



東京学芸大学リポジトリ

Tokyo Gakugei University Repository

Simultaneous Recording of Electrocardiogram and Phonocardiogram for Understanding of Cardiac Function

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2022-03-29 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 小境, 久美子 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2309/00173715

心電図と心音図の同時記録による心臓機能の理解

Simultaneous Recording of Electrocardiogram and Phonocardiogram
for Understanding of Cardiac Function

理科 小 境 久美子

<要旨>

心臓はおよそ1秒間に1回、1mVに達する電気信号を発生し、心筋を収縮させて血液を全身に拍出している。心拍や心拍数の変化は日常生活の中で実感できるものであるが、心臓の拍動のしくみを動的にとらえられる教材は少ない。本稿では、心電図と心音図の同時記録を行うことで心臓機能の理解を目指した授業実践について報告する。生徒は授業の中で、心筋の収縮や逆流を防ぐ弁の開閉などについて考察を行った。得られた理解は、心電図検査やAEDといった健康・医療についての関心を高めることにもつながると考えられる。

<キーワード> 心臓, 心電図, AED, 心音, 生物実験

1. はじめに

高等学校学習指導要領¹⁾(文部科学省 2018)の科目「生物基礎」,「生物」の学習内容にはそれぞれ,「ヒトの体の調節」,「生物の環境応答」があり,神経系と内分泌系によって体内環境が維持されていることを学習する。「心臓」についてはその中で,自動性をもちながらも自律神経系や内分泌系による調節を受けて拍動の促進・抑制がなされていることが扱われる。中学校学習指導要領²⁾(文部科学省 2017)の学習内容「人の体のつくりと働き」では,物質を運搬する循環系の仕組みとして,心臓のつくりと働きが中心に扱われている。小学校でも血液の循環や心臓の拍動について学習しており,心臓が生命活動を維持するために重要な器官であることは繰り返し学習する。また,実体験として,拍動数が変化する経験が想起できるなど,「心臓」は,実感を伴った理解を図ることができる題材であると考えられる。

これまで,実験による授業の実践として,ニワトリやブタの心臓を解剖し,左右の心室の厚さの特徴を観察して左心室の重要性を生徒に理解させる例³⁾や聴診器を通して聴取できる心音をスピーカーで聴くなどの実習が行われてきた。また,文部科学省の評価に関する資料⁴⁾においては,「思考・判断・表現」を評価する例として,脚の運動と心拍数の変化との関係性を見いだして表現する課題が取りあげられている。

一方,学校保健法施行規則により,学校における定期健康診断として行われる心臓検診で,心電図検査は小学校1年生,中学校1年生,高等学校1年生全員に義務付けられている。特に高等学校1年次の検査は,「生物基

礎」を履修する高校1年生徒にとって記憶に新しい。またAEDは全国の学校の93.9%(2015年文部科学省調べ)に設置され,本校にも2台設置されている。生徒を対象とした救急救命法講習も実施されていることから,心臓と電気との関連は想像に難くないと思われる。若年層の心疾患に関する報道を聞く機会もあり,「除細動」「心室細動」「不整脈」といった用語が生徒にとって身近になってきている。

本稿では,心電図と心音図を同時記録することで,心臓の機能を考察する授業実践について報告する。心電図は,検査で用いられるような手首,足首,胸部に電極を装着した仰臥位での記録ではなく,2ないし3電極の装着かつ座位で簡易的な記録を行った。この方法では高校実験室や教室でも実施が可能である。心音は収縮期の始めおよび拡張期の始めの弁の開閉によって発生する⁵⁾が,弁の開閉は電気信号によって起こるものではない。心電図で記録される電気信号と,弁の開閉のあいだには心筋の収縮があり,心筋が収縮することで血液が肺および全身に拍出される。心筋の収縮や弁の開閉は目で見ることができないが,本実習を通して動的に捉えることができるため,心臓機能の深い理解につながるものと考えられる。

2. 使用した教材

心電図と心音図を同時記録する実験装置⁶⁾(図1)を用いて実験を行った。心電図については,電極パッドを胸部に貼り,リード線を増幅器につないだ。ディスプレイ電極パッドは,生徒が記録をとる場合に用い,プラス電極を左肋骨の下端,マイナス電極を右鎖骨下,アー

ス電極を左鎖骨下に貼った。演示実験用電極パッドはプラス電極を左鎖骨中線、マイナス電極を胸骨柄に貼った。電極パッドのリード線は乾電池式増幅器（9V 電池 2 本使用）の入力端子に接続した。これにより増幅器から心臓に至る漏洩電流による電撃（マイクロショック）の可能性を排除した。増幅器は時定数を 100 ミリ秒に設定しており、臨床で用いられる時定数 3.2 秒より小さい。そのため、この実験装置は医療目的のものではなく、理科実験用計測器としての使用に限定されている。増幅器の出力信号は、PC ベース・デジタルオシロスコープに入力し、ノート PC の画面上にリアルタイムで波形表示した。この波形データは同時に実験室のプロジェクトスクリーンに投影し、情報を共有した。電源コードには 3P プラグと 3P コンセントを用い漏洩電流の回避策とした。心音図については、聴診器と小型コンデンサーマイクをシリコンチューブで接続し、音楽用ミキサーの入力端子に接続した。さらにミキサーのイヤホン出力端子から実験室のスピーカーに接続し、音が聞けるようにした。ミキサーのメイン出力端子はデジタルストレージオシロスコープに接続し、心音を波形として記録できるようにした。

なお、実験装置の使用については本学生命科学分野吉野 正巳 名誉教授に御指導いただいた。

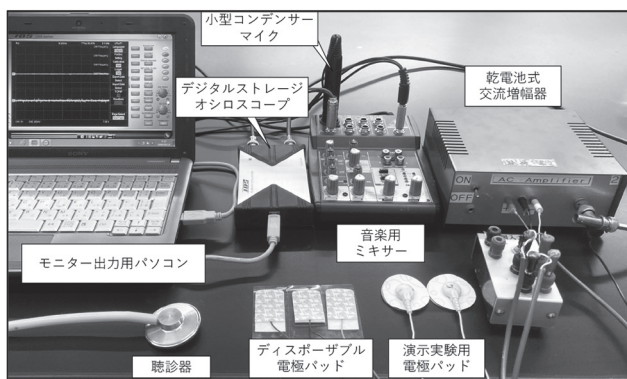


図 1 実験装置

3. 授業実践

3-1 実施の概要

上述の教材を用いて、高校 1 年生を対象に 2021 年 9 月、11 月に授業実践を行った（図 2）。9 月に 2 クラス計 80 名に実施、11 月に 3 クラス計 118 名に実施した。9 月は授業者が記録をとる演示実験のみ行った。11 月は授業者による演示と、希望する生徒 2～3 名を募って記録をとった。

2021 年度は新教育課程実施の前年度であり、単元「(2)

生物の体内環境の維持 ア 生物の体内環境 (ア) 体内環境」において授業を行った。2022 年度以降の新教育課程では「(2) ヒトの体の調節」で行うことが適当であると考えられる。

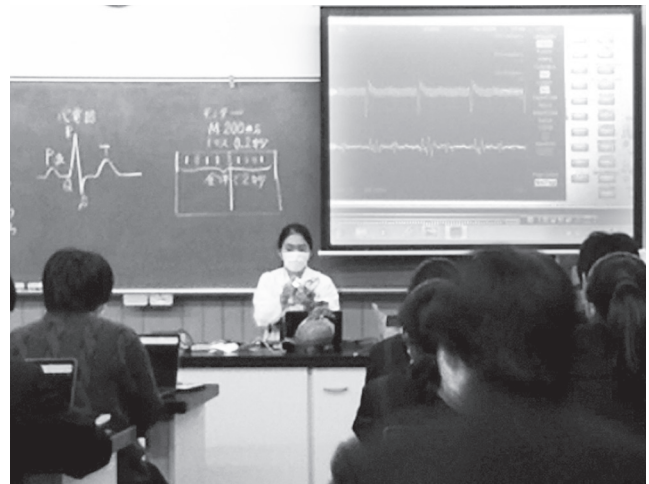


図 2 授業風景

3-2 学習指導案

(1) 本時のねらい

心電図と心音図の同時記録を行い、心臓の拍動のしくみについて理解する。洞房結節（ペースメーカー）における興奮の発生と、興奮が心臓を一定の順序で伝播して心筋の収縮が起こること、さらに収縮にともなって弁が開閉し心音が発生することを理解する。

(2) 評価規準

「知識・技能」心電図・心音図を読み取り、興奮の発生・伝播と、弁の開閉の一連の過程を理解している。

「思考力・判断力・表現力」心筋の興奮・収縮と、心音の発生との関係性を見いだして表現する。

(3) 指導と評価の流れ

本時は、心臓の拍動の様子や興奮の伝播の順序をアニメーションで提示したのち、心電図・心音図との関連を考察させる。ワークシートは、次ページの(1)～(8)について Form に回答する形式とする。(7)では、A,B いずれかとし、実験前に既に洞房結節について学習していたクラスには(7)-A を、まだ学習していないクラスには(7)-B を課すこととする。

学習場面	学習活動	学習活動における具体の評価基準	評価方法
導入	・ 授業目標を確認する。 ・ これまでの学習内容（洞房結節が心臓の自動性を生み出していること、弁が血液の逆流を防いでいること）を確認する。		
展開	・ 心音をスピーカーを通じて聞き、「ドキ」「ドクン」など2音で表現されることを確認する。 ・ 心臓の血液流入、拍出のアニメーション動画を提示し、弁の開閉について考える。 ・ 心音図を記録し、第1心音、第2心音を確認する。 ・ 心電図記録の説明を行う。電極をあてる部位を示し、得られる波形が心臓のどの部分に興奮が伝播して生じるかを、アニメーションなどを用いて説明する。 ・ 異常の見られる心電図波形の例を提示する。 ・ 心電図記録を行う。	・ 聞こえる2つの音の発生時に閉じている弁がどれかを考える。 ・ 聞こえる2つの音と心音図との関係を理解する。 ・ 入学時の心臓検診で心電図検査があったこと、AEDでは心電図を解析していることなど、身近に心電図が利用されている例を思い出すことができる。	ワークシート Formでの提出
課 題：記録された心電図・心音図を読み取り、興奮の発生・伝播と、弁の開閉の一連の過程を説明しよう。			
まとめ	・ Formを用いて、本時の内容について振り返る。		

〈ワークシート課題〉

- (1)心音について 聞こえる音は2音あり、心音図波形では、2種類ある。これらの音は、弁が閉じるときに生じる。第1心音、第2心音のそれぞれの音が発生する時に閉じると考えられる弁はどれか。
- (2)時計の秒針などを用いて、自分の心拍数を計算しなさい。
- (3)心音図から、1分間あたりの心拍数を計算しなさい。
- (4)心電図について 得られた波形に、P波、QRS波、T波は読み取れるか。波形にアルファベットを記入しなさい。
- (5)P波の発生時に興奮しているのはどこでしょうか。
- (6)QRS波の発生時に興奮しているのはどこでしょうか。
- (7)-A 心筋の興奮・収縮と、心音の発生との関係性を見いだして表現しなさい。
- (7)-B 心筋の興奮、収縮と心音の発生とを関連付けて、心臓の動きの一連の流れを説明しなさい。
- (8)この授業についての感想を書いてください。

3-3 生徒の活動

図は、心臓の興奮（電気信号）が伝わる経路を示している。これを参考に、心電図について問いに答えなさい。（ここで副教材の図を提示した。図では、「刺激伝導系」として①洞房結節の興奮→②心房の収縮→③房室結節の興奮→④ヒス束、プルキンエ繊維による興奮の伝達→⑤心室の収縮と順に示されている。）

心電図・心音図記録のための被験者を募る際には積極的に手が挙がり、各クラス2～3名の記録をとることができた。電極の胸部への装着は生徒自身が行い、増幅器に接続した。電極装着のわずかな位置の違いから、得られる波形が異なり、特にQ波、T波の大きさが異なることがわかった。演示実験のみの場合は、授業者の心電図と心音図の記録から考察を行った。提出されたワー

クシートの回答の特徴を以下に記す。(1)第1心音の発生時に閉じている弁は僧帽弁と三尖弁(合わせて房室弁)で、正答率は81.1%であった。第2心音では大動脈弁と肺動脈弁(合わせて動脈弁または半月弁)で、正答率は80.0%であった。(2)では、各自が手首の親指つけ根で脈をとり、15秒間測定して4倍し、1分間の脈拍に換算した。生徒が(1)(2)に取り組んでいる間に、心電図・心音図のノートPC画面を写真に撮り、生徒全員に送信した。(3)ではモニターの1マスが200 ms (0.2秒)であり、全体で10マス2秒となることから、これを60秒に換算して答えるよう伝えた。生徒は心音図の第1心音から次の第1心音までの間を測って換算したり、心電図で大きな波形となるQ波と次のQ波の間を測って換算したりしていた。(4)では、送信された心電図・心音図のうち、授業者または代表生徒の記録に、各生徒がPQRSTを書き込み、Formに添付して提出した。一例を図3に示す。P波が小さいこと、Q波の大きさが異なることを疑問に感じる生徒もみられた。

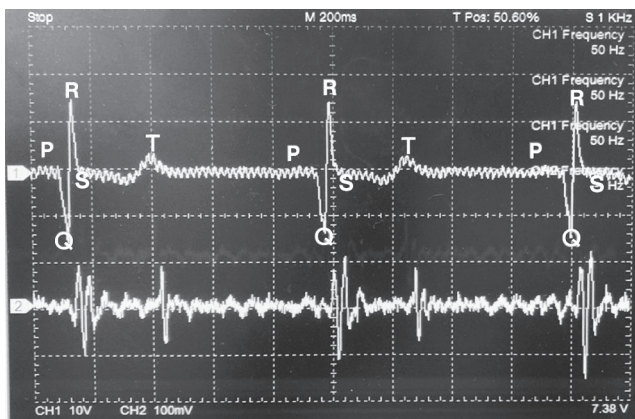


図3 得られた波形に生徒がPQRSTを書き込んだもの
上：心電図 下：心音図

(5)P波の発生を「洞房結節」と書いた生徒は68.5%であった。残りのうち29.1%は「右心房」または「心房」と書いていた。(6)QRS波を「房室結節」と書いた生徒は56.0%であった。残りの多くは、ヒス束、プルキンエ繊維など、心室の部位を答えていた。(7)-Aでは、「心筋の興奮・収縮により、心室が収縮することによって心音が発生する。」という簡潔な回答から「心筋の興奮時には、洞房結節が出した電気信号が心房全体に伝わり、心房が収縮する。その影響で心房内圧が心室内圧よりもやや高い状態になっているため、房室弁は自然と開いている。その後、心房の収縮と共に血液が心室に流入し、心房が弛緩を始める時には心房内圧が心室内圧よりも低

くなっているため、房室弁が閉じる。この時に第1音が発生する。さらに、電気信号は心室の先端から心室全体へと伝わり心室の収縮を引き起こす。心房と同様に心室の収縮と共に血液が送り出され、心室が弛緩する時には心室内圧が動脈内圧よりも低くなっているため、半月弁が閉じる。この時に第2音が発生する。これら一連の流れを繰り返すことによって心臓は血液を送り出していると言える。」という詳細な回答まで様々であった。(7)-Bでは文章の長さにはあまり個人差がなく、「まず洞房結節の興奮によって心房が収縮し、心室内が血液で満たされると、房室結節が興奮して心室が収縮を始め、三尖弁と僧帽弁が閉じる。これが第一の心音で、次に心室が収縮して血液を動脈に送ると、大動脈弁と肺動脈弁がとじて第二の心音が鳴る。」といった回答があった。(7)-A, Bの回答と(8)の感想については、次項でテキスト分析を行った。

3-4 生徒の記述回答のテキスト分析

生徒の記述回答をフリーの計量テキスト分析ソフトウェアである“KH Coder”(樋口 2021) var.3.Beta.04a⁷⁾を使用して解析を行った。解析の方法は、小境・真山⁸⁾に準じた。図3に(7)-A, 図4に(7)-Bの回答文の共起ネットワークを示す。なお、両者の比較のために、ランダムに抽出した74回答を用いた。4回以上出現した語を使用し、Jaccard係数が0.2以上の共起関係に絞り込んで描画させた。語の使用頻度が直径の大きさで示され、円の色が濃い方が中心性が高いことを示す。(7)-Aでは「閉じる」が中心となり「弁」「心音」「心室」と共起して使用されていることがわかる。実際の回答文には「洞房結節が興奮し心房が収縮すると、心室が血液で満たされ僧帽弁と三尖弁が閉じ、それに伴って収縮する。これらの房室弁の閉じる音が、第1心音である。そして、心室が収縮し血液を動脈に送り出すと、大動脈弁と肺動脈弁が閉鎖される。これらの動脈弁の閉じる音が、第2心音である。」などがあった。また、使用頻度の最も高い語は「心音」で129回、次いで「収縮」106回、「興奮」101回であった。一方、(7)-Bでは「発生」「閉じる」が中心となり「心音」と共起して使用されていることがわかる。また、「血液」の中心性も強い。実際の回答文には「まず心房が収縮して血液が心室に流れ、房室弁が閉じる。この時に第一心音が発生する。次に心室が収縮して血液が動脈に流れ、動脈弁が閉じる。この時に第二心音が発生する。これが繰り返されることで身体中に血液が巡る。」などがあった。使用頻度の最も高い語は「収縮」で173回、次

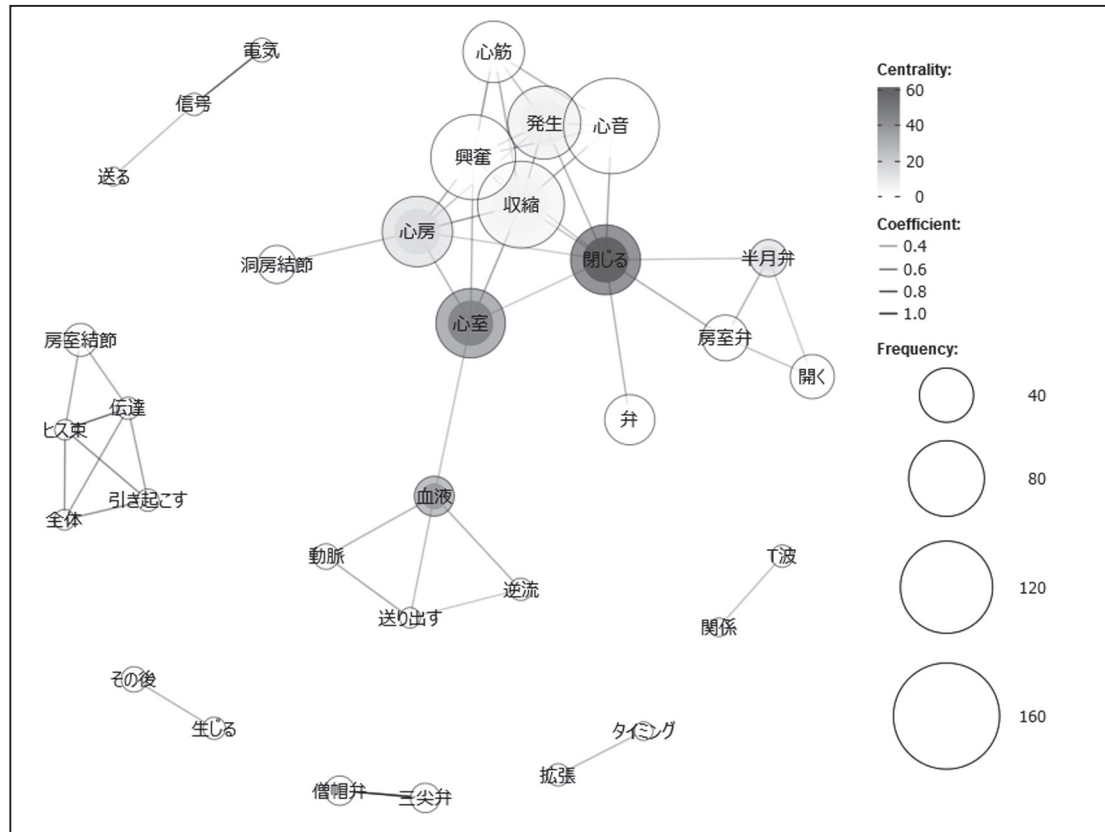


図4 質問(7)-A「心筋の興奮・収縮と、心音の発生との関係性を見いだして表現しなさい。」に対する回答の共起ネットワーク

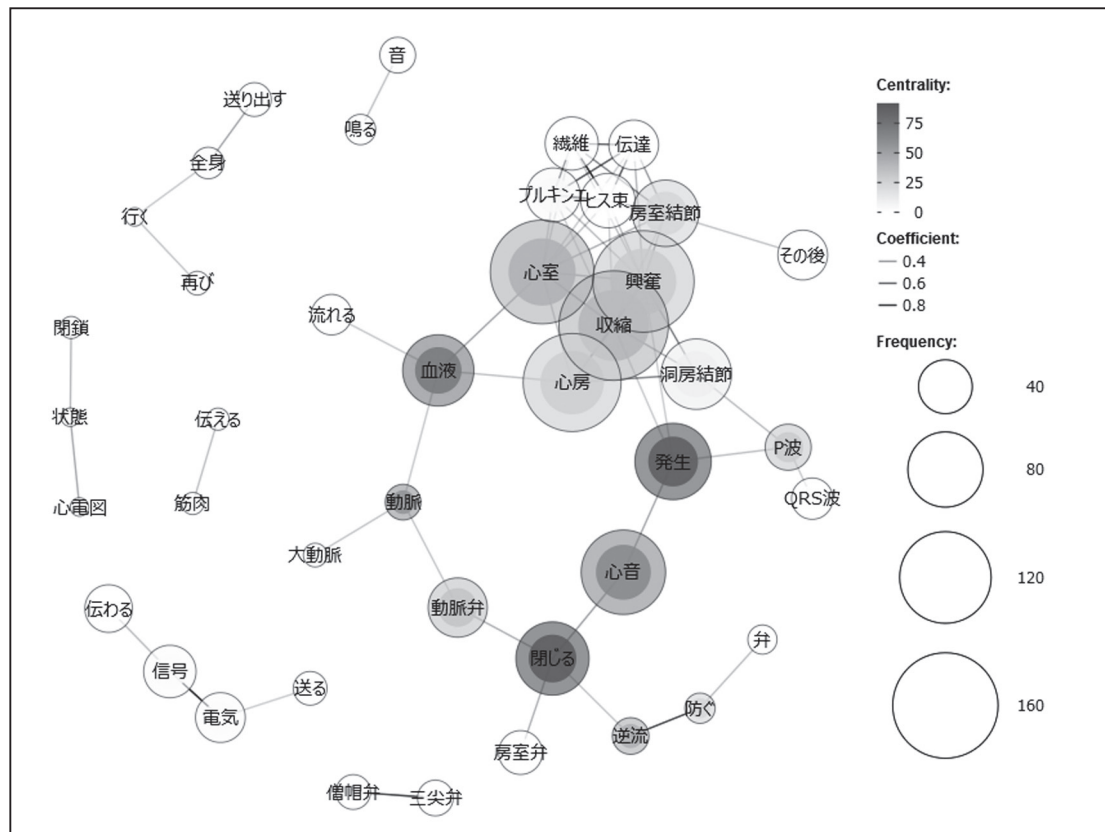


図5 質問(7)-B「心筋の興奮、収縮と心音の発生とを関連付けて、心臓の動きの一連の流れを説明しなさい。」に対する回答の共起ネットワーク

いで「心室」155回、「興奮」148回であった。

共起ネットワークにあらわれた語のうち、特に関連を理解して欲しい語の間の Jaccard 係数を表1に示した。

表1 Jaccard 係数の比較

	(7)-A の回答	(7)-B の回答
洞房結節－心房	0.27	0.45
洞房結節－興奮	0.19	0.47
興奮－収縮	0.55	0.54
心音－閉じる	0.35	0.34

「洞房結節－心房」「洞房結節－興奮」は、洞房結節の興奮による心房の収縮という関連であり、回答例には「洞房結節の興奮により電気信号が心房に送られ、心房が収縮する。」といったものがあつた。これらは(7)-AとBの回答で Jaccard 係数が異なり、特に「洞房結節－興奮」は(7)-Aの共起ネットワークに描画されなかった。「洞房結節」の使用回数が(7)-Aでは19回、(7)-Bでは70回であり、(7)-Bのように「一連の流れ」の説明を求めないと、はじめのペースメーカーに言及されることが少ないことがわかつた。このことは、(7)-Bの共起ネット

ワークには「P波」があらわれているのに対し、(7)-Aにはあらわれていないことからいえる。「P波」の使用回数は(7)-Aでは7回、(7)-Bでは29回であつた。P波は心電図波形では非常に小さく、商用交流（ハム）ノイズに隠れて読み取れないことがあつた。このことから回答記述でP波の使用が少なかった可能性もある。

(8)感想については175回答を対象に解析した。共起ネットワーク（図6）では、「心音」「知る」の中心性が強く、次いで「心電図」「心臓」「音」となつた。実際の回答には、「心臓の音を実際に聞くことでより心臓の仕組みや様子を深く理解することができた。実際にとつた心電図から心筋と心音の関係性を導くことができた。」などの記述があつた。使用頻度の最も高い語は「心臓」で130回、次いで「心電図」119回、「心音」97回であつた。「心音図」は25回で共起ネットワークにはあらわれなかった。これは「心電図」と対照的で、音については波形を見ることよりも聴くことで実感をもたれていることがうかがえた。洞房結節（ペースメーカー）に触れられていたものには、「洞房結節の役割は以前の授業でペースを調節するという事実だけは知っていましたが、具体的なイメージができていなかったので理解を深めること

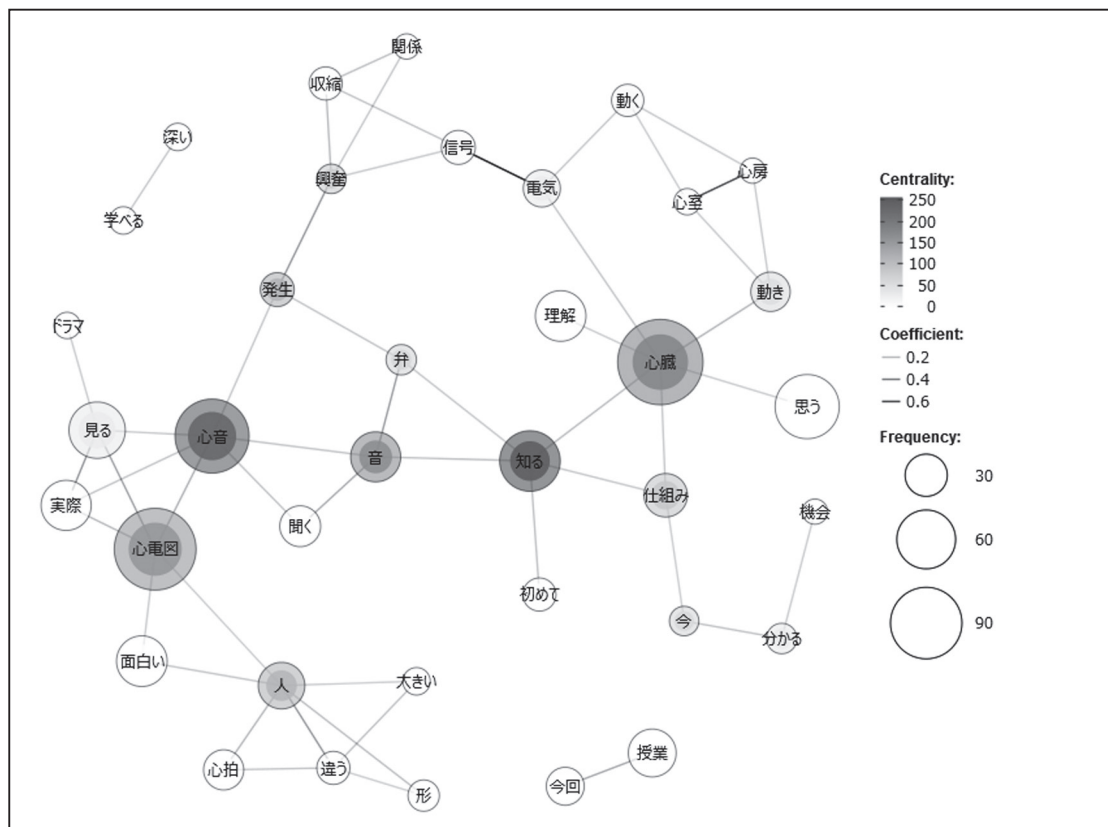


図6 「感想」に対する回答の共起ネットワーク

ができてよかったです。」「心臓から聞こえる音はなんの音なのかを知ることができた。ペースメーカーは人工的なもののことを指すのだと勘違いしていたので正しい知識を得ることができてよかった。」などの回答があった。心臓検診やAEDといった身近なものについては、「今まで心臓検診を受けたことはあったけれど実際に心電図をじっくりと観察、考察することは初めてだったので心臓の働きや、心音との関係を交えて自分で考えられてよかった。」「人によって心臓の速さが違うことは知っていたが、音にも違いがあることは初めて知ったのでとても面白いなと思いました。あと、未だに体に電気が通っていてそれのおかげで心臓が動いている、というのが信じられません。AEDで実際に心臓が動くというのもし信じられません。でもそのおかげで助かっている人がいるから科学、生物はすごいと思います。」などがあった。

4. 考察

生徒の記述から、興奮－収縮の連関、弁－心音の関係の理解は進んだことが読み取れた。すなわち、心筋が興奮したのちに収縮が起こること、心音は弁が閉じるときに発生することは理解されたと思われる。一方、記述回答にP波、洞房結節、ペースメーカーの言及は少なかった。これは実習時にP波が見えづらかったことや、課題の質問の仕方が影響したと考えられる。ハムノイズを拾わずに大きな電位変化を得られるような電極装着を工夫すること、また課題の提示方法に改良が必要である。授業中にQRS波の波形に個人差があることに生徒が気付くことがあった。また、「緊張や興奮によって変化するのではないか」という発言もあった。前者については、電極の装着の位置の違いによって波形に変化が生じることを、標準12誘導心電図の記録⁵⁾を示すことで伝えた。後者については、交感神経による心臓拍動の調節に発展させることができる内容である。拍動が速くなっても心電図・心音図の波形が変化しないことがわかれば、心臓の血液拍出の機能はそのまま、自律神経などの調節を受けることが実感できるものとなるだろう。

5. おわりに

2022年度から実施される高等学校学習指導要領¹⁾では、心臓は「体内環境」の单元ではなく、「神経系と内分泌系による調節」の单元で扱われる。自律神経やホルモンによる心拍数の調節が主に扱われるが、心拍がそもそもどのようにして生じるかという問題は扱われていない。洞房結節のペースメーカーとしての働きはどの教科

書にも載っているが、その仕組みに関しては扱われていない。洞房結節の働きを理解するには、その興奮を最適な時間差で心房筋から心室筋へ伝えるための刺激伝導系の理解が重要となる。また、自律神経やホルモンによる心拍数の調節を理解するには、洞房結節細胞の興奮発生に関わる受容体やイオンチャネルの理解が必要である。本稿で実施した心電図と心音図の同時記録の実験は、こうした心臓機能を理解するための基礎になるものと考えられる。

6. 参考文献

- 1) 文部科学省 高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説 理科編 理数編 pp.120-122, 140-142 文部科学省 2018
- 2) 文部科学省 中学校学習指導要領（平成29年告示）解説 理科編 pp.90 文部科学省 2017
- 3) 岡田 仁 ニワトリの心臓の観察 第二学年第二分野「動物の生活と種類」理科の教育 57(11) pp.56-58 2008
- 4) 文部科学省「指導と評価の一体化」のための学習評価に関する参考資料 高等学校 理科 pp.90-91 文部科学省 国立教育政策研究所教育課程研究センター 2021
- 5) 小幡 邦彦・外山 敬介・高田 明和・熊田 衛 新生理学 第2版 pp.347-360 文光堂 1999
- 6) 吉野 正巳 “生物電気の基礎実験” 国立大学法人 東京学芸大学 理科教員高度支援センター 理科の指導力向上研修 2021-9-21 http://www.u-gakugei.ac.jp/~ascest/program_list.html（参照 2021-11-30）
- 7) 樋口 耕一 “KH Coder 3 チュートリアル” KH Coder 2021-10-28 <https://kxcoder.net>（参照 2021-11-27）
- 8) 小境 久美子・真山 茂樹 年月を経て変化する河川環境を学び考える環境教育の実践的研究：高等学校における標本観察、シミュレーション、ビデオ教材を組み合わせた授業 東京学芸大学紀要 自然科学系 67 pp.33-44 2015

