



東京学芸大学リポジトリ

Tokyo Gakugei University Repository

ヒト心音図と心電図の測定に基づく中学校理科2学年
2分野における「動物の体のつくりと働き」の授業：
ICSTシステムの適用

メタデータ	言語: ja 出版者: 東京学芸大学教育実践研究推進本部 公開日: 2023-11-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 吉野, 正巳, 勝木, 知昭, 朝日, 俊介, 沼田, 朋大, 松川, 正樹, 原田, 和雄, 長谷川, 正 メールアドレス: 所属: 東京学芸大学, 福井県教育総合研究所, 福井県あわら市芦原中学校, 秋田大学, 東京学芸大学, 東京学芸大学, 東京学芸大学
URL	http://hdl.handle.net/2309/0002000136

ヒト心音図と心電図の測定に基づく中学校理科2学年2分野における 「動物の体のつくりと働き」の授業

—— ICST システムの適用 ——

吉野 正巳*¹・勝木 知昭*²・朝日 俊介*³・沼田 朋大*⁴・
松川 正樹*¹・原田 和雄*⁵・長谷川 正*¹

生命科学分野

(2023年5月31日受理)

YOSHINO, M., KATSUKI, T., ASAH, S., NUMATA, T., MATSUKAWA, M., HARADA, K. and HASEGAWA, T.: Classes on “Structure and Function of the Animal Body” in 2nd Grade Junior High School Science Classes Based on Measurement of Human Phonocardiogram and Electrocardiogram: Application of the ICST System. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., **75** : 63–75. (2023)

ISSN 2434-9380

Abstract

In the second grade of junior high school, the unit “Structure and Function of the Animal’s Body” deals with digestion, respiration, and blood circulation. Of these, the circulatory system is clearly stated to be treated mainly as the structure of the heart and its function. However, in order to conduct classes that use humans and animals, observe and experiment, analyze the results, and try to understand “the construction and function of the heart”, it is necessary to prepare teaching materials and clear various regulations such as the Animal Experiment Ethics Code and the Pharmaceutical Affairs Law. In this study, we developed and produced a measurement device for the phonocardiogram and electrocardiogram necessary to understand the “mechanism of heart beating” by scientific methods (measurement), and attempted to practice classes using the ICST (Instructional Charts for nurturing Scientific Thinking) system. As a scientific concept to be formed by students, “mechanism of heart beating” was positioned at the top, concept flow, focus question, and instructional chart were created, and lessons were practiced based on learning guidance plans based on these concepts.

Keywords: Development of simultaneous measurement device for phonocardiogram and electrocardiogram, Cardiac learning of the human body, ICST system, Class support through remote delivery

Department of Biology, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

-
- * 1 東京学芸大学 (184-8501 東京都小金井市貫井北町 4-1-1)
 - * 2 福井県教育総合研究所 (919-0461 福井県坂井市春江町江留上緑 8-1)
現所属 福井県福井市足羽中学校 (918-8152 福井県福井市今市町 5-10)
 - * 3 福井県あわら市芦原中学校 (910-4105 福井県あわら市舟津 2-75)
現所属 福井県坂井市坂井中学校 (919-0521 福井県坂井市坂井町上新庄 28-21)
 - * 4 秋田大学大学院医学系研究科 医学専攻 器官・統合生理学講座 (010-8543 秋田県秋田市本道 1-1-1)
 - * 5 東京学芸大学 生命科学分野 (184-8501 東京都小金井市貫井北町 4-1-1)

要 旨

中学校第2学年理科第2分野における「動物の体のつくりと働き」の単元では、消化、呼吸、及び血液循環が扱われている。このうち循環系については、物質を運搬する仕組みとして「心臓のつくりとその働き」を中心に扱うよう明記されている。しかし、「心臓のつくりとその働き」について、ヒトや動物を用い、観察・実験し、結果を分析して理解をはかる授業の実施は、教材を揃えること、動物実験倫理規程や薬事法などの諸規程をクリアしなければならないことから、難しいとされてきた。本研究では、「心臓の拍動の仕組み」を科学的な手法（計測）によって理解するために必要な心音図と心電図の計測装置を開発・制作し、ICSTシステムを用いた授業実践を試みた。生徒に形成させる科学概念として、「心臓の拍動の仕組み」を最上位に位置づけ、コンセプト・フロー、フォーカス・クエスション、指導チャートを作成し、これを基にした学習指導案により授業を実践した。

キーワード：ICSTシステム、中学校理科第2分野「動物のつくりとはたらき」、心臓の拍動の仕組み、心音図、心電図

1. はじめに

理科では小中高校を通して、観察・実験を行うことが求められている。しかし、学年進行と共に、学習内容が高度化するに伴い、生徒自身の観察・実験で得られるデータを基に、授業展開するのが難しくなる。例えば、中学校理科2学年第2分野における「動物の体のつくりと働き」においても、動物を扱う教材を揃えるのはハードルが高い。これに加えて、生命活動がある高等動物を教材として用いることは、高い学習効果が期待されるが、動物実験倫理規程や薬事法などの諸規程をクリアしなければならない。一方、児童・生徒や教員は、動物としての自分たちの身体について知りたい、教えたい要求が高い現実もある。

心臓は中学校第2学年理科第2分野における「動物の体のつくりと働き」の⑦生命を維持する働きの単元において扱われており、物質を運搬する仕組みとして、心臓のつくりとその働きを中心に扱うよう明記されている（文部科学省，2018b）。現行では全5社のすべての教科書において、心臓内の各部分と心臓に繋がる複数の血管の名称、血流経路がカラーイラストで描かれ、この図を基にして、生徒は、心臓のポンプ機能による血液駆出、肺循環と体循環の血流経路を学ぶ。しかし、心臓の学習においては、理科指導で求められている観察・実験に基づく授業の方法が示されていない。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、心臓の肉厚の特徴を観察して左室の重要性を解剖学の視点から生徒に理解させる例（岡田，2008；則武・川上，2010；山田，2017）が提案されている。しかし、動物の心臓、ましてやヒトの心臓を直接対象にして、観察・実験し、結果を分析して心臓の働きの理解を目指した授業実践の事例は見

あたらない。

一方、学習指導要領では、生徒の「科学的な自然観の育成」や「科学的に探究するために必要な資質・能力を育成する」ことが求められている（文部科学省，2018a）。そのため、長谷川ほか（2017）と原田ほか（2018，2019）は、理科教員を対象にした科学的思考力と問題解決力を育成する研修プログラムを開発・実施するICST（Instructional Charts for nurturing Scientific Thinking）システムと称する方法を開発し、教員を通して、児童・生徒のそれらの能力を高めることを目指した。ICSTシステムでは、研修の受講教員や理科授業を受ける児童・生徒に、理解や形成させたい概念（コンセプト、以下「概念」を使用）を抽出し、抽出した概念を最も下位の概念から到達目標とする最も上位の概念まで、階層的に並べ、彼らが概念を形成する流れをコンセプト・フローとして図式化する。そして、彼らはフォーカス・クエスションと称する質問に答え、上位の概念を形成する。この過程を通して、児童・生徒の科学的思考力と問題解決力を育成する。

本研究では、中学校の第2学年「動物の体のつくりと働き」の「生命を維持する働き」の単元において、①実験に基づく授業を実践するため心臓の拍動を科学的な手法（計測）によって理解するために必要な心音図と心電図の計測装置を開発・制作し、②生徒の科学的思考力と問題解決力を育成するために、ICSTシステムを用いて、授業を設計し、実践した。そして、実践結果を基に、開発・制作した測定機器を教材として評価し、科学的思考力と問題解決力を育成する授業指導法について議論した。最後に、今回開発・制作した計測装置を用いた高校生物への発展性及びヒト心音図・心電図を中・高等学校の理科に導入することの意義について議論した。

2. 研究の方法

2. 1 心音心電TM-モデルMY19の開発

心音図と心電図を同時記録する装置を考案，制作し，心音心電TM-モデルMY19と命名した。本装置は，心音をスピーカーで聴取し，かつその音波形を記録する心音記録部と心電図を記録する心電図記録部からなる（図1，2）。

2. 1. 1 心音記録部

心音をスピーカー音として聴取するため，聴診器（スーパースコープ，FC-201S：（株）フォーカルコーポレーション）のチューブをチェストピース部位から

40cmの部位で切断し，本体側のチューブ断端に，ファンタム電源（48V）で駆動する小型コンデンサーマイク（EM-700：YOGA社）を挿入し，25mmの長さに切った内径10mmのシリコンチューブで，マイクと聴診器のチューブを密着させ，接続させた（図3a）。マイクの出力は，音楽用ミキサー（USB-Mix：ART社）の入力端子に接続した。そして，ミキサーに備わったイヤホン出力端子からの出力信号を，オーディオパワーアンプ（ESP-009T：Tune Tech社）で増幅し，低音再生のスピーカー（サブウーハー）にて聴取した（図3b，c）。心音を波形として記録するため，ミキサー（図3b）に備わっているメイン出力端子からの信号を取り出し，デジタルストレージオシロスコープ（GDS2862：NF回

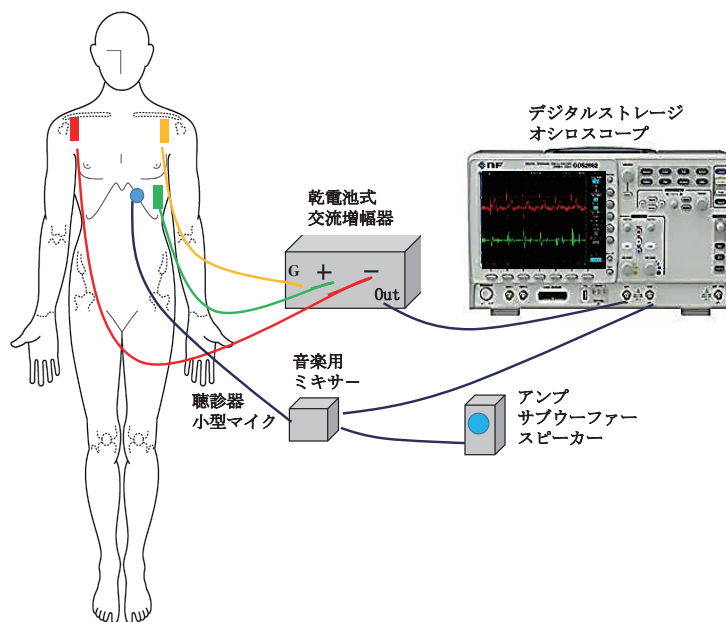


図1 心音心電TM-モデルMY19

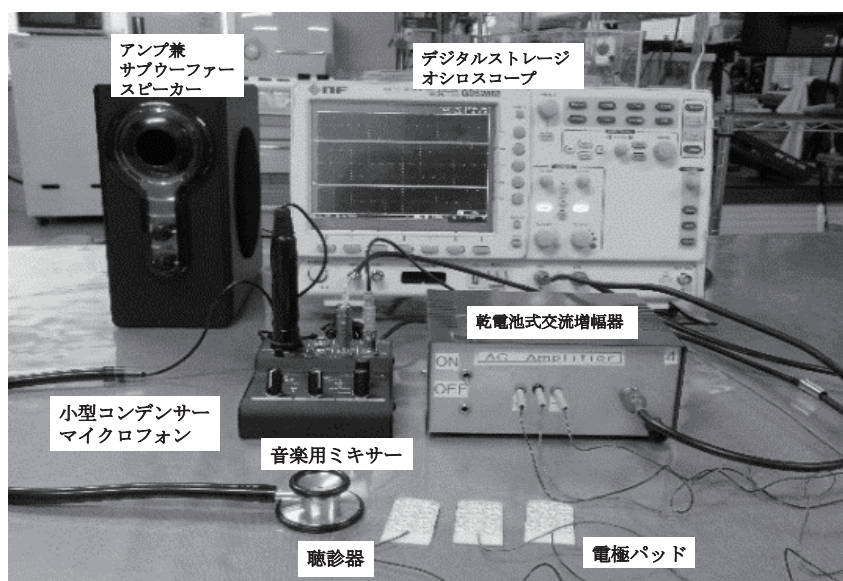


図2 実際の記録システム

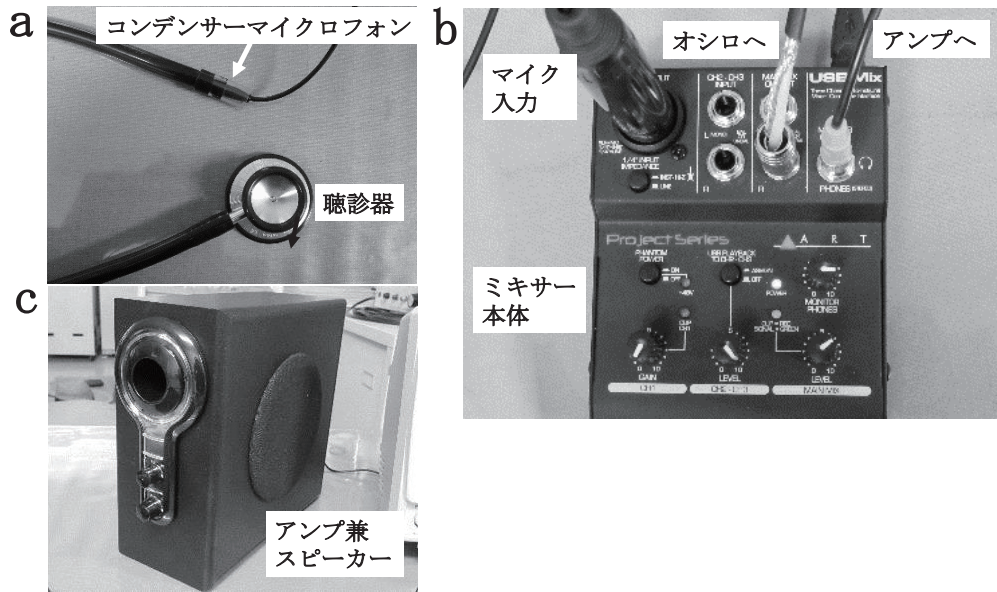


図3 心音の聴取及び心音図記録に必要な機器 a: 聴診器につながったコンデンサーマイクロフォン b: マイク入力端子と音声信号出力端子を備えた音楽用ミキサー (USB-Mix) c: 心音を聞くためのパワーアンプ兼サブウーファースピーカー

路設計ブロック社) で表示・記録した。

2. 1. 2 心電図記録部

心電図は、オランダの生理学者Einthoven (1903) によって、世界で最初に心臓から出る電気現象として記録され、現在の医療に欠かせないものになっている。本研究では、心電図を記録するため、4回路入りのJFETオペアンプ (TL084CN: Texas Instruments) を用い、初段でインピーダンス整合、中段で差動増幅、後段で電圧増幅する増幅器を自作した。中段と後段の間にあるコンデンサーと抵抗でローパスフィルターを構成した。電源には9V電池2本を用いて±9Vの両電源を供給した。電源に商用交流 (100V) は用いないことで、増幅器から体表を通しての漏洩電流による電撃 (マクロショック) を回避した。本増幅器は時定数を100ミリ秒に設定した。この値は臨床で用いられる心電計の時定数 (JIS規格では3.2秒) より小さく、得られた心電図の波形から心臓疾患を診断することはできない。そのため本増幅器は心電図波形のP波、QRS波、及びT波の出現タイミングを知るための理科実験用計測器としての使用に限定した。心電図は、増幅器からの出力信号をデジタルストレージオシロスコープに入力し、ストレージ波形を写真撮影して記録した (図1, 2)。

記録電極の電極パッドには、心電図モニター用ディスプレイ電極 (Vビトロード: 日本光電) (図2) を用いた。この電極はAg/AgClの粘着性ゲルでできており、粘着力のある間、使用が可能である。心電図は臨床現

場では通常、標準12誘導で記録されるが、本研究では、簡易計測法であるモニター心電図の第II誘導で記録した (図1)。プラス電極は左季肋部 (左脇腹の肋骨の下端)、マイナス電極は右鎖骨下、アース電極は左鎖骨下に貼った。電極パッドのリード線は、増幅器の-端子と+端子に、またアース線はグランド端子に入力した (図1, 2)。

2. 2 開発・制作した教材機器の予備実験

開発・制作した教材機器の実用性を確認するため、健康なヒト (著者の1人の吉野正巳) の心臓を実験対象とした。

2. 2. 1 心音の聴取と心音図の記録

聴診器を胸壁に置き、心音をスピーカーで聴取した。同時にミキサーの出力端子から導いた信号をデジタルストレージオシロスコープに入力し、心音図を記録した。波形高の大きいI音と波形高の小さいII音の波形が記録された (図4)。I音は房室弁の閉鎖、II音は動脈弁の閉鎖時に呼応する音として知られており、本測定システムでスピーカー音として聴取できることが確認できた。I音とII音の連続音を擬音語で「ドクン」と表現し、I音を「ドクン」の「ドッ」、II音を「ドクン」の「クン」とした。

2. 2. 2 心電図の記録

心電図の導出は、モニター心電図の第II誘導法を用いた。小さい山型で上に振れる心房興奮のP波の後、

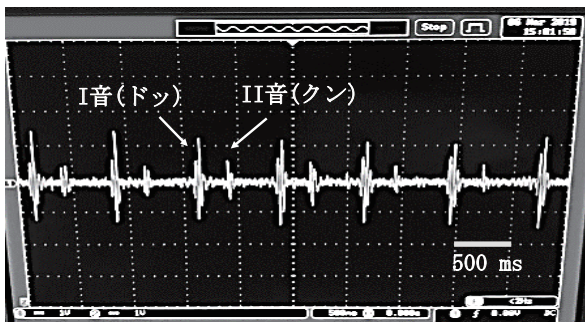


図4 心音図の記録

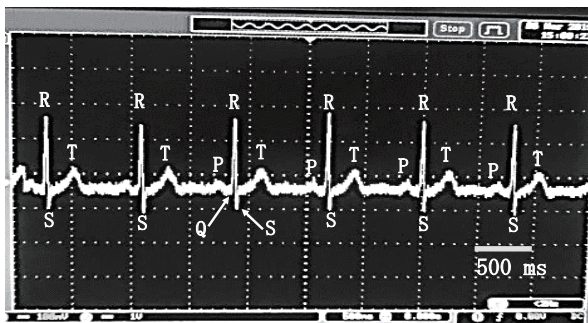


図5 心電図の記録

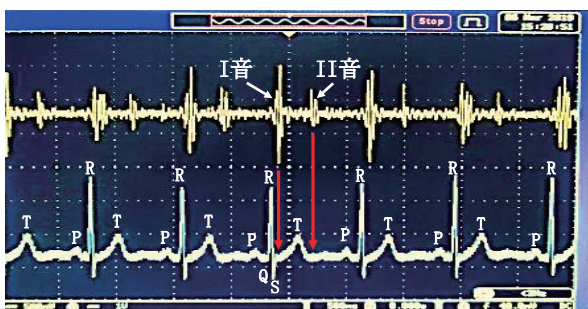


図6 心音図と心電図の同時記録 上段：心音図，下段：心電図

急峻な振れの心室の初期興奮であるQRS波が、さらにST（心室の持続興奮）の時間において心室の再分極相に対応するなだらかな山型をしたT波が記録できることを確認できた（図5）。但し、Q波は明瞭な下向き小さな振れとして確認できない場合があった。

2. 2. 3 心音図と心電図の同時記録

心電図を記録している状態で、さらに心尖部（第五肋間左鎖骨中線上）に聴診器をあて、心音図を追加し、心電図と心音図の同時記録を試みた（図6）。心電図と心音図の同時記録から、房室弁の閉鎖音であるI音がQRS群の終末にあること、動脈弁の閉鎖音であるII音がT波の終末部分にあることが確認された（図6、赤の矢印）。

2. 2. 4 実用性の確認

実験の結果、開発・制作した教材機器（心音心電TM-モデルMY19）は、デジタルストレージオシロスコープを用いて心音図と心電図を同時に可視化できることが確認できた。従って、中学校の授業実践での使用が可能であることが示された。

3. 中学校での授業

3. 1 ICSTシステムを用いた授業の指導方針

本授業では中学校の第2学年「動物の体のつくりと働き」の「生命を維持する働き」の単元において、生徒に形成させる科学概念として、「心臓の拍動の仕組み」を到達目標とする最上位に位置づけた。そして、生徒にこの概念を形成させるため、心臓の弁の働きと心房・心室の興奮（収縮）との関係性を時系列的に理解させ、心臓の構造と機能の関連を理解させる。この最上位の概念を論理的に導くため、6つの概念を抽出し、階層的に配置する。そして、生徒がより上位の概念を形成するため、5つのフォーカス・クエスチョンを設定した（図7）。概念形成の流れを示すコンセプト・フローは、原田ほか（2018）の手法に基づき作成した。また、それをもとに指導チャートを作成した（図8）。指導チャートとは、研修内容や授業内容、概念（授業の各過程で理解させたい科学的概念）、フォーカス・クエスチョン、プロセス・スキル、指導者の働きかけ、研修受講者や児童・生徒の活動、児童の評価の列からなる。そして、授業を実施するため、1校時ごとの学習指導案を作成する。プロセス・スキルは、研修受講者や児童・生徒がフォーカス・クエスチョンに答え、上位の概念を形成する際に用いる、問題を解決するための技法である（表1）。

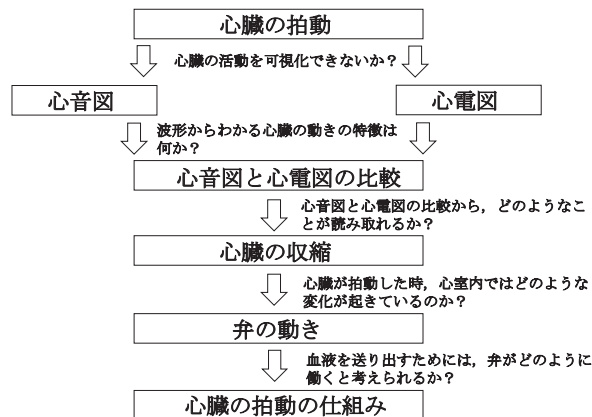


図7 「心臓の拍動の仕組み」の授業のコンセプト・フロー

過程	概念 (コンセプト)		フォーカス・クエスチョン	プロセス・スキル	指導者の働きかけ (資料の提供)	生徒の活動	評価
	タイトル	内容					
展開 I	心臓の拍動	心臓の拍動	心臓の活動を可視化できないか	①, ②	・聴診器の使い方および心臓の位置を図示する ・どのように聞こえたか ・聞こえた音を別の見方で知る方法はないか	・自分の心臓の位置を探す ・聞こえた音をオノマトペで表現する	・心臓の位置を把握できたか
展開 II	心音図	心音図波形の構成	波形からわかる心臓の動きの特徴は何か	①, ②, ④	・オシロスコープの使い方を実演する ・心音図から、どのような特徴が見られるか ・心臓から聞こえる音のセットに気づかせる	・図や手などを用いて心臓の部位や動きを表現し、どのようなときに音が聞こえているかを示す ・オシロスコープを操作する ・心音図から、「ドクン」がどのように示されているか説明する	・オシロスコープを操作できたか ・心音図の波形とスピーカーからでる音を関連づけることができたか
	心電図	心電図波形の構成	波形からわかる心臓の動きの特徴は何か	①, ②, ⑦	・心臓の活動電位を測定するために、これまでにどのような経験があるか ・心電図から、どのような特徴が見られるか ・他グループの心電図と比べ、再現性に気づかせる	・これまでの経験から、電極パッドをどのように貼るとよいか話し合う ・心電図から、どのような特徴が見られるか説明する	・オシロスコープを操作できたか ・心音図の波形とスピーカーからでる音を関連づけることができたか
展開 III	心音図と心電図の比較	心電図と心音図の比較	心音図と心電図の比較からどのようなことが読み取れるか	②, ⑤, ⑦	・心電図の読み方を図示する ・弁の役割と心音図から、心室の収縮と弛緩の時間差に気づかせる	・心電図の読み方を理解する ・オシロスコープを操作する	・オシロスコープを操作できたか ・心音図の波形とスピーカーからでる音を関連づけることができたか
	心臓の収縮	心臓の収縮	心臓が拍動したとき、心室内ではどのような変化が起きているのか	⑧	・心電図の波形から、より具体的な心室の動きを捉えさせる	・心電図と心音図を比較し、表現する	・オシロスコープを操作できたか ・心音図の波形とスピーカーからでる音を関連づけることができたか
	弁の動き	弁の動き	血液を送り出すためには、弁がどのように動くと考えられるか	⑧, ⑨	・心室の動き (働き) と血液の流れから、弁の存在に気づかせる	・心室の動きと血液の流れについて考える	・オシロスコープを操作できたか ・心音図の波形とスピーカーからでる音を関連づけることができたか
	心臓の拍動の仕組み	心臓の拍動の仕組み	心臓が拍動しているときに、心臓はどのように動いているのか	⑦	・心音図と心電図から、拍動による心臓の動きのサイクルはどのように考えることができるか ・拍動の規則性など、心臓の精巧さに気づかせる	・心音図と心電図から、心臓の運動サイクルについて考える	・オシロスコープを操作できたか ・心音図の波形とスピーカーからでる音を関連づけることができたか

図8 「心臓の拍動の仕組み」の授業の指導チャート

表1 プロセス・スキル

プロセス・スキル (原田ほか, 2019)

- ① 観察
- ② 情報の収集・評価・伝達
- ③ 予測
- ④ 問題の明確化
- ⑤ 仮説の設定
- ⑥ 観察・実験の計画・実行
- ⑦ データの分析・解釈
- ⑧ モデルの作成
- ⑨ 仮説・モデルの再評価・検証

3. 1. 1 コンセプトとフォーカス・クエスチョン
「心臓の拍動の仕組み」を到達目標としての最上位の概念とした。「心臓の拍動」を最下位の概念とし、最初のフォーカス・クエスチョンを「心臓の活動を可

視化できないか」と設定した。生徒間の討論により、聴診器で心拍に伴う心臓の音を聴取する方法が提案された。授業者は、「音を別の見方で知る手立てはないか」と生徒に補助的に問いかけ、波形として示せるこ

とを伝える。そこで次のコンセプトを「心音図」とした。音を波形で示すことができるオシロスコープを紹介し、I音とII音を区別できることを生徒に確認させる。

心臓の活動を可視化するもう一つの方法を、生徒の既存の知識から、同位のコンセプトとして「心電図」の概念を引き出させる。「心電図」について、福井県総合教育研究所から遠隔配信により、その記録方法を説明し、記録波形から心房と収縮の収縮期、拡張期を知ることができること等を生徒に理解させる。この後に、生徒に心電図の波形の特徴を記録させる。そして、フォーカス・クエスチョンとして「波形からわかる心臓の動きの特徴は何か」とし、心音図と心電図の2つの特徴の違いを認識させる。次のコンセプトを「心音図と心電図の比較」とし、フォーカス・クエスチョンとして「心音図と心電図の比較から、どのようなことが読み取れるか」と設定した。ここで生徒は、両者の波形データを基に、データの分析、解釈、仮説の立ち上げなどのプロセス・スキルを体験し、心臓の拍動の仕組みを考察することになる。

次に、心電図からより具体的な心室の動きを捉えさせるため、コンセプトとして「心室の収縮」、その上位の概念に「弁の動き」を設定し、フォーカス・クエスチョンとして「心臓が拍動したとき、心室ではどのような変化が起きているのか」、「血液を送り出すためには、弁がどのように動くと考えられるか」をそれぞれ

設定した。これにより、生徒は心臓の拍動時に起こっている心室での出来事と弁の動態を時系列的に確認し、本授業の到達概念としての最上位の概念の「心臓の拍動の仕組み」を心室の収縮と弁の動きのサイクルから考察する。これらのフォーカス・クエスチョンに応ずる過程で、生徒は「モデルを構築し、利用する」、「データを分析し、解釈する」、「科学的根拠に基づいて議論する」などのプロセス・スキルを用いることになる。

3. 2 中学校における授業実践

3. 2. 1 授業概要

2018年11月27日（火）に福井県芦原中学校の第一理科室にて授業を行った。対象生徒は1年生19名、2年生2名の計21名である。実験は生徒5～6名を一組とし、4班構成で行った。各班ごとに、デジタルストレージオシロスコープ、増幅器、聴診器、電極パッド、アンプ・スピーカーを配布した。授業者（著者の一人の朝日俊介）と福井県教育総合研究所の著者の一人の勝木知昭がスカイプを使った遠隔配信（中村ほか、2017）により、実験に使用するデジタルストレージオシロスコープの機器操作方法、心音図と心電図、それぞれの記録方法、及び読み方などの説明を授業進行の途中で随時行った。授業は、導入5分、展開36分、まとめ2分、振り返りシート5分の時間配分で実施した（図9）。振り返りシートは、福井県の学校で

時間	学習内容	板書事項・質問*等 *「 」内に示した	生徒の学習活動	指導上の留意点・評価等
導入 5分	心臓の位置の確認 心臓の動きと弁の開閉（デジタル教科書利用） 心臓について学ぶ	心臓の位置を示したイラストを掲示 「知っている部分や動きがないか」 ヒトの心臓について調べよう【板書】 「心臓について調べたいか？解剖はできない」 「心臓を調べる装置や方法を知っていないか」 「お医者さんはどうやって調べている」 「机の上の実験器具で分かるものがあるのではないか」	各自が自分の心臓の位置を確認 聴診器	心臓の位置と4つの部屋の名称を確認させる
	聴診器による心音の測定 サイエンスラボ、遠隔配信の紹介 聴診器とスピーカーの使い方について 遠隔配信（3分） 聴診器で心音を聞く 心音を波形にする オシロスコープの使い方について遠隔配信（3分） 心音図の測定（5分）	実験：①聴診器で心音を聞こう【板書】 「どのように聞こえるか」 「音を別の方法で表すことができないか」 実験：②オシロスコープで心音を波形にしよう（心音図）【板書】 「今、「ドクン、ドクン」となっているけれど、これは何の音だろうか」 「心音図以外に心臓の動きを可視化する方法はないか」 「心臓の状態を診察する時、こういった検査をしているかな」	聴診器で全員が自分の心音を聞く ドクン 波形 代表を一人決め、心音図を測定する グループで考えて発表する 心電図	波形をiPadで写真撮影してテレビに映し、波形に再現性があることを確認させる 「ドクン」と心音図の2つの波形のピークが同時であることに注目させる AEDの紹介
展開 36分	電極の貼り方や心電図の測定法について遠隔配信（3分） 心電図測定（5分） 心電図から読み取れることについて遠隔配信（3分） 心音図と心電図の波形の比較から、「ドクン」の音が弁の閉鎖音であることを理解する	実験：③心電図を測定しよう【板書】 「心音図と心電図を比べると、どのようなことが分かるか」 「ドクン」は何の音だろうか	代表を一人決め、心電図を測定する グループで考え、発表する	心電図の波形をiPadで写真撮影してテレビに映し、PQRSTの波に規則性、再現性があることを確認させる 心音が、心室が収縮した後に becoming になっていることに気付かせる
	医療への応用や心臓の働きについて説明し、本時の学習をまとめる 5 振り返りシートの記入		考えたこと、感想をシートに書く	時間があれば発表させる
まとめ 7分				

図9 授業の流れ（指導案）と時間配分（指導案）

用いられている方法で、理科の実験授業後の生徒に、実験や授業に対して、彼らの取り組み、理解度などを問いかけ、文章により答えさせるものである。

3. 2. 2 生徒の活動

授業の導入部で、授業者は黒板にヒトの心臓の位置をイラストで掲示し、これを参考に生徒各自がまず自分の心臓の位置を確認した。次に授業者は、生徒にヒトの心臓を調べる手立てを問い、聴診器による心音の聴取方法があることに気づかせた。ここで、福井県教育総合研究所から遠隔配信により、聴診器とスピーカーの使用方法を伝えた (図10a)。生徒は、授業者の指示に従い、聴診器で各自の心音をスピーカーで聴取した。授業者は、聴取音を擬音語の「ドクン」に例え、I音を「ドッ」、II音を「クン」に対応させ、I音とII音が対になっていることを確認させた。次に、授業者は、「音」を別の方法で表記できないかと生徒に尋ね、波形で示せることに注目させ、波形表示のた

めの道具として、デジタルストレージオシロスコープがあることを紹介した。福井県教育総合研究所から遠隔配信によりデジタルストレージオシロスコープの使用方法を解説した。生徒は、これに基づき心音図の記録に着手し、I音とII音の記録を行うことができた。そして、「ドクン」がI音とII音に対応していることを確認した。

授業者は、各班で取得された心音図をiPadで写真撮影し、大型テレビに映し、I音とII音の波形に再現性のあることを確認させた (図10b)。次に授業者は、ドクンの音が何の音であるのかを生徒に問いかけ、いくつかの考えを引き出した。生徒から血液の流れる音、心臓が動く時の音、そして弁の音などの意見が出た。そこで授業者は、ドクンの意味をさらに明らかにするため、心音図以外に心臓の働きを可視化する方法がないかと生徒に問いかけ、心電図の存在に気付かせた。ここで福井県教育総合研究所から遠隔配信により心電図を説明し、その記録方法を説明した (図

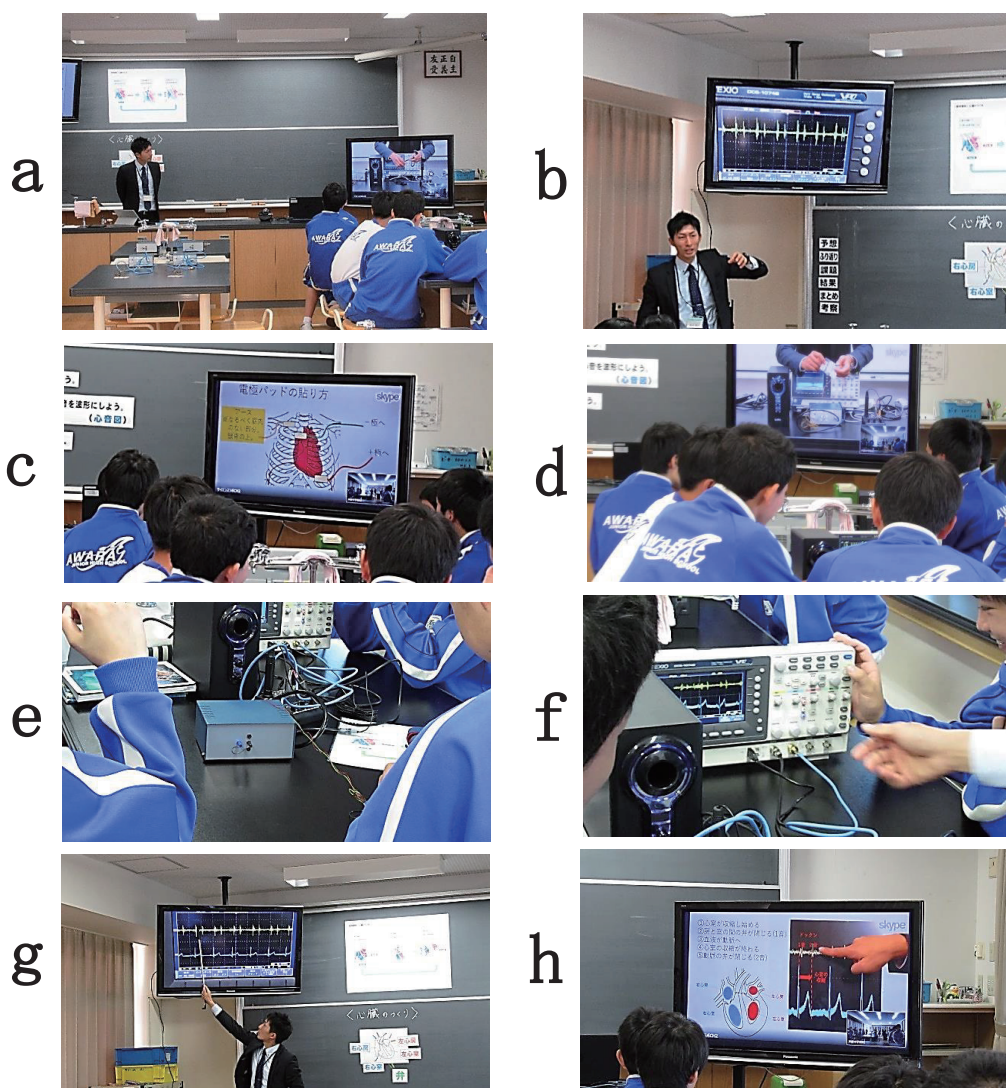


図10 授業の流れ

10c, d)。生徒はこれに従い、心電図の記録に挑戦した。どのグループもノイズの少ない安定した心電図の記録に成功した(図10e, f)。

授業者は記録が取れた班の心音図と心電図の同時記録波形をiPadで撮影し、大型テレビに映して、両波形の位置関係に規則性、再現性のあること確認させた(図10g)。福井県教育総合研究所から、遠隔配信により心電図の最初の小さな山(P波)は心房の収縮の合図であること、次に現れる急峻な波(QRS波)は、心室の収縮の合図であること、最後に現れる緩やかな上向きの波(T波)は心室収縮の終了の合図であることを解説した。

授業者は、この説明を受け、生徒にQRSが出てからI音が出ること、及びT波が出た後にII音が出ることから、「ドクン」の音は、心室の収縮の音ではないこと、また血液の流れの音でもないことを説明し、弁の閉鎖音に対応している可能性を説明した。

最後に、福井県教育総合研究所から遠隔配信により、心音図と心電図の波形の位置関係から、心室が収縮して血液を押し出すときは、房室弁が閉じている必要があること、心室がゆるんで血液をためる時は、動脈弁が閉じている必要があることを心臓のイラストを使いながら解説し、「ドクン」が心臓の弁が閉じる時の音であると解釈すると波形データを矛盾なく説明できることを説明した(図10h)。

3. 2. 3 生徒の反応

授業実践後、生徒全員に「振り返りシート」を渡し、以下の4つの質問調査を行った。①心臓の働きについて探ろうと、意欲的に課題に取り組もうとしましたか②実験装置や波形を読むことなど、新たな科学的方法を知ることができましたか③心音や心臓の動きについて、自分なりに考えることができましたか④今回の実験を通して、自分の心臓について知ることができましたか。そして、振り返りシートの最後に、心音図、心電図を見て思ったこと、全体を通して思ったことを自由記述させた。①から④の質問事項の自己評価に対しては、4.32～4.50/5.00の高い値が得られた。自由記述は、～がおもしろかった、～がすごいと思った、～に驚いた、というように情緒的な感想を述べた記述が多い傾向が見られた。一方、「心音を波形にするとわかりやすくなると思った」、「オシロスコープを用いて音や電気信号を波形で表すとわかりやすいと思った」、「オシロスコープがすごいと思った」など、オシロスコープの計測器としての有用性に気づく記述が多く見られた(図11)。

4. 議論

4. 1 開発・制作した機器について

4. 1. 1 教材としての機器

本研究で開発・制作した機器(5台)を用い、中学校の教室において心音の聴取及び心音図と心電図の同時記録ができることがわかった。心音の聴取時にハウリングの問題が生じたが、音量を小さく調整することで解決した。心電図記録では、商用交流(50Hz)の混入はあったが、小さなP波、大きなQRS波とT波の識別は可能でデータ解析に問題は生じなかった。どのグループも心音図と心電図の同時記録に成功したので、本開発機器が学校現場において十分使用可能であることが示された。本授業では、波形表示の機器としてデジタルストレージオシロスコープを用いたが、ノートパソコンをオシロスコープとして使用できるソフトを用いても可能である。

心電図の誘導は、モニター心電図の第II誘導で行ったため、電極パッドの貼り付け部位を胸部の3点とした。このため電極パッドの装着はスムーズに行われた。通常、成人の健康診断で行われる心電図検査は、横臥位で行われるが、今回の授業では座位の姿勢で行った。また、電極パッドも各人が衣類の下側から、あらかじめ決めた位置にスムーズに装着したため、電極装着に伴う問題は起きなかった。胸部への電極装着に困難がある場合は、左右の手首から導出することも可能である。この場合、波形高が減弱するが、PQRSTの出現タイミングは測定可能である。

4. 2 指導法について

4. 2. 1 科学的思考力による問題解決型の授業実践

本授業では、この単元で生徒が形成すべき科学概念を「心臓の拍動の仕組み」とし、コンセプト、コンセプト・フロー、プロセス・スキルを含む指導チャートを作成し、これを基にした授業実践を試みた。実際の授業は、1校時の授業時間で完結するよう計画したため、図9に示した流れと発問によって展開した。

4. 3 生徒の理解についての評価

4. 3. 1 実施時間の評価

本授業を行うにあたり作成した指導チャートでは、「心臓の拍動」を下位の概念とし、到達とする最上位の概念を、「心臓の拍動の仕組み」とし、生徒が拍動による心臓の動きのサイクルを心室の収縮と弁の動きの関係から理解できることを目標にした。しかし、1校時(50分間)の授業の時間内で、心音のスピー

質問1	心臓の働きについて探ろうと、意欲的に課題に取り組もうとしましたか。
質問2	実験装置や波形を読むことなど、新たな科学的方法を知ることができましたか。
質問3	心音や心臓の動きについて、自分なりに考えることができましたか。
質問4	今回の実験を通して、自分の心臓について知ることができましたか。
<p>○心音図を見たところまでで思ったこと</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本当に心臓の音が「ドクン」ってなるんだなと思った。 ・自分の心音を聴診器で聞くのは初めてだったので面白かった。 ・心臓の音をまじかで聞いたことがなかったので、いい経験になった。 ・実際に自分の心音を形にしてみると、詳しく知ることができた。 ・いつもどくどく鳴っている音はこんな働きをしていると知ってすごいなと思った。 ・意外と同じでゆっくりだった。 ・緊張したりすると音が早くなると分かった。 ・普段心音を聞かないから、心音が聞けて良かった。 ・規則正しく動いていることを自分で確かめることができた。 ・オシロスコープの波形を見るのが新鮮だった。 ・生まれたときから自分の身体の中にある心臓を学ぶことができた。 ・よく病院で見るやつを自分でやることで面白かった。 ・いつもこんな風に心臓が動いているなど強く感じた。 ・心音を聞いていて、生きているなど強く感じた。 ・一定時間が経つ度に同じ波形で動いていた。 ・心音を波形にすると分かりやすくなると思った。 ・心臓は一定で動いていて健康だと思った。 <p>○心電図を見るところまでで思ったこと</p> <ul style="list-style-type: none"> ・決まったリズムで動いているなんてすごいと思った。 ・運動して動いていることを改めて知ることができた。 ・心電図を見て弁からも音が出ると気づいた。 ・心音と心電図の波形に差があることを初めて知った。不思議だと思った。 ・心臓の音はリズムが変わらなかった。 ・少しずれていて不思議に思った。 ・中学生でも学べば心電図を作ることができることに驚いた。 ・人それぞれ違うようでよく似ている。 ・規則正しく動いていた。 <p>○全体を通して思ったこと</p> <ul style="list-style-type: none"> ・最初は心臓の音だと思っていたが、弁の音だと知ってびっくりした。 ・普段の授業で行うことができないような実験をすることができた。 ・今回の機械を初めて使うことができて良かった。 ・オシロスコープの波形で表すと分かりやすかった。 ・自分の心音の波形を見るのが楽しかった。 ・心臓のつくりが分かった。 ・大学からこのような機械を借りて貴重な体験ができてよかった。 ・心音は人によって個人差があることを知りました。 ・自分で自分の心臓の音を聞くことはいい経験だった。 ・初めて医学に触れることができた。医学はすごいと思った。 ・初めて自分の心臓の音を聞いて、生きている証だと思った。 ・病院では患者さん一人一人にこんなことをしてるのすごいと思った。 ・オシロスコープがすごいと思った。 ・理科の実験は自分の考えを新しくすることができるんだと思いました。 ・将来看護師を目指している私にとってとても貴重だった。 ・心臓を解剖しなくても、機械で心臓を学べてすごいと思った。 ・普段健康診断で心電図を見ていたが、改めて心電図の凄さが分かった。 ・今まで心音が何なのかについて考えたことがなかった。 ・自分の波形が弱いので不安になった。 ・自分の心臓の音を聞いて考えさせられるものがあった。 	

図11 振り返りシートの結果

カーによる聴取、心音図、心電図の記録に時間の多くを費やしたため、授業の最後に設定した考察とまとめの時間は短くなった。そのため、「心臓の弁の動きと、心房・心室の収縮との関係性」の考察は授業者による説明で終わった。これは、今回の授業を1校時で完結させるよう授業設計したためと考えられる。生徒の考

察とまとめの時間を確保するためには、2校時の授業で実施するのが良いことが示された。

4. 4 授業内容の理解度の評価

生徒は、スピーカー音で聴取した心音は、I音とII音からなること、これら2音は、常に一定頻度で現

れ、しかも対になって聞こえることに気づくことができた。そこで、I音を「ドッ」、II音を「クン」と音表記して心音の特徴を掴むことができた。生徒は、すでに中学1年時に、音の学習をしており、音はオシロスコープで波形表現できることを学んでいる。そのため、I音とII音が、心臓の活動に伴って発生する「何かの音」であることを認識できた。そこで、本授業では、この「ドクン」の音が何の音だろうかと問いかけ、それを知る手立てとして心臓の活動を心音以外に可視化する方法はないかをさらに問いかけた。そして生徒間の話し合いの中から心電図が出たため、これを取り上げ、心電図とその記録方法を説明し、測定にとりかかった。

心電図は心臓の興奮に伴って生ずる心筋の活動電位を記録したものである。従って、活動電位や筋収縮の学びがない中学校の段階で、心電図波形の意味を理解するのは困難である。そこで、本授業では、心電図波形について、以下のような説明を行い、波形データから演繹的な考察ができるようにした。

- ①P波は、心房の収縮の合図である。この時、心房が収縮する。従って、P波が出ているときは、心房から心室へ血液が送られている。
- ②QRS波は、心室の収縮開始の合図である。この時、心室の収縮が始まる。T波は心室の収縮の終了の合図である。従って、QRS-Tの間、心室が収縮している。すなわち、QRS-Tの間、全身に血液が送られている。

以上の知見を踏まえて、「ドクン」の音が何の音であるのかを、心音図と心電図の同時記録を行い、両者の波形の比較から、考察することにした。心音図と心電図の同時記録により得られた両波形の位置関係から読み取れる主な内容は以下のようなものである。

- ①I音は、QRS波の終末、II音はT波の終末に一致して発生している。
- ②QRS波は、心室の収縮の始まりの合図、T波は心室の弛緩の始まりの合図である。従って、QRS波の後に生ずるI音は、心室の収縮の初期に出る音であり、T波の後に生ずるII音は、心室の弛緩（拡張）の初期に出る音である。
- ③I音II音をそれぞれ「ドッ」「クン」と表現すると、「ドクン」は心室の収縮期に、「クン」と次の「ドッ」の間が心室の弛緩（拡張）に相当する。

以上の知見に基づいて、I音の「ドッ」は、心室が収縮を開始した直後に、血液が心房に逆流しないように房室弁が閉鎖（もしくは大動脈が開口）するタイミ

ングに一致して出る音であること、II音の「クン」は、心室の弛緩が開始した直後に、血液が動脈に逆流しないように動脈弁が閉鎖（もしくは房室弁の開閉）するタイミングに一致して出る音であることが予測される。すなわち、I音、II音は、心臓の弁が開閉するときに発する音であることが演繹的に推論される。生徒は、ヒトの心臓が4つの部屋（左右の心房と心室）からなることは習っている。しかし、房室弁や動脈弁の構造についての知識は持っていない。そこで本授業では、導入の5分の中で、心臓の1サイクルの動きの中で、房室弁と動脈弁の場所とそれらに出入りする血流と、それに伴う房室弁と動脈弁の開閉の様子について、説明を行った。「振り返りシート」で示されたある生徒の記述では、「心電図と心音の鳴るタイミングがずれているのが不思議だと思った」、「少しずれていて不思議に思った」との感想が見られる。これは、生徒が、心音と心電図の位相のずれに気づいたが、その意味にまで理解が及ばなかったことを示している。この位相のずれの「気づき」は科学的思考力の芽生えであり、両波形の読み方ができれば、データの分析から仮説を構築できた可能性を示唆する。これは、フォーカスクエストで問われたことにより、導かれた「気づき」で、ICSTシステムを用いたことにより、科学的論理性が形成された可能性が高い。「振り返りシート」の質問内容は、「～で思ったこと」であったことから、記述内容は本授業実践における情緒的な感想が多く、本授業で育成を目指した「科学的思考力」がどのように変容したのかについて検討することは困難であった。

今回の授業では、ICSTシステムを用いた授業において、概念の形成とその理解を評価するために行うチェックテストを実施しなかった。そのため、生徒の理解度を厳密に評価できなかった。今後、「波形からわかる心臓の動きの特徴について理解できたか」、「心音図と心電図の比較から読み取れることを理解できたか」などのチェックテストを実施し、生徒が、波形データの観測事実を基に、心臓の収縮とそれに伴う心音の発生との関係を論理的に考え、それを文章として表現できたかについて、調査する必要がある。

5. 発展性について

5. 1 高校生物への発展

この授業では、ある生徒が心音聴取中に、緊張すると心音の音が早くなることに気づいた。この気づきに着目すれば、生徒は心臓拍動の自律神経系による調節

制御の理解に繋げることができる可能性があることを示している。心電図上では、R-R間隔の逆数、心音図上であればI音と次のI音の間隔の逆数をとれば心拍頻度が示される。生徒は、これらの数値を指標にして、静止状態と運動状態との比較、ストレス負荷前後の比較が可能となり、実証データに基づいて自律神経系による制御機構を考察することが可能になる。

高等学校の「生物基礎」において、中学校では扱わなかった「洞房結節」と「ペースメーカー」が扱われる。心臓拍動は洞房結節から発せられる電気信号（活動電位）が起点となる。この部位の細胞の自発性活動電位が、心臓拍動を統括し、心房収縮から最適化された時間差で心室収縮へと導くが、心電図上には現れない。洞房結節を基点とする「刺激伝導系」の概念導入は現行の高校教科書には見られないが、心臓機能の根幹にある構造であり、自律神経系の標的にもなっていることから、今後、高校生物への導入が期待される。小境（2021）は、東京学芸大学附属高等学校において、本測定機器を用い、高校1年生を対象に2021年9月に演習実験を、11月に授業者による演習と、希望する生徒2～3名を募って心音図と心電図の同時記録実験を行った。その結果を分析、考察させ、生徒の記述回答を、計算テキスト分析ソフトウェアで解析した。その結果、生徒は興奮一心臓の収縮の連関、心弁一心音の関係を理解し、心臓興奮による収縮とそれに伴う弁の開閉による心音の発生との関連を動的に捉えることができたことを示した。

5. 2 心音図・心電図を中・高等学校理科に導入することの意義

心臓の活動に伴う電気は約1秒に1回の頻度で絶えず人体の体表面を伝わっており、その大きさは約1mVに達し、心電図として、脳波や筋電図よりも容易に記録が可能である。近年、Apple社のApple Watchに心電計が搭載され、心電図はより身近な存在になりつつある。2004年、厚生労働省は一般市民によるAED（体外式自動除細動器）の使用を認め、AEDは全国に配備されるようになっていく。また、人工ペースメーカーという医療器具の存在や言葉は普及しているものの、AEDの基本原理や電極パッドの装着位置の理由、人工ペースメーカーの医療原理などの科学的な理解がなされているとは言い難い現状がある。こうした状況を踏まえると、ヒトの心電図を中・高等学校の生物分野に導入することは喫緊の課題であるといえる。

6. 結論

- (1) 中学校理科第2分野における「動物の体のつくりと働き」の単元で、心臓の拍動の仕組みを理解するため、生徒自身でデータを得て考察する装置を自作した。この装置は、心音図と心電図を同時記録する装置で、心音心電TM-モデルMY19と命名した。この装置では、心音はスピーカー音として聴取でき、かつI音とII音を波形として記録できた。モニター心電図の第II誘導で、心房興奮のP波、心室興奮のQRS波、及び心室再分極相のT波を記録することができた。心音図と心電図の同時記録から、QRS波の後にI音が、T波の後にII音が出ることを確認された。
- (2) この装置を用いて、中学校理科新学習指導要領で扱われている「心臓のつくりとその働き」において、「心臓の拍動の働き」の概念を生徒に理解させるため、ICSTシステムを用いて、授業を実施した。
- (3) 授業後に実施した振り返りシートへの生徒の記述で、心音と心電図の位相のずれに気がついた生徒がいる。この気づきをもとにその要因を探究させる展開が今後の課題になることが分かった。これは、ICSTシステムを用いた論理的な授業を実施したことによる可能性が高い。

謝辞

本研究を進めるに際し、土田義和氏には、増幅器とその医療上の取り扱いの問題、また法令上の問題について多くのアドバイスをいただいたことに謝意を表す。本研究には、科学研究費補助金（19H01665, 22K02490）を使用した。

引用文献

- Einthoven W (1908). Weiteres über das Elektrokardiogramm. *Pflügers Arch* 122: 517-584.
- 原田和雄・松川正樹・吉野正巳・長谷川正 (2018). 科学的思考力を育成する理科教員研修の体系的な構築法—指導チャートの意義—. *科学教育研究* 42 (4): 407-418.
- 原田和雄・松川正樹・吉野正巳・長谷川正 (2019). 科学的思考力を育成するための教員研修とプロセス・スキルの再検討. *東京学芸大学紀要 自然科学系* 71: 159-165.
- 長谷川正・原田和雄・松川正樹 (2017). 理科教員研修のデザイン—科学的思考と問題解決能力の育成を目指して—.

- 東京学芸大学紀要 自然科学系 69: 321-334.
- 小境久美子 (2021) 心電図と心音図の同時記録による心臓機能の理解. 東京学芸大学附属高等学校紀要 59: 37-44.
- 文部科学省 (2018a) 中学校学習指導要領解説理科編, pp.10-12. 学校図書.
- 文部科学省 (2018b) 中学校学習指導要領解説理科編, pp.89-90. 学校図書.
- 中村利幸・吉田源美・小松勇二・北島恵美子・笹木英俊 (2017). 遠隔授業の研究システムを活用した教員研修の在り方を探る—一次世代型教育研究への挑戦—遠隔授業・研究システムを活用した教員研修の在り方を探る. 福井県教育総合研究所研究紀要 123: 38-49.
- 則武千賀子・川上紳一 (2010). 体のつくりの巧みさを実感できる観察. 実験の工夫ブタの心臓の解剖を通して 第二学年「動物」の世界. 岐阜大学教育学部教師教育研究 6: 127-130.
- 岡田仁 (2008). 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): 56-58.
- 山田貴之 (2017). ブタ心臓の解剖実験の導入とその効果—中学校第二学年「生命を維持する働き」を事例として—. 生物教育 58 (2): 38-44.