

令和 4 年 5 月 27 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K01584

研究課題名(和文) 視診・触診技術修得のための質の高い肩関節脱臼シミュレーションモデルの開発

研究課題名(英文) Development of high-quality shoulder joint dislocation simulation model for acquiring inspection and palpation techniques

研究代表者

林 省吾 (Hayashi, Shogo)

東海大学・医学部・教授

研究者番号：60349496

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：肩関節は最も脱臼しやすい関節である。肩関節脱臼を適切に診断し、治療するためには、発症時に適切な視診・触診が行われることが重要である。本研究の目的は、再現性の高い、肩関節脱臼の視診・触診シミュレーションモデルを開発し、その評価を行うことである。本研究では、再現性の高い肩関節脱臼の視診・触診シミュレーションモデルを開発するために、肩関節を構成する鎖骨、肩甲骨、上腕骨およびそれらに付着する筋の計測を実施した。さらに、それらのデータを基に、靭帯を脱着可能な肩関節モデルを設計した。設計したモデルは3Dプリンターで出力し、試作品を完成させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの肩関節脱臼のシミュレーションモデルは、主に徒手の整復の手技を学修することを目的としたものであり、診断上重要な解剖学的構造の再現はほとんど考慮されていなかった。肩関節脱臼は発症時に適切な診断が行われることが重要である。本研究で開発した肩関節脱臼モデルは診断に特化したものであり、治療を行う医師および柔道整復師のみならず、作業療法士、理学療法士、看護師、マッサージ師、さらには養護教諭なども広く肩関節脱臼の所見に触れることが可能となる。日常肩関節脱臼に遭遇する可能性がある幅広い職種が本モデルで学修することで、肩関節脱臼の早期発見に貢献することが期待される。

研究成果の概要(英文)：The shoulder joint is the most commonly dislocated joint. In order to properly diagnose and treat shoulder joint dislocation, it is important that appropriate visual and palpatory examinations are performed at the onset. The purpose of this study was to develop and evaluate a highly reproducible visual and palpatory simulation model of shoulder dislocation. In this study, we measured the clavicle, scapula, humerus, and muscles attached to them, which constitute the shoulder joint, in order to develop a highly reproducible visual and palpatory simulation model of shoulder joint dislocation. Based on these data, a shoulder joint model with detachable ligaments was designed. The designed model was output by a 3D printer, and a prototype was completed.

研究分野：解剖学

キーワード：解剖学 医学教育 シミュレータ 肩関節 外傷 診断 リハビリテーション

1. 研究開始当初の背景

肩関節は最も脱臼しやすい関節である¹⁾。また、肩関節脱臼は再発率が高く、約80%が初回脱臼後1年以内に再脱臼し、20歳以下では90%以上が再脱臼を経験するとも言われている。肩関節脱臼では、前方関節唇・下関節靭帯前索複合体(AIGHL complex)が関節窩から剥離するBankart損傷が94~97%に認められる。この結果、10~20歳代の初回肩関節脱臼の50%以上が再脱臼を生じて反復性脱臼に移行する(妻木ら, 1992)。反復性肩関節脱臼には、手術以外に治療法がない。反復性肩関節脱臼は高齢者では比較的まれであるが、高齢者では若年者と比べて若年者のそれと比べて肩関節が日常生活動作で容易に脱臼し、疼痛を伴うことが多い(山中ら, 1986)。

肩関節が脱臼しやすい理由として、1)骨同士の間接面積が少なく、骨同士による動きの拘束が少ないこと(右図参照)、2)膝関節などのように強固な靭帯がないこと、が挙げられる。また、肩関節脱臼が陳旧例になる原因について、1)修復後再脱臼、2)痙攣発作などの意識障害、3)接骨などでの治療、4)医療機関の誤診などがある(池上ら, 2006)。このように、肩関節脱臼は初回発症時に適切な診断と治療が行われることが重要である。肩関節脱臼の確定診断はX線検査により行うが、視診にて、肩関節の丸みが消失して扁平化し、肩峰の突出が目立つことで診断となる。また、触診により脱臼した骨頭を肩関節前方下に触れる。これらの所見で肩関節脱臼を疑われなければ、X線検査が行われないこととなり、陳旧例や反復性肩関節脱臼の発生につながる。

肩関節の動作時に作用する筋肉は、上腕骨頭の関節窩に対する求心性の力を常に働かせ関節の安定化に関与している深層の筋群(Inner muscles)である腱板と運動を効率よく行わせるための浅層の筋群(Outer muscles)である大胸筋や三角筋とに分ける事ができる。肩関節が動作時に安定した状態を保つためには、Inner muscleである腱板の機能と上肢を動かすOuter musclesの力とのバランスが最も重要である(筒井ら, 1992)。したがって、肩関節脱臼の診断には、骨、関節のみならず、触診可能なOuter musclesに関する知識と技術が必要である。さらにInner muscleである腱板も、肩関節脱臼の病態に関連する。

近年、実習用教材として、様々なシミュレーションモデルが開発されている。また、医学教育のみならず、コメディカル教育においても、客観的臨床能力試験(OSCE)の必要性が検討されている。OSCEでは実際の患者を診断、治療することは難しいため、模擬患者やシミュレーションモデルが評価に用いられる。したがって、視覚的、触覚的に質の高いシミュレーションモデルを開発することは、学修教材としてだけでなく、評価ツールとしても重要である。

我が国は、胸腔・心臓穿刺シミュレータ、直腸診シミュレータ、乳癌触診モデルなど、視覚的、触覚的情報が重要なモデル、シミュレータの多くが開発されており、その高い再現性は国際的に非常に高い評価を得ている。

2. 研究の目的

肩関節脱臼はスポーツ外傷や転落転倒時外傷として非常に一般的なものであり、医師に留まらず、柔道整復師、作業療法士、理学療法士、看護師、マッサージ師、養護教諭など、様々な医療関連職種が経験する可能性がある外傷である。しかしながら、肩関節は上述のように、骨同士による動きの拘束が少なく、強固な靭帯もないため、本来、触診が難しい関節である。また、これらの医療関係職種の養成過程(臨床実習)で、肩関節脱臼の診断および治療を直接経験することは難しい。

本研究の第一の目的は、再現性の高い、肩関節脱臼の視診・触診モデルを開発し、その評価を行うことである。これまでに開発された肩関節脱臼シミュレーションモデルは主に徒手の整復の手技を学修することを目的としたものであり、診断上重要な視覚・触覚的な質感の再現がほとんど考慮されていない。また、上述のように、肩関節脱臼の病態には、触診可能な浅層の構造だけでなく、触診できない腱板や靭帯も関わる。これらは骨の変位や可動域の制限に関与するが、これまでに開発されたシミュレーションモデルでは、これらの再現はほとんど試みられていない。

肩関節脱臼は発症時に適切な診断が行われることが重要であり、不完全な診断のもとに徒手の整復が行われることは、陳旧例や反復性脱臼のリスクを増やすことにつながる。本研究で開発した肩関節脱臼モデルは診断に特化したものであり、治療までを行う医学生・医師および柔道整復師だけでなく、作業療法士、理学療法士、看護師、マッサージ師、さらには養護教諭なども広く肩関節脱臼の所見に触れることが可能となる。

3. 研究の方法

(1) 肩関節の構造データ収集と骨変位の測定

それぞれの骨に付着する靭帯(肩鎖靭帯、烏口鎖骨靭帯、烏口肩峰靭帯)と筋(三角筋、烏口腕筋、肩甲下筋、棘上筋棘下筋、小円筋、大円筋)の形態と付着位置を、献体遺体の肉眼解剖学的観察と測定によって調査するとともに、一般的な日本人の公開データを収集した。これらのデータをもとに、3次元画像解析ソフトを用いて3次元画像モデルを作製した。症例ごとの測定値

を平均化することで、実際のモデルに使用する肩甲骨、鎖骨、上腕骨の位置を決定し、骨格モデルの設計を行った。

(2) 肩関節脱臼シミュレーションモデルの試作

肩甲骨、鎖骨、上腕骨の大きさと位置に基づいて、3D プリンターで骨格モデルを作製した。さらに、このモデルにそれぞれの骨に付着する靭帯（肩鎖靭帯、烏口鎖骨靭帯、烏口肩峰靭帯）を付着した。靭帯はそれぞれ骨から脱着可能なものとした。なお、肩関節脱臼は、上腕骨頭のずれる方向によって前方脱臼、後方脱臼、下方脱臼に分類されるが、前方脱臼が全体の 95%以上を占めるため、本研究の肩関節脱臼モデルでは、前方脱臼のみを対象とした。

4. 研究成果

(1) 肩関節の構造データ収集と骨変位の測定

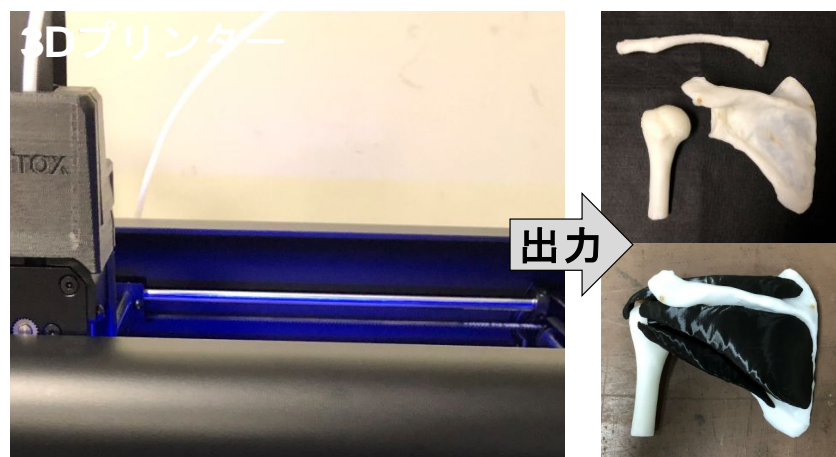
骨標本およびご遺体を用いて、肩関節および関連する靭帯、筋の計測を行った。鎖骨について、日本人遺体 10 体、計 20 例の鎖骨を複数の観測点における幅および厚さを矢状断面像を用いて測定し、内部構造（骨梁）および皮質骨率、海綿骨率を併せて観察、計測した（Yamura et al., 2018）。肩関節の形態的特徴について、インピンジメント症候群の病態との関連が明らかになった（Nishida et al., 2019）。さらに、肩関節の回旋運動における上腕二頭筋の長頭と短頭の動きを検討し、上腕二頭筋の形態変化が肩関節の安定性に寄与する可能性があることを示した（Katsuki et al., 2021）。

肩関節の観察、計測とともに、関連する全身の骨格系を併せて観察、計測した。肩関節が付着する胸郭の形状変化を三次元動作解析装置にて分析することで、前方頭部姿勢は、上位胸郭を拡張、下位胸郭を収縮させ、呼吸機能を減少させることが明らかにした（Koseki et al., 2019）。椎間板ヘルニア症例の CT データから 3D 画像を構築し、腰椎後方固定および側弯症や脱臼・骨折などにおけるスクリー刺入に必要となる、椎骨の解剖学的位置関係の計測・解析を行った（Shiboi et al., 2018）。また、肩関節の靭帯と併行して肘関節の観察を行い、付着する靭帯の形態と男女差を明らかとした（Kimata et al., 2019）。

(2) 肩関節脱臼シミュレーションモデルの試作

2019 年度以降、モデルを内製できる技術と施設を有する研究者を分担研究者に加え、実際の肩関節脱臼シミュレーションモデルの開発と試作を行った（下図）。

これまでの解析結果に基づいて、腱板および靭帯を 3D プリンターで形成し、既存の骨模型にこれらを付着することで、肩関節の構造を再現した。また、靭帯を脱着可能にすることで、正常および脱臼状態の肩関節いずれも再現できるようにした。さらに初期のモデルを改良し、骨性部は既存の骨模型を流用したが、これまでに収集した DICOM データを編集し、3D プリンタを用いて造形した。なお、素材は一般的なプラスチック素材である ABS 樹脂を用いた。さらに、回旋筋腱板と関節包について、一般的な日本人の公開データを基に柔らかな素材（ゴムライクな熱可塑性エラストマーフィラメント）でモデルを作成し、同様に 3D プリンタで出力した。



今後、さらに触診時の靭帯と筋の質感と、これらによる可動域の制限を正確に再現できるように、軟部組織（靭帯、筋）に用いる素材の検討を継続的に進めていく予定である。最終的には、既存の皮膚素材をかぶせ、肩関節脱臼モデルを完成させたい。なお、皮膚素材は靭帯と同様に着脱可能なものとし、取り外すことで靭帯、筋を観察できるようにする予定である。

<引用文献>

- 妻木 範行, 米田 稔, 岡村 健司, 他. 反復性肩関節前方(亜)脱臼における“Bankart lesion”の鏡視分類 術前診断における CT 関節造影の有用性. 肩関節 1992. 16:310-315
- 山中 芳, 福田 宏明, 三笠 元彦. 高齢者の反復性肩関節前方脱臼の 5 症例. 肩関節 1986. 2:226-231
- 池上 博泰, 小川 清久, 中道 憲明, 他. 陳旧性肩関節脱臼・脱臼骨折の観血的治療. 肩関節 2006. 30:389-393
- 筒井 廣明, 山口 光國, 山本 龍二, 他. 肩関節不安定症に対する腱機能訓練. 肩関節. 1992.

16:140-145

- Yamamura S, Hayashi S, Li ZL, Kawata S, Pieroh P, Nagahori K, Omotehara T, Miyaso H, Itoh M. Investigations of cortical and cancellous clavicle bone patterns reveal an explanation for the load transmission and the higher incidence of lateral clavicle fractures in the elderly: a CT-based cadaveric study. *Anat Sci Int*. 2018. 93:479-486
- Nishida N, Hayashi S, Kakizaki F, Koseki T, Kawata S, Sakabe K, Itoh M. Humeral Head Morphometry Can Predict the Presence of Subacromial Spurs: Measurements of Dried Bones from Human Shoulder Girdles. *Tokai J Exp Clin Med*. 2019. 44:9-14
- Katsuki S, Hayashi S, Tanaka R, Kiyoshima D, Qu N, Suyama K, Sakabe K. Morphological Change in the Biceps Brachii Muscles during Shoulder Rotation: A Cadaver Study. *Applied Sciences*. 2021. 11:9262
- Koseki T, Kakizaki F, Hayashi S, Nishida N, Itoh M. Effect of forward head posture on thoracic shape and respiratory function. *J Phys Ther Sci*. 2019. 31:63-68
- Shiboi R, Hayashi S, Kawata S, Li ZL, Pieroh P, Koga H, Takano Y, Inanami H, Itoh M. Anatomical relation between the accessory process and pedicle in the lumbar vertebrae. *Anat Sci Int*. 2018. 93:430-436
- Kimata K, Yasui M, Yokota H, Hirai S, Naito M, Nakano T. Transverse ligament of the elbow joint: an anatomic study of cadavers. *J Shoulder Elbow Surg*. 2019. 28:2253-2258

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Katsuki Shuji, Hayashi Shogo, Tanaka Ryuta, Kiyoshima Daisuke, Qu Ning, Suyama Kaori, Sakabe Kou	4. 巻 11
2. 論文標題 Morphological Change in the Biceps Brachii Muscles during Shoulder Rotation: A Cadaver Study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 9262 ~ 9262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/APP11199262	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kimata Kentaro, Yasui Masaya, Yokota Hiroki, Hirai Shuichi, Naito Munekazu, Nakano Takashi	4. 巻 28
2. 論文標題 Transverse ligament of the elbow joint: an anatomic study of cadavers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Shoulder and Elbow Surgery	6. 最初と最後の頁 2253 ~ 2258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jse.2019.04.048	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Koseki Taiichi, Kakizaki Fujiyasu, Hayashi Shogo, Nishida Naoya, Itoh Masahiro	4. 巻 31
2. 論文標題 Effect of forward head posture on thoracic shape and respiratory function	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physical Therapy Science	6. 最初と最後の頁 63 ~ 68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1589/jpts.31.63	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Naoya Nishida, Shogo Hayashi, Fujiyasu Kakizaki, Taiichi Koseki, Shinichi Kawata, Kou Sakabe, Masahiro Itoh	4. 巻 44
2. 論文標題 Humeral Head Morphometry Can Predict the Presence of Subacromial Spurs: Measurements of Dried Bones from Human Shoulder Girdles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Tokai Journal of Experimental and Clinical Medicine	6. 最初と最後の頁 9 ~ 14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamamura Satoshi, Hayashi Shogo, Li Zhong-Lian, Kawata Shinichi, Pieroh Philipp, Nagahori Kenta, Omotehara Takuya, Miyaso Hidenobu, Itoh Masahiro	4. 巻 93
2. 論文標題 Investigations of cortical and cancellous clavicle bone patterns reveal an explanation for the load transmission and the higher incidence of lateral clavicle fractures in the elderly: a CT-based cadaveric study	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Anatomical Science International	6. 最初と最後の頁 479 ~ 486
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12565-018-0437-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shiboi Ryutaro, Hayashi Shogo, Kawata Shinichi, Li Zhong-Lian, Pieroh Philipp, Koga Hisashi, Takano Yuichi, Inanami Hirohiko, Itoh Masahiro	4. 巻 93
2. 論文標題 Anatomical relation between the accessory process and pedicle in the lumbar vertebrae	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Anatomical Science International	6. 最初と最後の頁 430 ~ 436
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12565-018-0432-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 山村 聡, 林 省吾, 李 忠連, 河田 晋一, 永堀 健太, 表原 拓也, 宮宗 秀伸, 伊藤 正裕
2. 発表標題 老人鎖骨内部構造の観察
3. 学会等名 第123回日本解剖学会総会・全国学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 志保井 柳太郎, 林 省吾, 李 忠連, 河田 晋一, 永堀 健太, 表原 拓也, 宮宗 秀伸, 伊藤 正裕
2. 発表標題 腰椎副突起と椎弓根との位置関係の観察
3. 学会等名 第123回日本解剖学会総会・全国学術集会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	阿部 幸恵 (Abe Yukie) (20449218)	東京医科大学・医学部・教授 (32645)	
研究分担者	中澤 正孝 (Nakazawa Masataka) (40563474)	東京有明医療大学・保健医療学部・准教授 (32821)	
研究分担者	伊藤 正裕 (Itoh Masahiro) (00232471)	東京医科大学・医学部・主任教授 (32645)	
研究分担者	畑山 直之 (Hatayama Naoyuki) (80534792)	愛知医科大学・医学部・准教授 (33920)	
研究分担者	横田 紘季 (Yokota Hiroki) (50815876)	名城大学・理工学部・助教 (33919)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------