

平成 30 年 4 月 19 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26462241

研究課題名(和文) 生体内関節の三次元運動力学的動態解析システムの開発と臨床応用

研究課題名(英文) Development of in vivo 3D kinematic and electroencephalographic analysis system

研究代表者

佐原 亘 (Sahara, Wataru)

大阪大学・医学部附属病院・助教

研究者番号：80706391

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：以前当研究室で開発した人工膝関節を対象とした三次元動態解析システムを生体のあらゆる骨関節に適応できるようにするため、骨輪郭の抽出方法と奥行き誤差の補正方法を確立した。精度は 2° 、2mm以下であり、臨床的に使用可能と判断した。正常人を対象に外転位での回旋運動、挙上運動を動態解析し、様々な新しい知見を得た。更に骨関節のみの動態解析ではなく同時に筋電図解析を行うことで筋活動を含めた三次元運動力学的動態解析ができるシステムを新たに構築した。正常人、腱板断裂を対象にデータ収集を行い解析を進めている。

研究成果の概要(英文)：For adaptation of the 3D kinematic analysis system for artificial knee joints developed in our laboratory to any bone joints of the living subjects, we have developed methods for extraction of each bone contour and depth error correction. The accuracy was approximately 2° , 2 mm or less, which was clinically available. We analyzed 3D kinematics for normal subjects during axial rotation with abducted position and elevation, and obtained various new findings. Furthermore, we have newly constructed a system for 3D kinetics analysis including muscle activity by simultaneously conducting electromyography as well as the joint motions. We have collected and analyzed data for normal subjects and patients with the rotator cuff tears.

研究分野：三次元動態解析

キーワード：三次元動態解析 X線透視画像 3D CT画像 正常肩 異常肩 筋電図

1. 研究開始当初の背景

1) 以前当研究室で人工膝関節を対象とした三次元動態解析システムを開発した。生体のあらゆる骨関節に適応できるように改良するには、骨輪郭の抽出がきわめて煩雑であること、奥行き誤差を補正する方法を確立するという問題点を解決する必要があった。

2) これまで透視画像を用いた三次元動態解析と筋電図とを同時に解析するのは筋電図のリード線が透視画像に写るため行われていなかった。

2. 研究の目的

1) 以前当研究室で開発した人工膝関節を対象とした三次元動態解析システムを、生体の骨にも適応するために、骨輪郭の抽出方法を確立すること、奥行き誤差を補正する方法を確立すること

2) 靭帯や筋肉の付着部間距離や走行を三次元的に再現し、骨関節の動態と併せて考えることで靭帯や筋肉の機能を解明すること

3) 前述の骨輪郭の抽出用法と確立することで筋電図のリード線などのノイズの有無に関係なく動態解析が可能な新しいシステムを開発し、骨関節の筋活動を含めた三次元運動力学的動態解析を行うこと

3. 研究の方法

1) システムの開発と精度実験
正常ボランティアの肩関節を対象に透視画像と CT 撮影を行った。得られた透視画像を線画へ変換した。CT 画像から鎖骨、上腕骨、肩甲骨、第 1~4 肋骨の三次元骨モデルを作成。各骨モデルをオリジナルの透視画像に重ね合わせ、大まかな初期位置を決める。骨モデルの輪郭を利用して線画に変換した透視画像から骨輪郭を自動抽出し、ノイズを手作業で削除する。この方法により複数の骨や筋電図のリード線が重なっている状態であっても骨輪郭の抽出が可能となった。
胸部 X 線、CT 撮影用の医療画像用ファントム Medical Imaging Phantoms (Kyoto Kagaku Co., LTD., Kyoto, Japan) を用いて透視画像と CT 画像から得られた位置情報を比較することで精度検討を行った。
正常人 2 例 3 肩を対象に反復測定を行い、再現性についても検討した。

2) 正常人を対象とした動態解析
正常人 8 例 16 肩を対象に透視画像と CT 撮影を行った。動作は外転 0 度、90 度、135 度、最大外転位での内外旋運動と前方挙上、肩甲骨面挙上とした。
これらの動作における肩甲上腕関節での並進運動、回旋運動、体幹に対する肩甲骨、上腕骨の回旋運動、上腕骨頭に対する肩甲骨関節窩の三次元動態を解析した。また関節包靭帯の付着部間よりをシミュレーションすることで関節安定性と靭帯の役割について解

析した。

3) 患者を対象とした動態解析
腱板断裂 10 例、その他の疾患 2 例の画像撮影を行った。内 2 例は骨モデルを作成し解析を開始している。

4) 筋電図を用いた運動力学的解析
筋電図と動態撮影を同時に行ったのは、正常人では 2 例 3 肩、患者では 7 例 14 肩である。

4. 研究成果

1) システムの開発と精度実験
胸郭に対する鎖骨の測定誤差は 0.3-1.6°、0.7-1.9mm、肩甲骨は 1.0-1.4°、0.7-1.2mm、上腕骨は 0.7-1.1°、0.8-1.4mm であった。臨床的に最も関心のある肩甲上腕関節については 1.1-3.8°、0.4-1.1mm であった。
また反復測定の結果から臨床の有効最小誤差を算出すると胸郭に対する肩甲骨の動きは 0.6-3.0°、上腕骨は 0-12.5°、肩甲上腕関節は 0.4-2.6°、1.0mm であった。

2) 正常人を対象とした動態解析
外転位での回旋運動：
上肢回旋運動は投球など様々な overhead sports で要求される動作であり、骨頭中心の変位は投球障害の発生に関与すると考えられている。外転 0 度、90 度、135 度、最大外転位での内外旋運動を解析した結果、多くの新しい知見が得られた。まず胸郭上腕関節（胸郭に対する上腕の動き）の動きは胸郭肩甲関節（胸郭に対する肩甲骨の動き）と肩甲上腕関節の動きから構成されるが、外転位での回旋運動は 80%以上が肩甲上腕関節で行われる。更に、胸郭上腕関節、肩甲上腕関節ともに回旋範囲は外転 90 度を超えると徐々に減少したが、最大外転位でも約 45 度の回旋運動が可能であることが明らかとなった。その際の骨頭の並進運動については外転 0 度では上下方向に、外転 135 度及び最大外転位では前後方向に有意な動きを認めた。また関節の安定性に寄与するとされる関節包靭帯については、SGHL、MGHL は外転 0 度外旋位で、AIGHL は外転 90 度外旋位で、PIGHL は最大外転内旋位でそれぞれ最大となった。関節安定性と関節包靭帯との関連性が解明され臨床上有意義な結果が得られた。

挙上動作：
肩甲骨は上肢を挙上すると通常上方回旋、外旋、後傾するが、挙上角度を 165 度以上と未満で high 群、low 群に分けると、肩甲上腕関節での動きには差がないにも関わらず、low 群では high 群よりも有意に外旋が少なく関節面が前方を向いていることが明らかになった。これらの知見は肩甲骨へのリハビリテーションの重要性を示唆する結果であり、小胸筋などの軟部組織の柔軟性の改善や前鋸筋、僧帽筋中部、下部などの肩甲骨周囲筋の機能改善を行う必要があると考えられた。

また屈曲と肩甲骨面挙上で肩甲上腕関節の接触域がどうかかわるかも解明した。屈曲、肩甲骨面挙上ともに骨頭に対して関節窩は少し前方へ傾斜したまま動くという共通点を持っていた。一方、肩甲骨面挙上では関節窩は骨頭の中央を通過するのに対して、屈曲では骨頭の前方を通過した。

3)患者を対象とした動態解析

挙上動作：

腱板広範囲断裂では断裂程度が同じであっても挙上可能な症例と不可能な症例が存在する。まだ症例数が少ないためはっきりしたことは言えないが、その差は挙上初期に骨頭が上方変位するか否かが関与すると考えている。今後症例を増やすことでその差がはっきりするであろう。

4)筋電図を用いた運動力学的解析

挙上動作に伴い、三角筋、前鋸筋、僧帽筋下部、棘下筋はいずれも筋活動は増加した。Inner muscleである棘下筋は挙上75-90°付近でピークに達する。一方、肩甲骨上方回旋の主動筋である前鋸筋は上方回旋20度以降で急に筋活動が増加し、僧帽筋下部は最大挙上位付近で急に増加した。三角筋は挙上60度以降で急に筋活動が増加した。このデータをもとに腱板広範囲断裂の解析結果と比較することで、動態の異常だけでなく、筋活動の異常も明らかにできるであろう。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計9件)

1. 佐原亘, 菅本一臣, 吉川秀樹: 屈曲・肩甲骨面挙上時の上腕骨頭に対する関節窩の軌道の違い. JOSKAS 2015; 40(1):p68-69
2. 佐原亘, 芝野康司, 菅本一臣, 吉川秀樹: 下垂位及び外転位での上肢回旋運動の肩関節三次元動態の多様性. 肩関節 2015; 39(4): p879
3. 佐原亘, 芝野康司, 菅本一臣, 吉川秀樹: 外転135度及び最大外転位での上肢回旋運動の肩関節三次元動態. 肩関節 2016; 40(4):p1092
4. 佐原亘, 菅本一臣, 吉川秀樹: 上肢挙上回旋運動における骨頭中心の変位について. 肩関節 2017; 41(4): p852
5. 佐原亘, 菅本一臣, 吉川秀樹: 上肢挙上回旋運動における肩甲上腕靭帯の長さの変化について. 肩関節 2017; 41(4): p853
6. 投稿中
7. Sahara W, Yamazaki T, Konda S, Sugamoto K, Yoshikawa H: In vivo glenohumeral translation and glenohumeral ligament length during

internal and external rotation in varying degrees of abduction. J Shoulder Elbow Surg

8. Sahara W, Yamazaki T, Konda S, Sugamoto K, Yoshikawa H: Influence of humeral abduction angle on axial rotation and contact area at glenohumeral joint. J Shoulder Elbow Surg
9. Sahara W, Yamazaki T, Konda S, Sugamoto K, Yoshikawa H: Differences in 3D scapular kinematics influence on arm elevation angle in healthy subjects. J Shoulder Elbow Surg

[学会発表](計12件)

1. 佐原亘, 菅本一臣, 山崎隆治, 芝野康司, 吉川秀樹: 屈曲・外転時の上腕骨頭に対する関節窩の軌道の違い. 第6回 JOSKAS, 2014.7.24, 広島
2. 佐原亘, 芝野康司, 吉川秀樹, 菅本一臣: 下垂位及び外転位での上肢回旋運動の肩関節三次元動態の多様性. 第41回日本肩関節学会, 2014.10.24, 佐賀.
3. 佐原亘, 菅本一臣, 芝野康司, 吉川秀樹: 下垂位及び外転位での上肢回旋運動の肩関節三次元動態. 第88回日本整形外科学会学術集会, 2015.5.24, 神戸
4. 佐原亘, 菅本一臣, 吉川秀樹: 外転135度及び最大外転位での上肢回旋運動の肩関節三次元動態. 第42回日本肩関節学会, 2015.10.09, 仙台
5. 佐原亘, 菅本一臣: 上肢回旋運動時の肩関節三次元動態: 挙上角度による違い. 第2回京都リハビリテーション医学研究会学術集会, 2016.02.07, 京都
6. 佐原亘, 坂井孝司, 菅本一臣, 吉川秀樹: 上肢回旋運動時の肩関節三次元動態: 挙上角度による違い. 第53回日本リハビリテーション医学会学術集会, 2016.06.09, 京都
7. 佐原亘, 菅本一臣, 吉川秀樹: 上肢挙上回旋運動における骨頭中心の変位について. 第43回日本肩関節学会, 2016.10.21-22, 広島
8. 佐原亘, 菅本一臣, 吉川秀樹: 上肢挙上回旋運動における肩甲上腕靭帯の長さの変化について. 第43回日本肩関節学会, 2016.10.21-22, 広島
9. 佐原亘, 菅本一臣, 吉川秀樹: 上肢回旋運動における肩甲上腕靭帯の長さの変化について. 第128回中部整形外科災害外科学会学術集会, 2017.4.7-8, 神戸
10. 佐原亘, 吉川秀樹: 上肢回旋運動における肩甲上腕靭帯の長さの変化について. 第9回 JOSKAS, 2017.6.22-24, 札幌
11. 佐原亘, 菅本一臣: 肩のキネマティクスから考えるリハビリテーション. 第1回日本リハビリテーション医学会秋季学術集会. 2017.10.28-29, 大阪

12. 佐原亘, 菅本一臣, 吉川秀樹: 上肢挙上動作の三次元動態解析: 挙上角度の差は何から生じるか? 第 44 回日本肩関節学会, 2017.10.6-8, 東京

〔図書〕(計 2 件)

1. 佐原亘, 菅本一臣: 胸鎖関節、肩鎖関節、肩甲帯のキネマティクス. Journal of Clinical Rehabilitation, 2014; 23(3): p202-206
2. 佐原亘, 菅本一臣: 【リハ専門医が知っておくべき骨関節の 3 次元動態】鎖骨、肩甲骨のバイオメカニクス. 日本リハビリテーション医学 2016; 53(10): p750-753

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐原 亘 (SAHARA Wataru)
大阪大学医学部附属病院・リハビリテーション科 (整形外科)・助教
研究者番号: 80706391

(2) 研究分担者

菅本 一臣 (SUGAMOTO Kazuomi)
大阪大学大学院医学系研究科・運動器バイオマテリアル学講座・寄付講座教授
研究者番号: 40294061

山崎 隆治 (YAMAZAKI Takaharu)
埼玉工業大学・工学部情報システム科・准教授
研究者番号: 40432546