことにした。これも実験の確率化と結果の評価法が問題との学生からの指摘を受けた結果であった。

以上のように、「感覚の強さの計量」実習は当初2種類の刺激と2種類の評価法で開始した。しかし、「この装置はうちの研究室で全部作ったんだ。実習の内容で何か疑問やアイデアがあったら道具は何でも作ってやるぞ」などと実習中に言っていた手前、学生に湧いたいろいろな疑問を解決すべく実習機器を工夫するうちに、刺激の種類は四種類に、表現方法は3種類に増え、さらに「裏検査」や「トレーニング」まで加わり実習はタイトなものになってしまった。しかし、実験の方向性を学生自信の疑問で決定できること、疑問により追加された実験結果は他コースでの講義中や掲示でフィードバックしていることもあって実習の満足度は高く、生理学会で発表できる内容までに発展した。現在もまだ解決されない問題も残っていることもあり、「裏検査」を提案した看護学生の「言ってみれば何かやってくれるかも知れないと思ったから」との言葉を励みに、今後とも学生からの要求に応えられるように努力したい。

(作成した実習機器の回路図、制作方法、使用方法、説明図などの詳細は yokoiisa@oita-u.ac.jp あるいは ostokuma@oita-u.ac.jp までお問い合わせ下さい。)

文 献

1. Nishi E, Tsuchiya S, Nishikawa Y, Tokumaru O, Eshima N, Harada C & Yokoi I: Possible plasticity of the Stevens' power law. *J Physiol Sci* **64**: S238, 2014
2. Saho M, Ogiso N, Kuroda S, Tokumaru O, Eshima N, Harada C & Yokoi I: Sex-related difference in exponents of Stevens' power law. *J Physiol Sci* **65**: S171, 2015