



東京学芸大学リポジトリ

Tokyo Gakugei University Repository

Development of a Three-dimensional Application for Human Anatomical Education Using Augmented Reality (AR) and Examination of its Effectiveness

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2022-01-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 本間,典子, 蜂須賀,亮太, 櫛山,櫻, 南,道子 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2309/00173487

拡張現実 (AR) 技術を用いた, 人体構造の理解を深めるための 三次元教材の開発とその有効性

本間 典子*¹・蜂須賀 亮太*¹・櫛山 櫻*¹・南 道子*²

生命科学分野

(2021年7月27日受理)

HOMMA, N., HACHISUKA, R., KUSHIYAMA, S. and MINAMI, M.: Development of a Three-dimensional Application for Human Anatomical Education Using Augmented Reality (AR) and Examination of its Effectiveness. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., 73: 239-254. (2021) ISSN 2434-9380

Abstract

The study of human anatomy in three-dimensional (3D) can be challenging because educational materials are available mainly in 2D. In this study, we used Holoeyes Edu, a stereoscopic application using augmented reality (AR) technology, to develop educational materials that represent human anatomy in 3D on a smartphone or tablet, and allow students to observe it at any magnification and viewing angle they choose. The results showed that while the development of this teaching material had the advantage to be freely designed by teachers without any special computer programming skill, there are still issues to be addressed in ensuring compatibility between various smartphones and improving the operability of the screen.

A trial class for first-year students in a nursing college showed that AR class attracted the students and helped them understand advanced learning contents and increase their motivation to learn more. We believed that the further development and practical research would provide students with suitable environment where the structure of the human body could be studied in 3D on their own devices at any time and place.

Keywords: Anatomical education, 3-D computer graphics teaching aids, teaching materials development

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

要 旨

人体の立体構造を学習する課程は, 学習教材が主に2次元であるが故に様々な困難が伴う。そこで本研究では, 拡張現実 (AR) 技術を用いた立体視アプリ Holoeyes Edu を活用し, スマートフォンやタブレット上に人体の構造を3次元で表現し, 学習者の選ぶ自由な倍率と視座で観察できる教材開発を行った。本教材開発は, コンピューター言語が不要で教員が自由にデザインできる利点を持つ一方, 多様なスマートフォン間での互換性の確保と, 画面操作性が課題として残った。看護系大学の1年生を対象に行われた試行授業を行ったところ, 対象学生は, AR授業を面白いと感じ, より発展内容への理解や学習意欲が高まる一方で, ARマーカー上の連続的な観察及びゴーグルレス観察の

*1 国立看護大学校 生命科学 (204-8575 東京都清瀬市梅園 1-2-1)

*2 東京学芸大学 生活科学講座 食物学 (184-8501 東京都小金井市貫井北町 4-1-1)

実現が課題となった。さらなる開発と実践研究により、時と場所を選ばず人体の構造を3次元で学べる環境づくりが推進されると考えられる。

キーワード: 解剖学教育, 三次元教材, 教材開発

1. はじめに

元来、私たちがヒトであるがゆえに、その構造を学習する課程は小学校より始まる。学習指導要領には、小学校・中学校理科の「生命」を柱とした内容の構成において、「生物の構造と機能」は「生命の連続性」「生命と環境」と並ぶ、大項目の1つとなっており、高校生物基礎・生物においても「生物の特徴」の中で扱われる。そして、大学においては、解剖学として学習されていく。

人体の構造を理解する解剖学の学習教材を考えた時、その中心は、教科書やプリントなどの二次元 (two-dimensional, 2D) 教材である。これらの2D教材では、人体の奥行きを表現するため、対象となる構造を二方向から描いたり、俯瞰視点で描いたりしている。しかし、それらの視点は、教授したい内容に即して多くの教科書で固定され、かつ似通っている。そのため、学習者は、三次元 (three-dimensional, 3D) である身体の自然な丸みや立体的な位置関係を想像しにくいことが課題となっている。古来より、3Dの人体を立体的に学ぶ教材として、人体模型が使用されてきた。しかし、模型は、筋系のように多層を成す構造や、血管や神経系のように全身で網目を成す構造の再現は難しい。また、模型は、購入後に縮尺倍率やパーツの変更はできず、学習者が倍率やパーツを自由に変更して人体を学ぶことには限界がある。もちろん、専門的な学習で使用できるほど精巧に作製されている模型も存在するが、一般に非常に高価であり、学習者数に対して十分な数を用意することは困難である。そして何より、欠けたり壊れたりしたときの修理費も高く、いい状態での維持管理も課題となる。このような背景の中、学習者が、3Dの人体を3Dのままに、自由な視座と倍率で観察できる安価な教材が求められていた。

昨今、立体教材を作成する技術として注目されているものとして、仮想現実 (Virtual Reality) や拡張現実 (Augmented Reality) 等のX-R技術がある。X-R技術で最も早く開発されたVR技術は、「VR元年」と呼ばれる2016年ごろより開発が本格化し、低価格のVR機器が発売されており、学生にとってもVR技術が身近になりつつある。また、AR技術は、スマートフォン

等の小型で高性能なコンピューターの一般化により、「Pokémon GO」等のアプリを通して一躍注目を集め、スマートフォンユーザーにとって魅力的な技術となってきている¹⁾。

そこで本研究では、XR技術の中でもAR技術を用いて、スマートフォンやタブレット上に人体の構造を立体的に表現し、学習者の自由な視座で観察できる教材の開発を行う。今後の教材開発の課題および教育実践にむけた展望を考察することにした。

2. 用語の定義

2. 1 仮想現実 (VR)

ソフトウェアを使用し、作成された没入型のシミュレーション環境²⁾である。つまり本論文では、現実とは別のシミュレーション環境で現実と同様に没入することができるものと定義する。

2. 2 拡張現実 (AR)

デジタル情報を使用して使用者の現実を拡張すること³⁾とされている。つまり本論文では、現実の空間にデジタル情報を追加し現実の物体と同時にデジタル情報を観測できるものと定義する。

2. 3 ヘッドマウントディスプレイ (HMD)

本論文では、頭部に装着する映像媒体と定義する。具体的に使用するものは、スマートフォンを装着した状態の簡易VRゴーグルとなる。

3. 学習対象者

本研究では、具体的な学習対象者として、看護学部で人体の構造と機能を学ぶ1年生を選んだ。なぜなら、将来職業に従事する際に解剖学的視点での知識や技術が不可欠であるにも関わらず、解剖実習がないなど、立体的に学ぶ機会が少ないからである⁴⁾。また、X-R技術は、近年医療の分野でも注目を集めており、Healthcare Information and Management Systems Society (HIMSS) は、2019年のヘルスケアトレンドとしてVR/ARを用いた日常的な治療を取り上げている⁵⁾。実際、医療の現場ではCT等の画像診断をもとに3D

本間, 他: 拡張現実 (AR) 技術を用いた, 人体構造の理解を深めるための三次元教材の開発とその有効性

モデルを作成し, VRやARを使用した医療用ナビゲーションシステムが導入し始めており⁶⁾, カンファレンスや患者への術式説明でも活発に活用され始めている⁷⁾. よって, これからの医療を支える看護学生に対して, X-R技術を用いた人体の立体視教材を開発し活用することは, X-R技術に慣れ親しむためにも有用であると考えられた.

4. 拡張現実 (AR) 教材の開発

本研究で開発する教材モデルは, 対象学生には発展学習となる「看護の専門技術の理解に有用な人体モデル」を設定した。なぜなら, 看護の専門技術に関する3D教材を開発し, 発展学習を行うことにより, 専門技術が未履修の1年生にとっても, 人体の構造を学ぶ意義を知り, 発展的な興味を高める機会となると考えたからである。今回, 数ある専門技術の中から選ばれたのは, 「注射」である。注射は, 安全に実施する上で, 解剖学的視点での知識と立体的な構造理解が必要な技術の一つである⁸⁾。実際, 筋肉注射や皮下注射の技術習得上の課題として, 注射法の特徴に応じて安全な部位や角度・長さの根拠の理解が必要であることが示唆されている⁹⁾。専門課程で履修する注射技術の演習では, 侵襲性が高いため生体での実施には制限があり, 通常はモデル人形に対して実施される。モデルは皮下の構造や注射部位の周辺組織の再現はなされないため, 学習者は演習を通じて十分な解剖学的視点での理解を得ることは困難であるとされる。そこで, 注射部位とその周辺構造を含むモデルを作成すれば, 専門

課程でも事前学習に取り入れることができるので, 開発する意義があると考えた。

今回の対象となる1年生は, 前期で心臓血管系, 骨, 筋と支配神経についての系統別学習を終了しており, 注射部位の学習素地はあるものと考えた。

4. 1 システム概要

本教材はスマートフォンを用いたAR用ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を使用し, 三次元で注射部位を理解するための教材開発を行った。また, 本教材は現実世界に配置されたARマーカーをもとに3Dモデルを表示し, ワークシートを使用することによって体系的段階的に理解を深める内容を目指した。以後製作に使用したソフトウェアとハードウェア, 本教材の機能説明を記載する。

4. 1. 1 ソフトウェア構成

開発ベース: Unity version. 2019.2.21f1 (Free ware)

3Dモデル編集: Blender version: 2.83 LTS

AR表示アプリケーション: Holoeyes Edu ver:

0.1.20200914 (from Google Play or Apple Store)

4. 1. 2 ハードウェア構成

スマートフォン

Smartphone Android ver.8.0以上

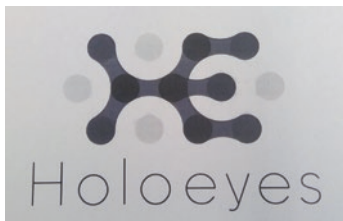
iOS ver.10.0以上

VRゴーグル

市販のスマートフォン用VRゴーグル (図1a)



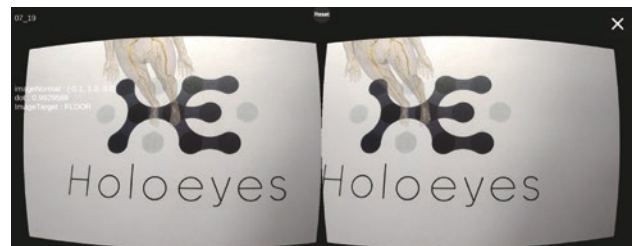
a スマートフォン用VRゴーグル



b ARマーカー



c Home画面



d 3Dモデル表示画面



e ARマーカーが平面時と垂直時の3Dモデル表示

図1 システム概要

4. 2 システム機能説明

4. 2. 1 本教材の全体構成

教材を使用する際の基本的な流れは以下の通りである。

- ① 使用するAR教材をHoloeyes Edu (以後アプリ) 内で選択し, ARマーカー (図1b) を映して表示させる。
- ② 基本とする大きさや角度を調整し, スマートフォンをスマートフォン用VRゴーグルにセットする。
- ③ AR教材を見ながら課題にそって学習を行う。

4. 2. 2 基本操作

アプリでは, Homeの教材一覧から, 任意の教材をダウンロードして使用することができる (図1c)。ダウンロードした教材の再生ボタンを押すと, スマートフォン画面が両眼視用画面となり (図1d), 教材の3DモデルがARマーカーを認識するとAR表示される。AR表示されたモデルは, ARマーカーを回転させたり, 自身の視点を移動させたりする動作に合わせて回転・移動する。また, ARマーカーは地面に対して水平に置いた場合と垂直に置いた場合で表示の仕方が異なり, 水平に置いた場合はARマーカーの面をXZ平面として3Dモデルを表示するが, 垂直に置いた場合はX軸に90度回転して表示する (図1e)。本来, 立体視を用いるため, 右目側, 左目側の画像の表示に差異があるが, 本論文では便宜上, 実際の3Dモデル表示時の画像を右目側の画像とする。

4. 2. 3 教材画面

図1dに3Dモデルが表示される画面を示す。画面

をピンチアウトで拡大, ピンチインで縮小することができる。また, 画面下中央に回転ボタンがあり, タップするとHoloeyesの文字を前として後ろ90°に回転する。画面上中央にはそれらの変更をリセットすることができるリセットボタンがある。画面右上には×ボタンがあり, タップすることで教材を終了することができる。

4. 3 システムパイプライン

4. 3. 1 パイプラインについて

本教材を制作するにあたって, 全体の流れを俯瞰し, 作業を効率的に行えるようにすることを目的として, パイプラインを作成した。以下, パイプラインを教材設計, アセット制作, アプリケーションへのビルド, テスト施行の4段階に分け, それぞれ説明をする (図2a)。アセット制作は特に手順が多くなるため, 別途ワークフローの形で細分化した (図2b)。

4. 3. 2 教材設計

1) 人体モデルのオリジナルテンプレートの作成

正常人体の3Dモデルは, Holoeyes社が購入したZygote body™ (<https://www.zygotebody.com/>) を使用した (図3)。購入されたオリジナルモデルのモデルパーツ名は, 全て英語で標記され, 通し番号がつけられていた。しかし, 一般英語が多く, 解剖学的に系統立っていてもいなかったため, 解剖学的なノミナに変更し, 日本語表記も作成した。その後, Holoeyes社のシステムエンジニアとともにパーツの系統立てを行った。こうして作成した正常人体モデルを, 教材作成に使用可能なオリジナルテンプレートとした。

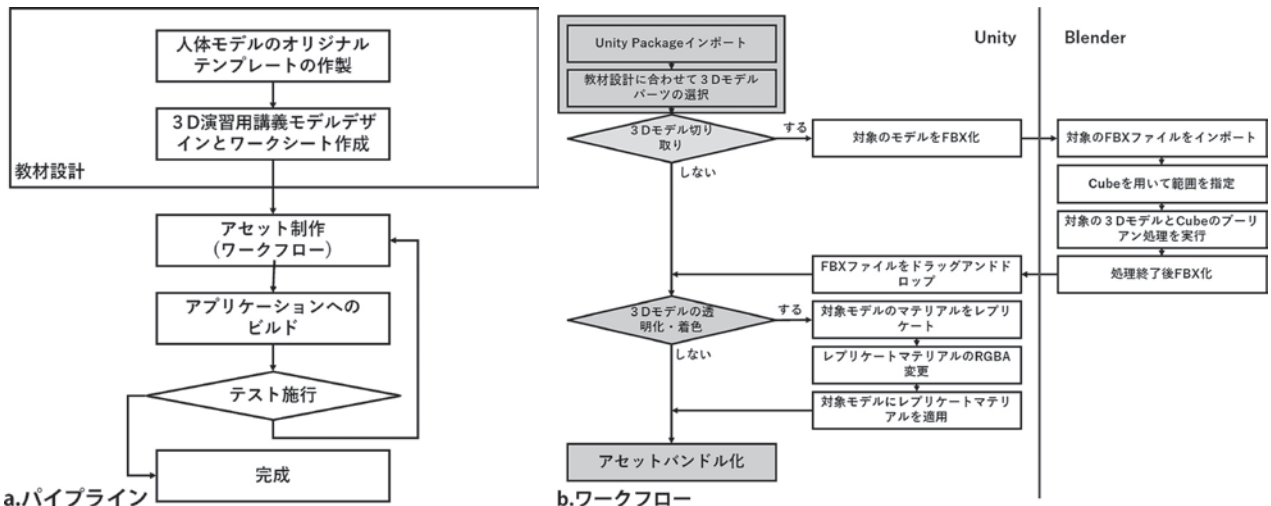


図2 パイプラインとワークフロー



図3 教材設計 Zygote body™
(<https://www.zygotebody.com/>)

2) 3D演習用授業モデルデザイン

演習用授業モデルを作製する際, 教材のテーマに合わせ, モデルの表示する範囲と臓器等のパーツを決定し, 透過率などの編集を行った。そのため, どのような3Dモデルを作製するかについて, 教科書や参考書, マニュアルをもとに解剖学的な位置やテーマで行う手技を参考にしてデザイン案を考え, 大まかな枠組みを作製した。

4. 3. 3 アセット制作 (ワークフロー)

アセットを制作するにあたって, ワークフローを作成した(図2b)。以下, ワークフローを大きく1)Unity, 2)3Dモデルの切り取り, 3)透明化・着色, 4)アセットバンドル化, の4つに分類し, それぞれ記述する。

1) Unity

コンテンツを制作するためのアセット(資源)として, 3D人体モデルであるZygote bodyの複数のパーツ(以下3Dモデル)を用いた。3Dモデルは, 3D演習用授業モデルデザイン(以下モデルデザイン)に沿ったパーツの選定を行ったのち, 不必要なパーツの削除を行った。これらの作業を行うために, 今回の3Dモデル製作の基本プラットフォームとして, 3D開発プラットフォームであるUnity Technologies社のUnity 2019.2.21f1を使用した(図4a)。

Unityでの制作手法として, 3D人体モデルのパーツを系統解剖学的に並べ替え, 全身の3D人体モデルセット(以後全身モデル)のUnity packageを作成した。この作業を行うことで, 開発期間中, 関係者全員が共通の全身モデルをUnityで使用できるようにした。

目的別にパーツを組み合わせるときには, この全身

モデルのUnity Packageをインポート(読み込み)した。インポートした3D人体モデルにreplicateを行い, 複製3D人体モデルを作製・使用することで, 一つのプロジェクト(作業する場)で複数の3Dモデルを作製可能にした。複製3D人体モデルからモデルデザインに沿ったパーツ以外を削除し, 3Dモデルを作製した。また, パーツの選択・削除以外の特殊な手順については以下に記載した。作製した3DモデルはUnity Packageとしてエクスポート(書き出し)を行いデータの保存・共有を行った。

2) 3Dモデルの切り取り

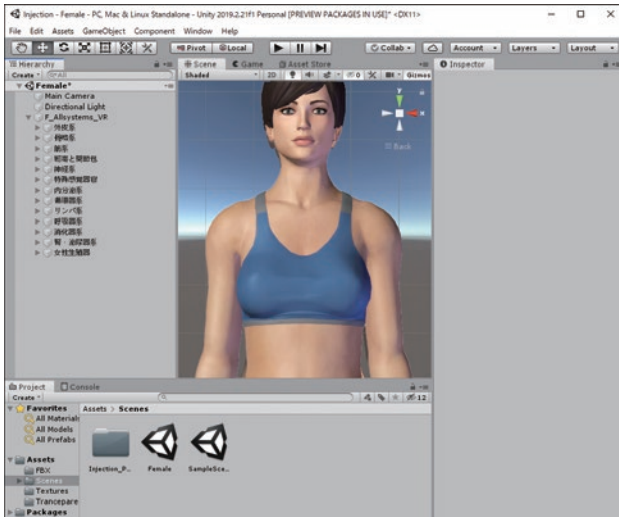
3D人体モデルはそれぞれのパーツごとに分かれているため, 細かく任意の位置で削除することができない。しかし, 3Dモデルの任意の位置以外の余分な部分が含まれていると, 教材全体のモデルデザインの意図から外れてしまうため, 任意の位置で3Dモデルを切り取る必要があった。そのため3DCGソフトウェアであるBlender FoundationのBlender 2.83 LTSを使用し, パーツの切り取りを行った。

3Dモデルの切り取り手順として, まず, Unityで切り取りを行いたいパーツをFBXファイルで出力し, Blenderでその出力したFBXファイルをインポートして取り込んだ。次に, Blender内に存在する立方体の3Dモデル(以下cube)を使用し, 任意の場所にcubeを移動・拡大縮小したのち, パーツと重ね合わせてブーリアン処理を行った(図4b)。ブーリアン処理とは, パーツとcubeが交差している部分を削除したり, 交差していない部分を削除したり, もしくは交差している二つを合体して一つのパーツに合成したりする処理の事である。この処理を繰り返し行い任意の位置で切り取りを行った。切り取りしたパーツは, FBXファイルとしてエクスポートし, UnityのFBXフォルダにドラッグアンドドロップして取り込んだ。切り取りしたパーツは切り取る前のパーツと入れ替え, 3Dモデルに使用した(図4c)。

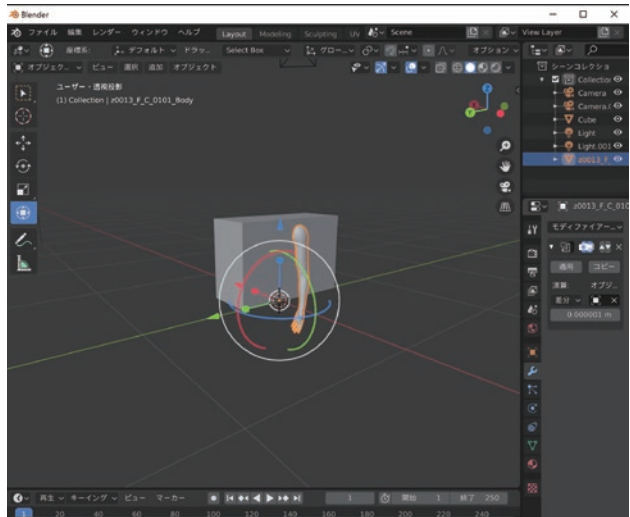
3) 透明化・着色

モデルデザインで見せたいパーツは, 時としてより表層にあるパーツが視線を遮っていたり, 同じMaterial(テクスチャマップや反射の有無等材質を表現の基となる概念の設定)であるために明瞭に見えなかったりすることがある。そのため, 見せたいパーツを明瞭に表すために, パーツを透明化することで表層から深部, 周辺のパーツの位置関係を描写したり, パーツを着色したりすることで目立たせるたりする処理を行った。

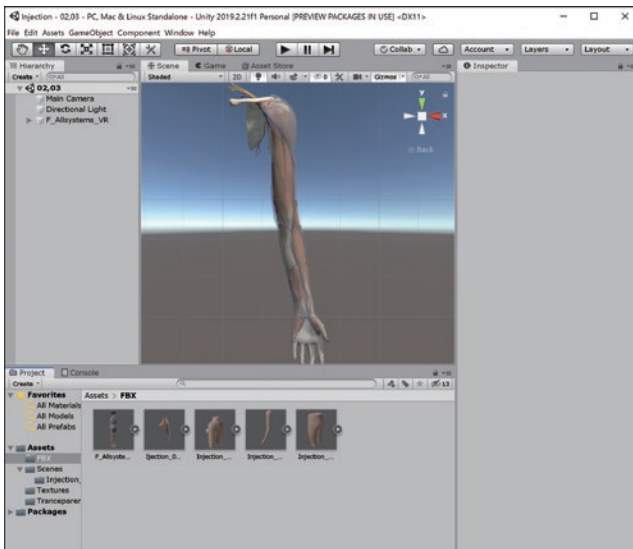
透明化・着色の手法はまず, 透明化・着色したいパーツのMaterialをreplicateして複製し, その複製



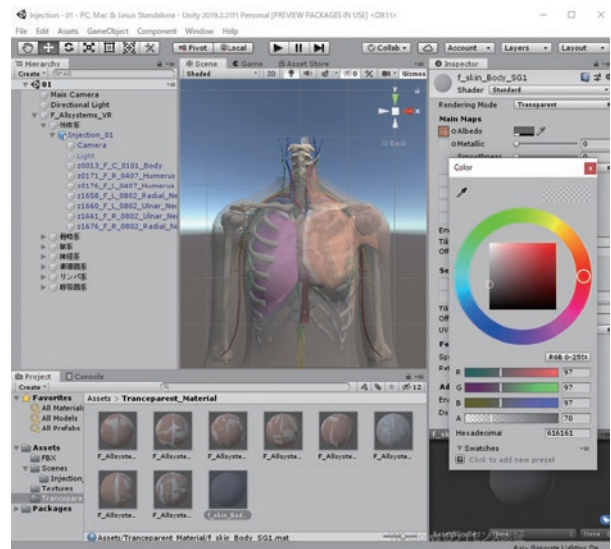
a Unity



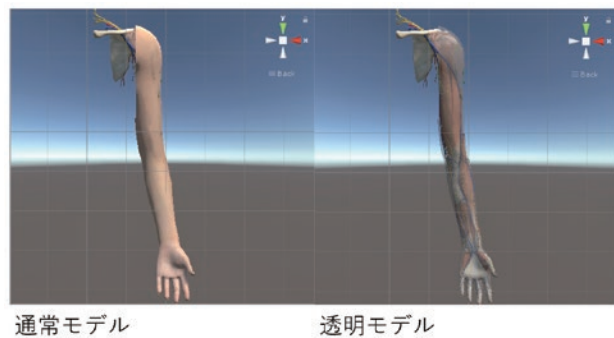
b Blender



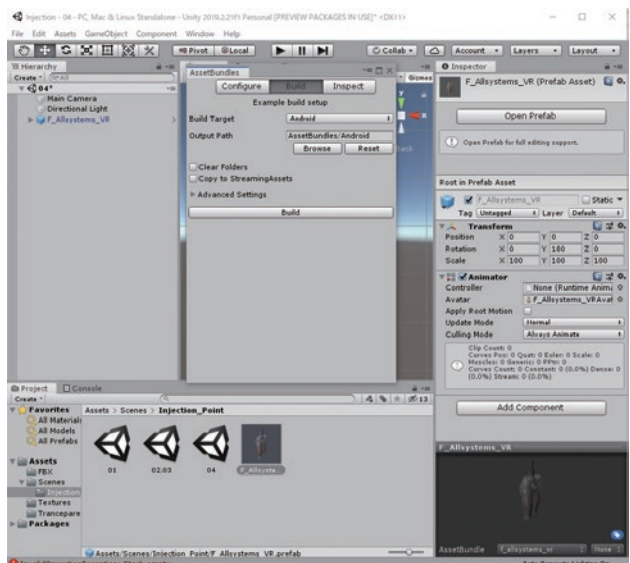
c Unity FBX ファイルの取り込み



d Unity RGBA 画面



e Unity 通常モデルと透明モデル



f Unity Asset Bundle

図4 アセット制作

MaterialのRendering ModeをTransparentにすることにより, 色調の変化を適用可能な状況にした。色調変化にはRGBA (0-255) を使用した。RGBA (0-255) とは色を, Red, Green, Blueの三色とAlphaの透明度, それぞれ0-255のパラメータによって表現する方法である。したがって, 複製MaterialのRGBAを任意に設定し (図4d), その複製Materialを透明化・着色したいパーツのMaterialとして適用した (図4e)。

4) Asset Bundle化

作製した3Dモデルは, スマートフォンアプリHoloeyes Eduで使用できるようにアセットを行った。アセットには, Unityバージョン2019.2.21fのモジュールであるAndroid Build Support, ツールであるAsset Bundle Browserを追加して使用した。まずアセットバンドル化 (3Dモデル構成要素の紐づけと圧縮すること) したい3Dモデルをプレハブ化 (複製の作成) し, それをAsset Bundle BrowserのConfigureにドラッグアンドドロップした。次に, Build Targetを, アプリを使用する媒体 (今回はAndroid) に選択してBuildを行い, Asset Bundleを作成した (図4f)。

4. 3. 4 アプリケーションへのビルド

作製したAsset Bundleは, ウェブ上にあるHoloeyes Edu管理画面を通してアプリケーションへのビルドを行った。Asset Bundleは, 「ファイル」と「Manifestファイル」で構成されている。そのうち, 「ファイル」の方をHoloeyes Edu管理画面のコンテンツ新規作成 (図5) からAsset Bundle時にBuild Targetで選択した媒体のレコーディングファイルに選択し, タイトル等

をつけて作成を行ってアプリケーションへのビルドを行った。

4. 3. 5 テスト施行

ビルドが完成した教材について, 実機にて確認を行った。実際の見え方やサイズ, 向きを見て, 製作テーマに則したモデルか, 実機で見るときの見え方に支障がないか, を確認した。もし教材として支障があるようであれば, その原因を分析して, 教材デザインの段階で支障をきたしていれば教材設計から製作しなおし, モデル製作段階で支障をきたしていればアセット制作の段階に戻り, 再び製作を行った。

4. 4 作成結果

注射部位の理解を深めるため, 鎖骨下静脈穿刺 (中心静脈カテーテル), 前腕部の静脈注射 (尺・橈側皮静脈, 正中前腕尺橈側皮静脈等), 筋肉内注射 (三角筋, 中殿筋) に焦点をあて, 本研究では1. 鎖骨下静脈穿刺用胸部モデル, 2. 三角筋注射・前腕部静脈注射用左側上腕・前腕モデル, 3. 中殿筋用臀部モデルの三つのモデルを作製した。それぞれモデルデザイン, ワークシート, 3Dモデル, に分けて記載する (図6a)。

4. 4. 1 鎖骨下静脈穿刺用胸部モデル

1) モデルデザイン

鎖骨下静脈へのアプローチとして鎖骨上穿刺と鎖骨下穿刺の二種類がある。鎖骨下静脈は表皮に近い大きい血管であるが筋膜などに囲まれ穿刺が難しい。主な合併症として気胸, 動脈穿刺, リンパ管穿刺などがあげられる¹⁰⁾。そのため, 頸部から胸部の範囲で皮膚や筋肉を透明に, 鎖骨下静脈等の静脈や骨格, 肺, 心臓や動脈系・リンパ系を表示した。

2) 完成モデル

完成モデルを (図6b) に示す。図の上部には実際のモデルの俯瞰を表し, 右下部にはUnityでの3Dモデル正面を, 左下部にはUnityでの3Dモデル左側を表した。

4. 4. 2 三角筋注射・前腕部静脈注射用左側上腕・前腕モデル

1) モデルデザイン

三角筋注射は肩峰から三横指下に注射する。筋肉内注射は血管や神経に接近した部位に注射するため静脈内誤注入や動脈穿刺, 神経損傷, 骨損傷が起こるリスクがある。前腕部静脈注射は尺側皮静脈, 肘正中皮静

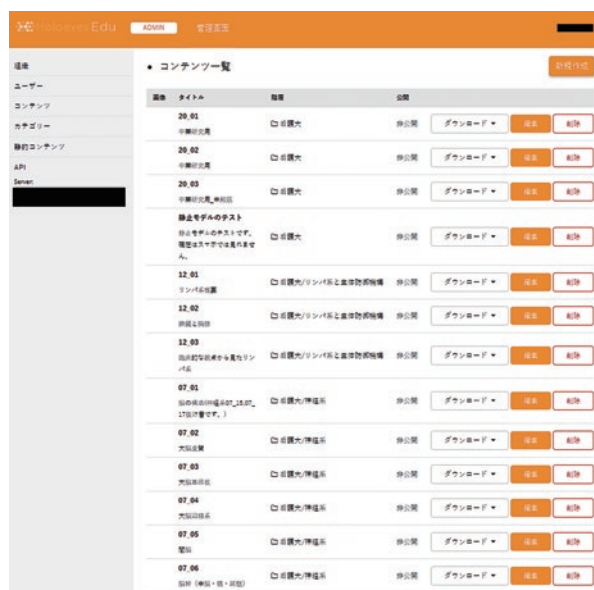
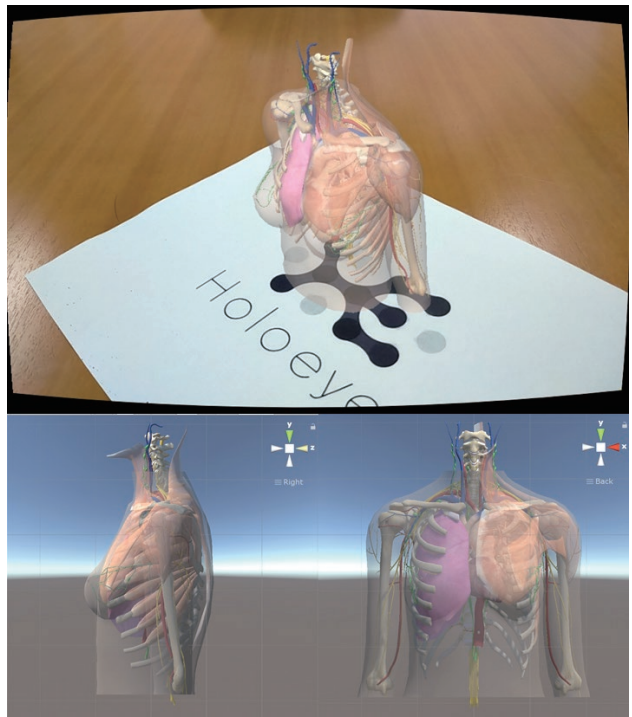


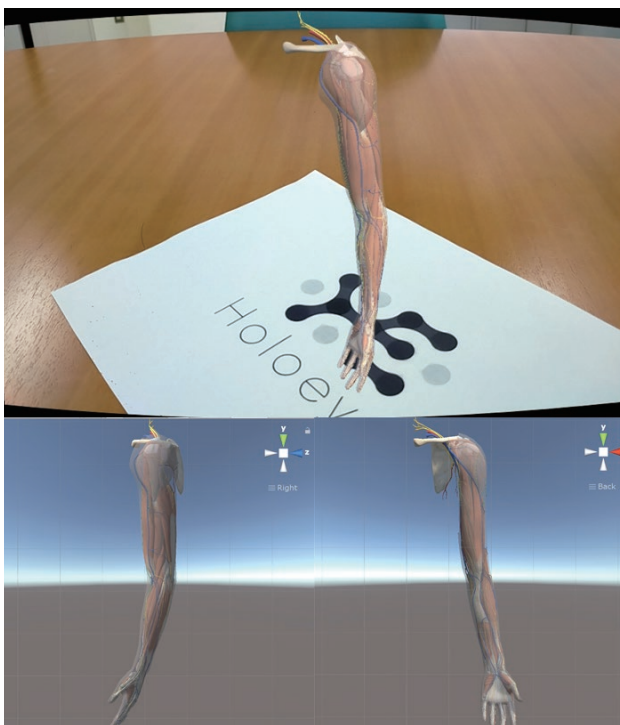
図5 アプリケーションへのビルド Holoeyes Edu管理画面 (個人情報に黒くモザイクあり)



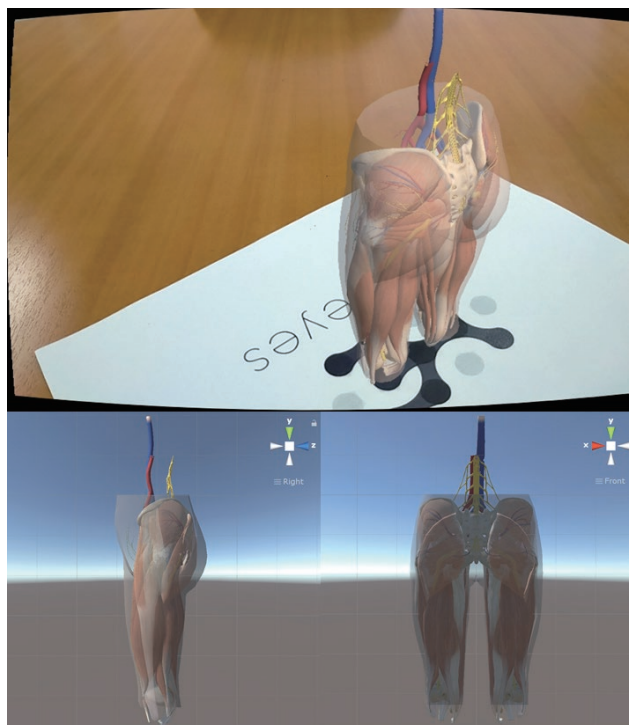
a 使用風景



b 鎖骨下静脈穿刺用胸部モデル



c 三角筋注射・前腕部静脈注射用左側上腕・前腕モデル



d 中殿筋用臀部モデル

図6 使用風景と実際のモデル (上: 実際の俯瞰, 右: Unity正面 (dは後面), 左: 左面)

脈、橈側皮静脈等の表在静脈に注射するが、主に前腕肘窩部や手背の表在静脈に注射する。これらの静脈は動脈や神経が並走・深層に走行しているため、動脈穿刺や神経損傷が起こるリスクがある。また、血管外漏出による組織損傷が生じる可能性もある¹⁰⁾。そのため、肩部から手部の範囲で皮膚・三角筋を透明に、そ

の他の筋肉や骨格、動静脈、神経を表示した。

2) 完成モデル

完成モデルを(図6c)に示す。図の上部には実際のモデルの俯瞰を表し、右下部にはUnityでの3Dモデル正面を、左下部にはUnityでの3Dモデル左側を表した。

4. 4. 3 中殿筋用臀部モデル

1) モデルデザイン

中殿筋の筋肉内注射はクラークの点や4分3分法, ホッホシュテッターの部位に注射する。筋肉注射は血管や神経に接近した部位に注射するため静脈内誤注入や動脈穿刺, 神経損傷, 骨損傷が起こるリスクがある¹⁰⁾。そのため, 腰部から大腿までの範囲を皮膚と大殿筋や中殿筋を含む臀部の筋肉を透明に, その他の筋肉や骨格, 動静脈, 神経を表示した。

2) 完成モデル

完成モデルを(図6d)に示す。図の上部には実際のモデルの俯瞰を表し, 右下部にはUnityでの3Dモデル後面を, 左下部にはUnityでの3Dモデル左側を表した。

4. 5 教材開発に関する考察

ここでは教材開発に対して利点や課題, 今後の方向性について, それぞれ考察を行う。

4. 5. 1 本研究の3Dモデル開発の利点

1) 自由なデザインが可能

本研究のモデル開発で特に大きな利点として考えられるのは, 使用する人の望むデザインで自由に3Dモデルが作製できる点である。今回教材で制作したアセットは注射部位の三か所であったが, この三か所に限定されず, いずれの身体的範囲であっても表示することが可能である。各モデルは, 切り取りや透明化・着色をそれぞれ設定できるため, 作製できるモデル数の上限もない。そのため, 使用する人の考える理想のモデルを作製することができる(図7a)。

2) 場所も時間も自由な観察が可能

次の利点として, スマートフォンを使用することでいつでも3Dモデルを見て学習できる点が挙げられる。今回の教材は, 見るだけならスマートフォンとVRゴーグル, ARマーカーさえあれば場所を選ばずにどこでも使用でき, 学校での授業以外にも, 自習室や自宅での予習・復習にも使用できる。そのため, 自宅でのオンライン授業が主流となった今日, 三次元的な人体構造の理解の一助になると考える(図7b)。

3) 透明化や着色による, 立体構造の理解促進

さらなる利点として, 3Dモデルの立体的な解剖学的位置の把握がしやすい点もある。透明化や着色を行うことで見たい部分より表層や深層にあるものも一度に見ることができ, 直感的に理解ができると考える。

4) 専門知識が不要の創作過程

そして, 作成過程における利点としては, 作製手順

に深い専門的な知識が必要ではない点も利点として挙げられる。例えば, C++やJAVAなどのプログラミング言語等専門的な知識が必要なく, 誰しものが説明を受けるだけで作製できると考える。看護学生による人体模型の作成とその過程における学習効果は高いことが知られているため¹²⁾, 今後, 学生が教材を作る機会を設けることによる学習効果も期待できる。

4. 5. 2 本研究の3Dモデル開発の課題

1) スマートフォンの多様化に伴う互換性

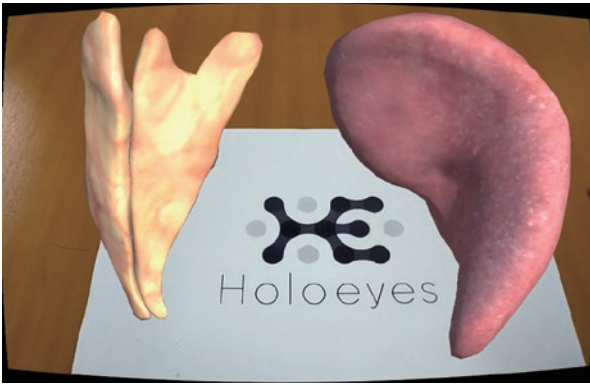
最も大きな課題は, スマートフォンの多様化に伴う互換性の問題であると考ええる。ここ数年, スマートフォンは劇的な進歩を遂げている。画面サイズの大規模化や折りたたみ式・2画面・フレキシブル等, 従来の形からかけ離れた新種のスマートフォンが開発され, 最新機器の急激な進歩による対応OS versionの限定等, 多種多様なスマートフォンが市場にあふれている。これらの機種やOS versionに対して互換性を持たせることは, 非常に大変であると考ええる。今回, 対応OSはversion 8.0, 機種は比較的新しいものに限って開発を行い, 二つ折り等新種のスマートフォンを使用せず行った。しかし, もともと使用するはずであった段ボール製のVRゴーグルでは, 開発で使用したスマートフォンが入らず, 別のVRゴーグルを使用するといったトラブルがあった。このように, ハード面の今後の進歩しだいでは, 対応できなくなる可能性があると考ええる。

2) 拡張現実内で, 観察者がモデルに関われない

次なる課題は, 3Dモデルに実施者がその場で関われないことだ。ARの関係上実写部分が3Dモデルの背面に写ってしまい, 実施者が指や指示棒等を使用する従来の選定方法だと対応できない(図7c)。実技を行う際は, 指や特徴的な身体的部分を使用することが多いため, 今後の改善が必要だと考える。

3) 観察中にしにくい, 拡大縮小等の操作

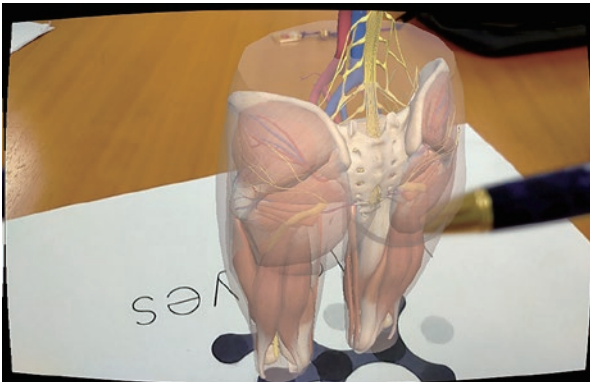
観察中はスマートフォンの操作ができない操作性の悪さがあげられる。今回使用したHoloeyes Eduは教材画面でスマートフォンの画面を操作し, 見る位置を変えることができる。しかし, VRゴーグルを装着した状態であるとスマートフォンを操作できないため, 一度外して操作したのち再び装着する必要がある。このことで, 使用者は続けて学習を行うことができず, スマートフォンを操作するたびに学習が中断されてしまうため手間がかかり, 集中力がそがれてしまう可能性がある。



a 別のテーマの教材（脾臓と胸腺）



b 使用している場所（自宅）のイメージ



c 現実の物体が干渉できない

図7 開発に関する考察

4. 5. 3 今後の開発の方向性

1) ガイドラインの挿入

ブレンダーで作製したガイドラインを、プーリアン処理でモデルに合成することでガイドラインをモデルに組み込むことができる。これにより現実から3Dモデルに関わらずとも実技を行う部分を分かりやすく表示することができ、3Dモデルに実施者がその場で関われない課題の改善を行うことができると考える。

2) 解説音声の挿入

解説音声が入った教材の作製もこの課題の改善を行うことができると考える。解説音声をいれるためには、まず、今回作成したモデルセットをHoloeyes XRにアップロードし、Windows mixed realityを用いてヘッドセットマウントに映し出す。その空間でUnityを立ち上げると、モデルの回転、モデルの色やサイズ変更、そして3D描画もできるようになる。こうして立ち上げたモデルに対し、解説シナリオを作成して録音し、その録音を流しながら録画モードを用いて3D解説の動画を取って音声と合成すれば完成となる。解説中にガイドライン等を入れることができ、学習中のリアルタイムで学習に適したモデルに更新することができる。また今回ワークシートで学習をすすめていく教材を作製したが、解説音声入りにすることで復習が行いやすく、必要とする物品も少ないため、より場所や時間を選ばずに学習を行うことができると考える。

3) 現実の物体と3Dモデルの前後関係の改良

例えば、現実の物体を別のARマーカースを使用したバーチャル空間で使用できるコントローラーの開発により、そのARマーカース同士の位置関係を元にしてバーチャル空間上に現実空間の状況を反映できるのではないかと考える。また、バーチャル背景のようなクロマキーを使用し、現実の物体の背景としてARマーカースによって出現している3Dモデルを表示することにより、前面に現実の物体を表示することが可能ではないかと考える。さらに本研究では、操作性の悪さが課題として挙げられたが、待鳥らは2018年にVRヘッドセットの操作の煩わしさを解消するために音声入力とジェスチャー入力に対応したアプリケーションを開発しており、同一、若しくは類似する技術を使用することで、課題の改善ができると考える¹¹⁾。

4) 実技に近い演習を可能とする教材の作成

複合現実(Mixed Reality: MR)とは、視界全体に仮想の情報を重ね合わせ、複数名での同時体験が可能なものである。現実の物体である手や模型に3Dモデルを重ねて表示することで実際の物体では見ることができない深層の部分を可視化することができる。そのためより解剖学的視点の具体的なイメージをもって実技演習を行うことができると考える。

5. 試行授業

5. 1 試行授業の概要

作成した教材を使用した際の、学習者の学習意欲や学習効果、アプリの使用感を測るために、AR教材を

本間, 他: 拡張現実 (AR) 技術を用いた, 人体構造の理解を深めるための三次元教材の開発とその有効性

用いた試行授業を行った。試行授業は, 2021年7月14日に東京都にある看護系大学の1年生102人を対象に90分の授業時間内の30分を用いた。

5. 2 倫理的配慮

本研究は, X-R教材開発研究の一環として, 東京医科歯科大学医学部倫理委員会の中央一括承認 (承認番号M2018-86-02) を得て行われた。

5. 3 指導案と事後アンケートの作成

今回作成した指導案を図8に示す。導入ではまず, 今回使用するAR教材の開発目的とARアプリの使用方法的説明をパワーポイント教材および動画を用いて行うこととした。次に, AR教材の観察課題を提示する。課題は「注射部位の解剖学的根拠と起こりうるリスクの考察」とし, 「なぜ, そこに注射すると良いのか」「そこに注射してもなお, 起こりうる障害にはど

看護学部第1学年人体の構造と機能 発展学習指導案

令和3年7月14日(水)第4校時
看護学部1年生102名

1. 題材名 発展学習: 人体の構造と機能 注射部位の解剖学的根拠と起こりうるリスクについて考える
2. 本時の展開
 - (1) 目標
 - ・安全な注射技術を支える, 人体の構造を多視座・多深度で理解する。【知識・理解】
 - ・注射部位周辺の組織構造を理解し, 起こりうる事故リスクを考察できる。【技能】
 - ・AR教材を使いこなして主体的に人体を観察する【技】
 - (2) 準備 スマートフォン, タブレット, ARアプリHoloeyes Edu, 簡易VRゴーグル, 使用教材の事前ダウンロード
 - (3) 展開

過程	・学習内容 *予想される生徒の反応	○指導上の留意点	□提示資料 ☆評価
導入 7分	・使用教材の開発目的と観察方法を説明し, 課題「注射部位の解剖学的根拠と起こりうるリスクの考察」を提示 *将来の看護技術習得に役立つ, 解剖知識の統合に興味を持つ	○ワクチン注射などの身近な注射現場から, 注射技術の大切さとそれを支える解剖学的理解の必要性に気づかせていく。 ○ARアプリの使用方法和見える像のイメージが湧くようにする。	PPT ARアプリ使用方法の動画
展開 ① 10分	観察 ・ワクチンの注射部位について観察 (班ごとにグループワーク) 三角筋の構造 支配神経である腋窩神経の構造 周辺構造(血管や関節)の構造 (終わった班は, 臀部の注射部位も同様に行う。使用教材: 中殿筋用臀部モデル)	○三角筋を同定し, その広がりからなぜこの筋肉が選ばれたか考えさせる。 ○三角筋の支配神経である腋窩神経の走行から, 三角筋のなかでもどこに注射すべきか, 条件があることに気づかせていく。 ○三角筋の周辺, 深部にある構造を観察し, 人体の構造に個人差があったり, 注射部位がずれたりした場合に何が起こりうるか気づかせていく	Holoeyes Edu: 三角筋注射・前腕部静脈注射用左側上腕モデルと中殿筋用臀部モデル ☆安全な注射技術を支える, 人体の構造を多視座・多深度で理解する。 【知・理】 ☆AR教材を使いこなして主体的に観察する【技】
展開 ② 5分	解説 ・注射部位周辺の構造と, 事故のリスクに関して簡単に説明を行う	○「注射部位には, 周辺に重要な血管や神経がない部分が選ばれる」が「個体差も大きいため事故のリスクは常に隣り合わせ」であることに気づかせる。	☆注射部位周辺の構造を理解し, 起こりうる事故リスクを考察できる。【技】
まとめ 5分	・本時の学習を振り返り, 事後アンケートに回答する。(5分)	○題材や使用教材に関する学びや感想, 改善点について考える	Microsoft Forms 自己満足・自己効力感 動機付け・興味関心 立体的理解

図8 試行授業の指導案

のようなものがあるか」について、1年生が既に1学期で学んだ骨・筋・神経・心臓血管系の系統別解剖学の知識を元に考察するものとした。この思考過程には、系統別に二次元で学んだ構造を立体的に統合する必要があり、本教材は、その統合過程を支援するものとして位置付けた。

展開①では、AR教材の観察をグループワークで行うこととした。学生を16班に分け、最初にワクチン注射（三角筋への注射）について、「三角筋注射・前腕部静脈注射用左側上腕モデル」を観察させたのち、余裕のある班には、引き続き臀部への注射（中殿筋への注射）についても「中殿筋用臀部モデル」を観察させるよう設定した。

展開②では、注射部位の筋肉（三角筋・中殿筋）と支配神経（腋窩神経、上殿神経）、および注射部位がずれた際に起こりうるリスクについての簡易解説を行うこととした（5分）。

最後に、まとめとして、事後アンケートをMicrosoft Formsを用いて実施し、学習意欲や効用、使用感を測ることとした。事後アンケートは、総評（6項目）、

表1 解剖学授業へのAR教材活用に関する質問項目

質問項目（選択式）
【総評】
1. AR教材を用いた学習は面白かった。
2. AR教材を用いた学習は興味をもって取り組めた。
3. 授業の内容を集中して聞くことができた。
4. AR教材を用いた学習に集中して取り組めた。
5. AR教材を用いた学習は疲労感が通常の講義よりもあった。
6. AR教材を使用した授業を今後も受けてみたい。
【内容理解】
7. 筋肉注射や静脈採血に関して理解できる。
8. 筋肉注射や静脈採血に関して説明できる。
9. 筋肉注射や静脈採血に関してさらに学びたい。
【教材の使いやすさ】
10. ARで示されている人体の構造は見やすかった。
11. ARで示されている人体の構造はどこを見てよいかわからなかった。
12. ARで示されている人体の構造は拡大縮小、回転をしやすいかった。
13. 目が疲れた。
14. VR酔いがあった。
【活用性】
15. 一人でも活用できる。
16. 家庭学習でも活用できる。
17. オンデマンド講義でも活用できる。
質問項目（自由記述）
18. 今回のAR人体部位モデルについて、改善点がありましたら、自由にお書きください。
19. 看護技術の修得に必要なAR人体部位モデルは、他にどのようなものがあると思いますか。
20. 最後に、本講義への感想を自由に書いてください。

内容理解（3項目）、使用感（5項目）、活用性（3項目）について、「1：あてはまらない」～「4：よくあてはまる」の4段階の選択式で設問を設定した（表1）。さらに、教材の改善点については記述式で回答を求めることとした。

5. 4 実践の内容と学生の様子

5. 4. 1 事前準備

対象学生が準備するものとして、スマートフォン、タブレット、ARアプリHoloeyes Edu、簡易VRゴーグル、そして、使用教材の事前ダウンロードがある。そのうち、スマートフォンは学生個人のものを使用し、タブレットは班に1台準備してもらった。ARアプリと簡易3D眼鏡（VRゴーグル、山田化学株式会社）は、学期始めに一括購入したものを使用した。アプリのインストールおよび利用者登録は学生個人が行い、教員はトラブル対応のみ支援した。使用教材は、スマートフォンおよびタブレットに、授業前日までにダウンロードするよう指示した。

5. 4. 2 当日の授業の流れと学生の様子

教員から学生に研究の目的と内容、倫理的配慮を説明し、同意書Formsへの回答時間を設けたのち、指導案に沿って授業を進行した。

導入では、会場が講堂であったため、授業で用いたパワーポイントや動画の視聴環境は良く、学生は集中して聞いていた。

続く展開①では、観察時間が10分間であったため、時間内に観察できた教材は、三角筋注射にとどまる班が多かった。また、学生が感染防止対策により1m以上の間隔をあけて着席していたため、グループワークはしにくい環境となった。離れているがゆえに、学生たちは、ARマーカーから距離をおいて観察することはできたが、階段席のため自由に移動できず、自由な視座での観察は困難であった。それでも、学生たちは、目の前に現れた肩から腕にかけての立体的な人体モデルを、見えている構造は何か、課題を考えるには何をどうみれば良いのか、など、興味をもって観察していた。観察に慣れてきた学生は、VRゴーグルを外し、スマートフォン上で観察を始め、像をスマートフォン上で拡大縮小したり、回転させたりすることによって、自由に観察を行っていた。中には、見たい画面でスクリーンショットを撮影し、静止画にして観察している学生もいた。また、単眼で見えるエリアをタブレット上で拡大して画面いっぱいに広げ、3Dを立体視し、班員と共有しながら観察する学生もいた。一

方, 像をARマーカー上に映し出せず, スマートフォンのカメラ画面を空中にむけて四方八方に人体モデルを探し, 像が現れないと困っている者, 人体の構造を自由な角度でみようとするARマーカーが画面から外れ, 像が消えてしまったと嘆くもの, が散見された。

観察後の展開②では, 観察した筋肉と神経を中心に, 構造と注射時に起こりうるリスクについて簡易解説をした。

5. 5 事後アンケート集計結果

事後アンケートは102名中83名の回答があった。その全員から参加同意を得られたため, 全ての回答を集計した。選択肢は「4: よくあてはまる」「3: あてはまる」「2: あまりあてはまらない」「1: あてはまらない」の4段階を数値化し, Microsoft Excelを用いて集計した。回答の分布は百分率で表し, 図9にまとめた。一方, 記述式は複数回答可能であったため, 項目別に回答者の人数を集計し, 表2にまとめた。

5. 6 教育実践に関する考察

5. 6. 1 AR教材を用いた学習の総評

ここでは, AR教材を用いた学習に対する学生の総評を図9の設問1から設問6と, 表2の設問20より考察する。設問1および設問2の結果から, 「よくあてはまる (45%)」「あてはまる (47%)」を合わせると, アンケートに回答した9割以上の学生 (以降, 「学生」とする) がAR教材を用いた学習 (以降AR学習) を面白く感じ, 興味をもって取り組めたことが示される。さらに, 設問20では, 学生はAR授業を「ためになった (以降, 回答数34)」と感じていることが示され, AR教材が学習に活用されたことが示唆された。以上のことは, 設問6で8割以上 (82%) の学生が今後もAR教材を用いた学習を希望していることから支持される。一方, 設問3, 設問4, 設問5の結果から, 8割以上 (85%) の学生が授業の内容については集中して聞けたのに対し (設問3), AR学習については, 3割近い学生が, 集中できなかったり (28%), 疲労感が通常授業よりも大きかったり (30%) したこと

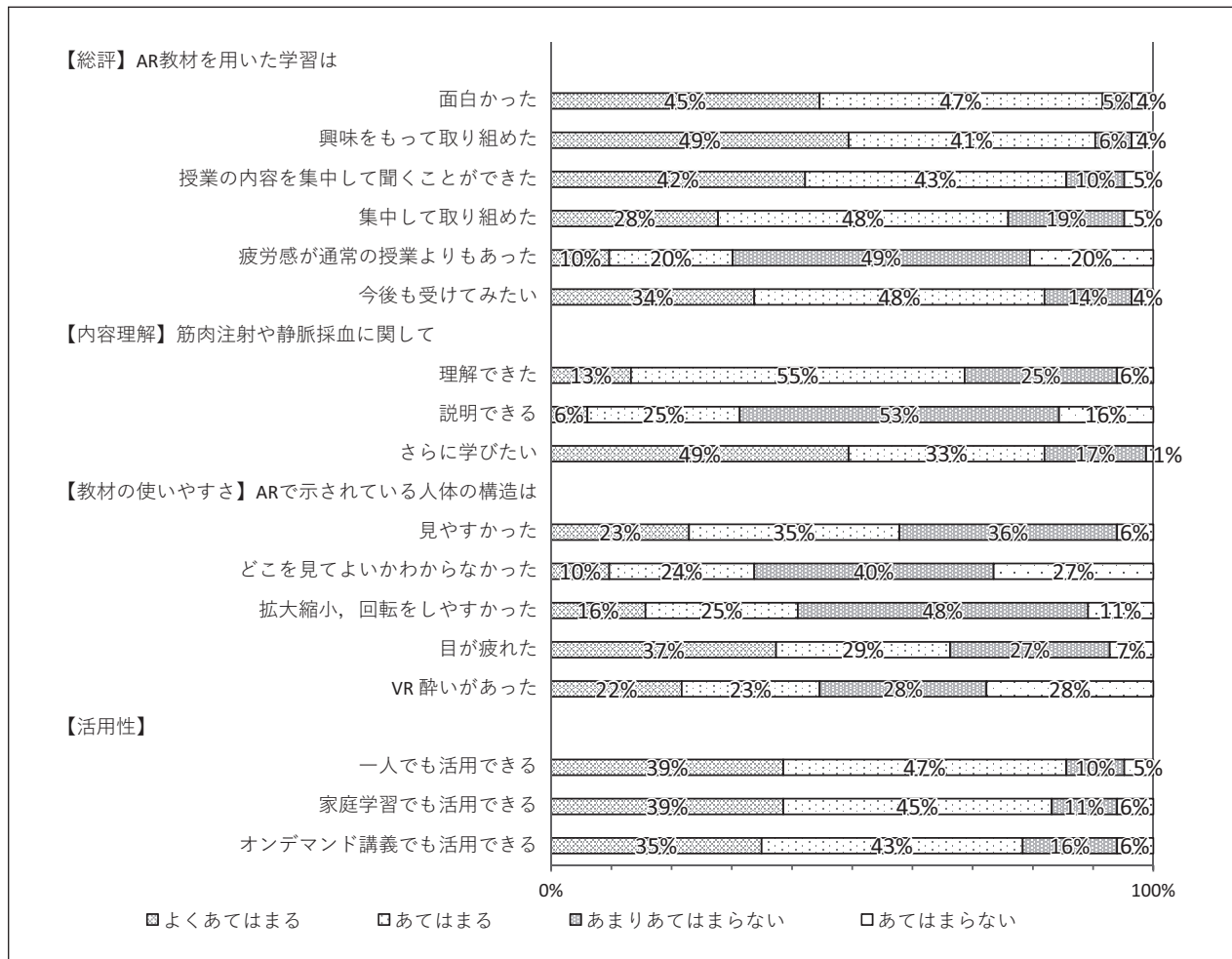


図9 解剖学授業へのAR教材活用に関する質問項目

が示された(設問4, 設問5)。このことは, 設問6で今後のAR学習を希望しない学生が2割近く(18%)にのぼったこと, 設問20で「学習に困難を感じた(回答数14)」にも表れている。この結果を生んだ要因として, ARアプリの操作練習時間が短かったため不慣れなまま課題観察に入ったこと, 会場が階段状の講堂だったため観察時に動きが制限されたこと, などがあげられる。今後, より良いAR学習の実施に向けた改善として, 観察の前にはアプリ操作の説明と練習を十分に行い, 目的の構造を短時間で効率よく観察できるようにすること, 平たんな教室を会場に選び, AR観察時は可動性のテーブルを移動させて班ごとに島を作った上で, 立ったり座ったり, 移動したりしながら自由にAR像を観察できる空間づくりをすること, などが求められる。

5. 6. 2 AR学習による内容理解について

次に, AR学習による注射部位に関する内容理解について図9の設問7から設問9と表2の設問19より考察する。設問7, 設問8の結果から, 筋肉注射や静

表2 解剖学授業へのAR教材活用に関する質問への自由記述

18. 今回のAR人体部位モデルについて, 改善点がありましたら, 自由にお書きください。

アンケートへの回答数83名中, 65名
画面の揺れ, ゆらぎの解消(以降, 回答数25)
画角の拡大(16)
ARマーカーをとらえやすくする(10)
見ているパーツに対しての名前の表示(8)
1画面での3D像の可視化(5)
以下, 回答数1ずつ
VRゴーグルが必要なくなる, パーツを任意で消せる, 注射針の挿入

19. 看護技術の修得に必要なAR人体部位モデルは, 他にどのようなものがあると思いますか。

アンケートへの回答数83名中, 61名
血管系(以降, 回答数13),
筋肉(9),
神経(2),
開腹部位(2)
以下, 回答数1ずつ
下肢, 胸部, 頭部, 骨格系, 腕や手の甲, 臓器
その他
看護技術を用いた体位変換や圧力のかかり方の表示への応用(4)
疾病や病態の提示(3)

20. 最後に, 本講義への感想を自由に書いてください。

アンケートへの回答数83名中78名
ためになった(34)
面白かった(19)
困難さがあった(14)

脈採血に関して, 1割近くの学生はよく理解し(13%), よく説明できる(6%)と感じ, 過半数の学生がまあまあ理解できている(55%)が, 説明できるレベルには至っていない(53%)と感じていることが示された。観察後の解説が5分弱しかなされていないことを考えると, 7割近い学生が内容を理解できている(68%)ことは, 観察中の学びも大きかったことが示唆される。また, 設問9の結果より, 8割以上(82%)の学生が, 内容に関してさらに学びたいと望むことから, 今回の発展授業により, 将来の履修内容への学習意欲が向上したことが示唆された。設問19の結果から, 学生たちは看護技術の修得に必要なARモデルとして, 血管系(以降, 回答数13), 筋肉(9), 神経(2)を挙げており, 今後, 基礎科目の学習過程に随所にこのような発展学習を設けることにより, 専門科目の学習意欲につながる展開ができると考えられる。

5. 6. 3 ARアプリの使用感

今回開発したARアプリの使用感について図9の設問10から設問14より考察する。設問10から, ARで示された像を見やすいと感じた学生が過半数いた(58%)ものの, 見やすいとはいえないと感じた学生が4割(42%)に上ったことが示された。この原因は, 表2の設問19の回答にみとれる。学生たちは, 「画面のゆれ, ゆらぎ(以降, 回答数25)」「画角の狭さ(16)」「ARマーカーの捕えにくさ(10)」を感じ, 「見ているパーツに対して名前が表示不可」「1画面で3D像の可視化不可」に不自由を感じているのである。今後の開発として, 上記の点の解消に加え, ARマーカーを映して像が一度画面に現れたら, マーカーレスでも観察を可能にする設定の開発, 見ているパーツに対しても必要であること明らかになった。設問11の結果から, ARで観察している像に対して, どこを観察するか, については7割近くの学生が理解していた(67%)ことから, 像の見やすさが改善されれば, より効果のある学習機会が提供できると考えられる。

また, 設問12からは, AR上で示された像の拡大縮小, 回転に困難を感じた学生が6割近く(59%)に上ったことが明らかになった。この点は, 本文4.5.2で3Dモデル開発の課題であげた「3)観察中にしにくい, 拡大縮小等の操作」に通ずるものなので, 早期解決にむけた開発が望まれる。

設問13, 設問14では, X-R技術を用いたアプリ全てに共通する「目の疲れ」や「VR酔い」について問うたが, 設問13から, 目の疲れを感じた学生は7割近く(67%)に上ることが示された。この目の疲れ

は、「適合的眼球離反運動の不一致」に起因することが知られている¹³⁾。両眼が近くしている視覚情報が持っている奥行きと、脳が立体視するバーチャル・オブジェクトが持つ奥行きが一致しないことから考えると考えられているため、現在、光学的マッピング技術を用いた目が疲れにくいVR/ARレンズの開発が進んでおり、解決に向けての期待が高まっている¹⁴⁾。設問14から、VR酔いは56%と予想よりは低かった。VR酔いは、視野角や解像度など性能面の制約が多いヘッドマウント・ディスプレイ (HMD) で視聴することで、特に発生しやすいといわれている。よって、今回の教材のように、VRゴーグルを外して観察することも可能であるARではVR酔いを回避できる可能性が高まる。今回もVR酔いを全く感じなかった学生が2割以上 (22%) いたことから、授業で用いる際は、VRよりARのほうがVR酔いによる問題は軽減することが期待される。今後、画面上での観察がより容易になるように開発が進めば、VRゴーグルレスでの観察機会が増え、VR酔いの問題はほぼ解決されるだろうと考えられた。

5. 6. 4 ARアプリの活用性

今回開発したARアプリの活用性について図9の設問15から設問17より考察する。どの設問においても、8割近くの学生が「活用できる」と答えていることが示唆された。すなわち、学生たちは、今回のAR教材が、「一人でも (86%)」、「家庭学習でも (84%)」、「オンデマンド学習でも (78%)」活用できる、と感じているのである。前述のとおり、設問20の回答で、学生たちは、AR教材を「役に立つ」ものと捉えており、上記の活用性に対する学生の感じ方を合わせると、AR教材にさらなる改良と開発を重ねていき、授業や演習で活用していくことにより、時と場所を選ばない人体の構造の学習が可能になると考えられた。

5. 6. 5 教育実践への展望

最後に、今回開発したARアプリの教育実践への展望を述べる。本研究では、看護系大学の大学生を対象としたが、今回開発したARアプリは、人体の構造を学ぶ課程の随所において、活用が可能であろう。本研究教育実践から得られた示唆は、大学以前の教育実践においても有用であると思われる。この場合、ARアプリのインストール先は、学生のスマートフォンではなく、タブレットが推奨される。タブレットの大きな画面に立体的に映し出された人体モデルを、VRゴーグルレスで観察することにより、眼精疲労やVR酔い

を最小限に抑えたグループ学習をすることが可能となるであろう。タブレットを一人一台持つことが推奨される時代において、X-R技術を使った立体視教材の開発と活用により、人体の構造を、時と場所を選ばずして一人でも3Dで学べる環境づくりが推進されることを期待したい。

6. おわりに

今回、拡張現実 (AR) 技術を用いて鎖骨下静脈穿刺用胸部モデル、三角筋注射・前腕部静脈注射用左側上腕・前腕モデル、中殿筋用臀部モデルの三つの三次元モデルを作成し、三次元で注射部位の理解を深める教材の開発を行った。その結果、本教材開発の利点としては、①作成者の望む人体モデルがデザインできること、②コンピューター言語を必要とせず誰でも簡単に教材を作製できること、③パーツの透明化や色付けにより、立体での解剖学的位置の把握がしやすいこと、④時や場所を選ばず学習ができることがあげられ、課題として①多様なスマートフォン間での互換性の確保、②現実の物体と3Dモデルに干渉できないこと、③操作性の改良が必要であることが明らかになった。

続いて行われた試行授業を通じて、①対象学生は、AR授業に興味をもち、面白いと感じていること、②AR授業により発展内容への理解と学習意欲が高まること、が示唆され、実践課題としては、①グループワークに適した会場設定と②アプリ操作の十分な説明と練習の必要性が、開発課題としては、新たに①VRゴーグルレスでも観察を可能にする単画面設定の開発や、②ARマーカーレスでも連続的な観察を可能にする設定の開発③揺れない安定したモデル表示の必要性が明らかになった。今後も、さらなる開発と実践研究により、大学以前の生徒に対しても、時と場所を選ばずして一人でも人体の構造を3Dで学べる環境づくりが推進されることが期待された。

謝辞

この研究を遂行するにあたり、技術面全般のサポートをいただいたHoloeyes株式会社の谷口直嗣氏、故相田秀行氏、折目怜央奈氏に感謝いたします。

文献

- 1) 経済産業省:平成28年度わが国におけるデータ駆動型社会に係る基盤整備調査研究報告書, 2017

- 2) Jack, P: Virtual reality and the transformation of medical education. *Future Health Journal*, 6 (3), 181-185, 2019
- 3) Martin, E., Julia, S.V., Christoph, M.F.: Augmented Reality in Medicine: Systematic and Bibliographic Review. *JMIR Mhealth Uhealth*, 7 (4), 2019
- 4) 向井加奈恵, 山口豪, 大島千佳, 石田陽子, 松田友美, 竹野ゆかり, 荒川満枝: 看護系大学における解剖生理学教育の実態調査. 形態・機能, 16 (1), 8-18, 2017
- 5) HIMSS: 2019 Healthcare Trends Forecast: The Beginning of a consumer-drive reformation, 2019
- 6) 中口俊哉: プロジェクション拡張現実技術の医療応用. 映像情報メディア学会誌, 71 (1), 18-23, 2017
- 7) 杉本真樹, 志賀淑之, 安部光洋, 日下部将史, 脊山泰治: 複合現実 Mixed Reality, 拡張現実 Augmented Reality, 仮想現実 Virtual Reality による空間認識医用画像手術支援. 臨床外科, 72 (8), 975-985, 2017
- 8) 山口直己, 藤崎恵美子, 栗田愛, 西由紀, 藤井徹也: 看護基礎教育における静脈注射に必要な解剖・生理学の教授内容に関する実態調査. 看護科学研究, 13, 22-29, 2015
- 9) 南妙子, 岩本真紀: 看護学生の皮下注射と筋肉注射の技術習得上の課題. 看護大学看護雑誌, 11 (1), 29-36, 2007
- 10) 戸倉康之: [新版] 注射マニュアル (1998, 初版. 2004, 第三版). 照林社, 東京, 2004
- 11) 待鳥裕志, 高山昂, 杉田薫: VRヘッドセットを利用するアプリケーションのためのマルチモーダルインタフェースの試作. 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 23, 22C-2, 2018
- 12) 藤本悦子, 横山正子, 今本喜久子: 看護学生による人体模型の作製とその過程における学習効果. 石川看護雑誌, 3 (1), 43-52, 2005
- 13) Lindsey M Warda, Chrystal Gaertnera,b, Lucrezia Oliviera, Layla Ajrezob, Zoï Kapoulaa, Vergence and accommodation disorders in children with vertigo: A need for evidence-based diagnosis, *Lancet*, 21, 2589-5370, 2020
- 14) Wei Cui et al: Optical mapping near-eye three-dimensional display with correct focus cues, *Optics Letters*, 42, 2475-2478, 2017