4 肘関節のバイオメカニクス

Biomechanics of the Elbow

岡 久仁洋^{*1, *2}
Kunihiko Oka

Key Words

肘関節／3次元／バイオメカニクス／キネマティクス／動態解析

要旨 肘関節には腕尺関節、腕橈関節、近位橈尺関節の3つの関節があり、屈伸運動と前腕回旋運動を行うことができる。安定した関節運動を行うための機構として内側側副靱帯、外側側副靱帯複合体があり、靱帯機能が破たんすることにより、肘関節拘縮、不安定性の原因となる。屈伸運動の回転軸の通過する位置は、上腕骨滑車中心の内側側副靱帯前斜走線維の付着部に一致するが、外側は屈曲肢位により外側側副靱帯付着部面に分布し、回転軸の軌跡は円錐状となる。前腕回旋軸は尺骨小窩と橈骨頭中心を通過し、前腕は、ほぼ一軸性の回旋運動を行う。これらの肘関節における解剖学的特徴と3次元の動態解析に基づいた運動機能について述べる。

はじめに

肘関節は上腕と前腕・手を連結する関節である。2種類の異なった運動である屈曲伸展機能と前腕回旋機能をもつことにより、手の空間的作業領域を広げ、効率的な運動を可能とする。摂食動作、整容動作などをスムーズに行い、また重量物の運搬や起き上がり動作時の荷重などの負荷に対して、安定した関節運動を行う。これらの肘関節の運動に関して解剖学的特徴から運動機能について述べる。

肘関節の形態的特徴

肘関節は、腕尺関節、腕橈関節、近位橈尺関節の3つの関節面をもち、内側側副靱帯と外側側副靱帯複合体で連結され、1つの関節包に包まれている。腕尺関節は肘関節屈伸運動を安定して行うための形態をもつ。上腕骨側の上腕骨滑車には中央よりやや外側に中央溝があり、くびれのある円柱状の形状である。矢状断面では円形に近似できる。尺骨側の滑車切痕は、中央溝に適合した陵があり、矢状面では半円状であり180°の関節面をもつ。冠状面で尺骨は上腕骨軸に対し10～15°外反しているため、肘関節伸展位では生理的外反肘となる。腕橈関節は肘関節屈伸運動と前腕回旋運動に参与している。上腕骨側の上腕骨小頭は、前方で半球状の関節形状をもつが、上腕骨後方には関節面をもたな

*1 大阪大学保健センター整形外科

*2 大阪大学大学院医学系研究科器官制御外科学（整形外科）（〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-2）

E-mail : oka-kunihiko@umin.ac.jp

い。橈骨頭は円柱状で、関節面中央は上腕骨小頭と同じ曲率で陥凹している。つまり、底の浅いボールアンドソケットの形状が前腕回旋運動と肘関節屈曲運動の2つの動きを可能としている。近位橈尺関節は、円柱状の橈骨頭側面と同じ曲率をもつ尺骨近位橈骨切痕で関節面を形成し、前腕回旋運動を行う。上腕骨遠位は上腕骨軸に対し35~45°前方に傾斜している。また、上腕骨遠位前方は尺骨鉤状突起がはまる鉤上窩がある。これらの特徴的形状により、肘関節は屈曲時に屈筋群を収納するスペースを確保し、屈筋群のボリュームによる屈曲制限を回避することができる。伸展時は肘頭が肘頭窩にはまることにより骨性の安定性を得る構造となっている¹⁾。

安定した肘関節運動を制御する機構が内側側副靱帯と外側側副靱帯である。内側側副靱帯は前斜走線維束、後斜走線維束、横走線維束の3つの線維束からなる(図1a)。前斜走線維束は最も強靱な線維束であり、肘関節の屈伸運動で靱帯長はほとんど変化せず、肘関節内側の安定性に最も寄与している²⁾。後斜走線維束は扇状に広がるように走行し、尺骨滑車切痕の内側に幅広く停止している。肘関節伸展位では短縮しているが、屈曲位で靱帯は伸張する。このため、靱帯が短縮している肘関節伸展位で、後斜走線維束が拘縮を起こすと肘関節の屈曲制限の原因となる。横走線維束は尺骨滑車切痕に沿って走行し、後斜走線維束を補強する。外側側副靱帯は、外側尺側副靱帯、橈側側副靱帯、輪状靱帯の複合体で形成されている(図1b)。外側尺側副靱帯の不全により後外側回旋不安定症(posterolateral rotatory instability: PLRI)を起こす³⁾。橈側側副靱帯は上腕骨外側上顆前方から起始し、輪状靱帯に付着する。輪状靱帯は橈骨滑車切痕の両端から起始し、橈骨頭を包み込むように走行している。近位橈尺関節の安定

性に寄与し、輪状靱帯の中で橈骨頭は安定した回旋運動を行うことができる。

肘関節の3次元動態

肘関節は腕尺関節、腕橈関節において屈伸運動を、腕橈関節、近位橈尺関節において前腕回旋運動を行うことができる。肘関節の正常可動域は伸展0~10°、屈曲140~150°、回外90°、回内85°である。日常生活に支障をきたさない肘関節の可動域は屈伸30~130°、回内80°、回外80°が必要である。

屈伸時の腕尺関節における荷重は、中央溝を中心として関節面全体に比較的均等に分散する(図2a)⁴⁾。腕橈関節の荷重中心は、橈骨頭を中心と一致し、上腕骨側では伸展から屈曲にかけて遠位内側から近位外側へ移動する。最大屈曲時には橈骨頭中心から橈骨頭前方のリムに荷重中心は移動する(図2b)。肘関節屈伸運動における回転軸は、一義的には上腕骨の前斜走線維束の付着部と外側尺側副靱帯の付着部を通過すると定義できるが、実際には屈曲から伸展にかけて連続的に変化している。肘関節回転軸は内側滑車中心を通過するが、外側は屈曲角度により外側側副靱帯付着部一帯に分布する。つまり、肘関節屈伸軸は内側滑車を頂点とした円錐状の軌跡をたどることになり、肘関節は完全な一軸性の動きではなく、螺旋状の動きを含んでいる(図3)⁵⁾。

肘の屈曲の動力には上腕筋、上腕二頭筋、腕橈骨筋の3つの筋肉がある。深層に上腕筋、浅層に上腕二頭筋、外側に腕橈骨筋が存在し、肘関節屈曲90°付近で最大筋力を発揮する。肘関節の伸展には上腕三頭筋と肘筋の動力があるが、肘筋はレバーアームが小さいため伸筋の作用は補助的な程度であり、伸展作用の大部分は上腕三頭筋が担っている。上腕三頭筋は肘関節屈曲30°付近で最大筋力を発揮することがで

図1 肘関節の靱帯
a：内側側副靱帯，b：外側側副靱帯複合体

図2 肘関節の荷重面
a：腕尺関節，b：腕橈関節

きる。

前腕回旋運動は遠位橈尺関節で橈骨の軽度のスライディング運動を一部含むが、全体として尺骨に対する橈骨の一軸性の回転運動で、回転軸は橈骨頭中心から尺骨頭の窩を通過する(図4)⁶⁾。近位橈尺関節は輪状靱帯で安定し、橈骨は橈骨頭を回転中心として回旋運動を行

う。前腕の回内には円回内筋と方形回内筋が動力となり、回外には回外筋と上腕二頭筋が動力となる。

文 献

- 1) Kapandji AI：カパンディ関節の生理学。医歯薬出版、東京、2006；pp76-103

図3 肘関節の屈伸軸

a: 屈伸軸は屈曲肢位により内側滑車を頂点に円錐状に変化する, b: 外側は外側側副靱帯附着部面上に分布する.

図4 前腕の屈伸軸

a, b: 尺骨小窩から橈骨頭中心を通過する.

- 2) Morrey BF, An KN : Functional anatomy of the ligaments of the elbow. Clin Orthop Relat Res 1985 ; **201** : 84-90
- 3) O'Driscoll SW1, Bell DF, Morrey BF : Posterolateral rotatory instability of the elbow. J Bone Joint Surg Am 1991 ; **73** : 440-446
- 4) Momma D, Iwasaki N, Oizumi N, Fujisaki K, Funakoshi T, Abe Y, Kamishima T, Tadano S, Minami A : Alterations in stress distribution patterns through the forearm joint surface of the elbow in baseball players assessed using computed tomography osteoabsorptionmetry. J Orthop Sci 2012 ; **17** : 253-260
- 5) Goto A, Moritomo H, Murase T, Oka K, Sugamoto K, Arimura T, Nakajima Y, Yamazaki T, Sato Y, Tamura S, Yoshikawa H, Ochi T : In vivo elbow biomechanical analysis during flexion : three-dimensional motion analysis using magnetic resonance imaging. J Shoulder Elbow Surg 2004 ; **13** : 441-447
- 6) Moritomo H, Noda K, Goto A, Murase T, Yoshikawa H, Sugamoto K : Interosseous membrane of the forearm : length change of ligaments during forearm rotation. J Hand Surg Am 2009 ; **34** : 685-691