

3. モーションキャプチャーと画像解析から 考えるスポーツサイエンス

原藤健吾*, 小林 秀*, 二木康夫*, 名倉武雄*

●1. はじめに

われわれは2002年にモーションキャプチャーシステムを導入し、現在でも臨床応用している。その目的は、大きく3つに分かれ、①障害予防、②病態解明、③治療効果の判定である。スポーツ分野では、膝前十字靭帯(ACL)損傷や再建術後、膝後十字靭帯(PCL)損傷、半月板損傷、最近ではACL損傷リスク評価のために健常人を用いたDrop vertical jumpやSingle-leg drop jumpの解析などを行ってきた。

また、画像診断も技術革新により、スポーツ分野で様々な研究が行われている。われわれは2016年から4DCTを導入し、健常者の解析をはじめとして、ACL損傷や膝蓋骨脱臼に関して解析を進めてきた。

モーションキャプチャーも画像解析も基本的には患健側を比較することが重宝されており、非対称性を議論することが多い。本稿では、左右差を中心にスポーツサイエンスについて述べてみたい。

●2. モーションキャプチャー

スポーツ分野のモーションキャプチャーとしては、これまでに重要な報告が多数存在する。ACL損傷患者におけるQuadriceps avoidance gait¹⁾、Pivot shift avoidance gait²⁾、Stiffening strategyはその代表であり³⁾、他にも健常者のDrop vertical jumpにおけるLanding Error Scoring SystemでACL損傷や再建後再損傷のリスクを評価するなどモーションキャプチャーを基にした重要な報

告は枚挙にいとまがない⁴⁻⁸⁾。

われわれも、モーションキャプチャーを用いて様々な報告をしてきた。Takedaらの研究では、ACL損傷膝を対側と比較し、特にHigh demanding taskにおいて代償として脛骨外旋位で動作をしていることが判明した⁹⁾。Hasegawaらは、ACL術後患者を経時的に評価し、術後1年でも左右非対称が残存している可能性を指摘した(図1)¹⁰⁾。またわれわれの研究で、ACL損傷患者に半月板損傷を伴うときは、歩行において矢状面でStiffening strategyを呈しているが、回旋不安定性が制御されていないことを報告した(図2)¹¹⁾。PCL損傷患者においては、IwataらがモーションキャプチャーとFluoroscopyから評価し、階段下りでの伸展位付近での不安定性が症状に関与していることを報告した¹²⁻¹⁴⁾。この報告でもStiffening strategy様の膝関節動態を呈しているが、われわれは更に円板状半月の歩行においてもStiffening strategy様の膝関節動態がみられることを報告した¹⁵⁾。このことから、ACL損傷患者の筋活動により特異的にみられると考えられていたStiffening strategyであるが、そのメカニズムの詳細は不明である。

ジャンプ動作の解析では、Hewettらは左右差の重要性を報告し、ACL損傷に関与する因子を図3のように示した⁴⁾。われわれも通常のジャンプ動作の解析に加え、疲労課題や二重課題、さらにSingle-leg drop landingなどの解析を続けている。しかしながら、ACL損傷予防の動作を獲得することで、アスリートのパフォーマンスが低下するという報告もあるため¹⁶⁾、今後の検討が必要であると考えている。

* 慶應義塾大学医学部整形外科科学教室

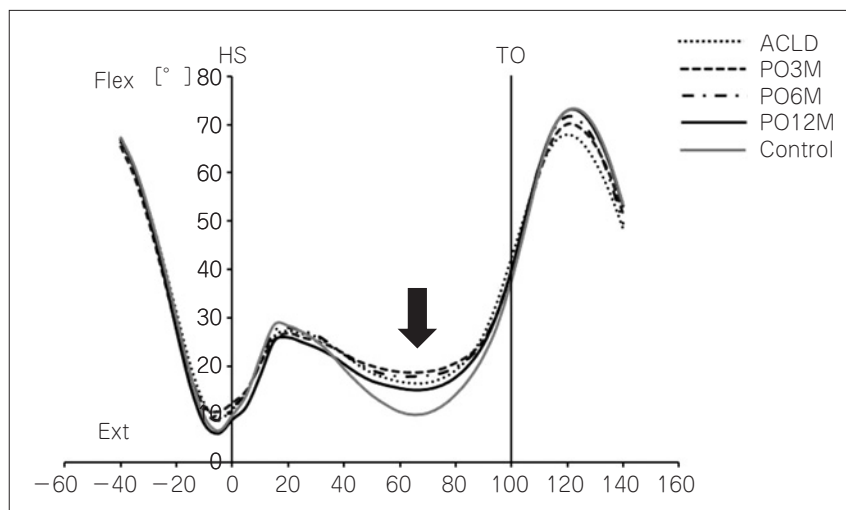


図1 ACL 再建術前後の経時的歩行解析 (矢状面, 文献 10 より改変し引用). 術後経時的に回復を認めるものの, 術後1年でもまだ左右差を認めている. HS: 踵接地, TO: つま先離れ.

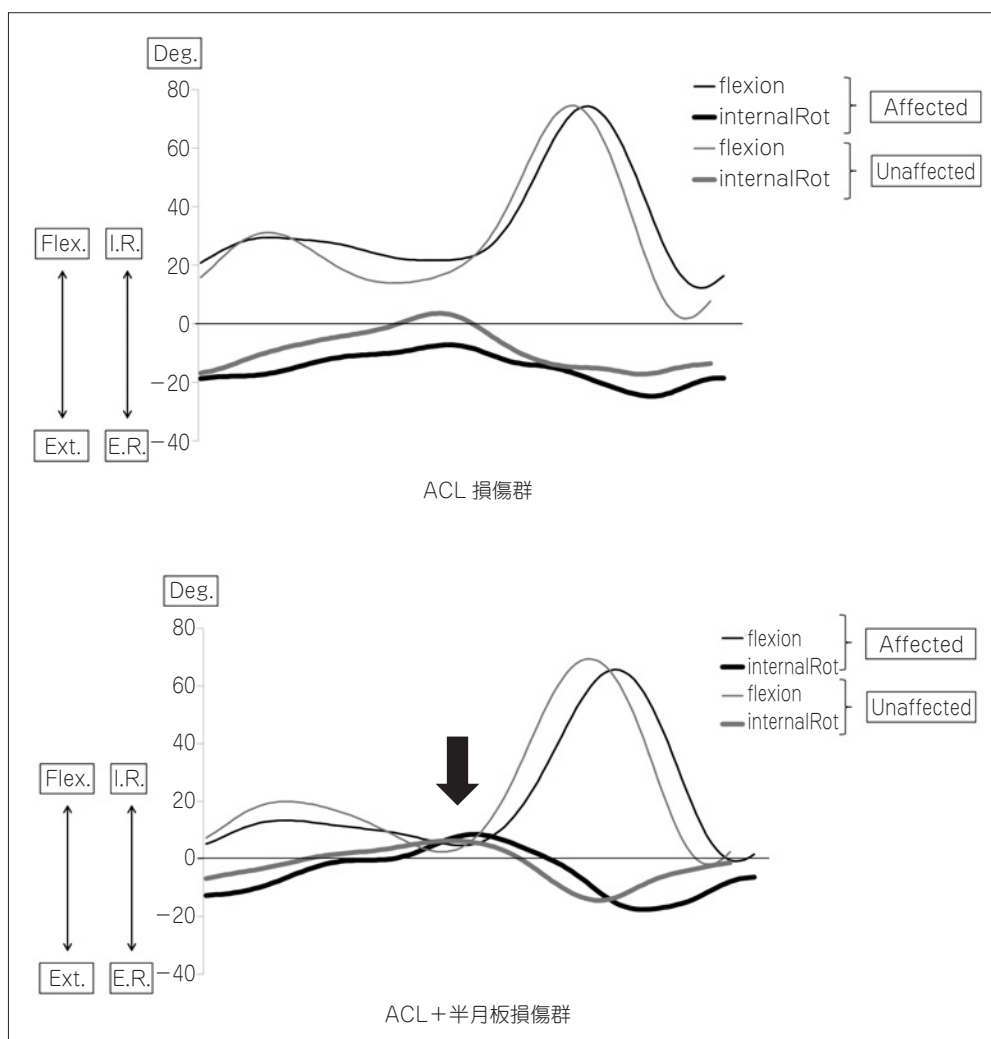


図2 ACL 単独損傷と半月板損傷合併群の歩行解析 (矢状面および水平面, 文献 11 より改変し引用). 矢状面で Stiffening strategy を呈しているも, 半月板損傷合併群では内旋方向の動きが大きくなっている (黒矢印). Flex: 屈曲, Ext: 伸展, I.R.: 内旋, E.R.: 外旋, Affected: 損傷側, Unaffected: 健側.

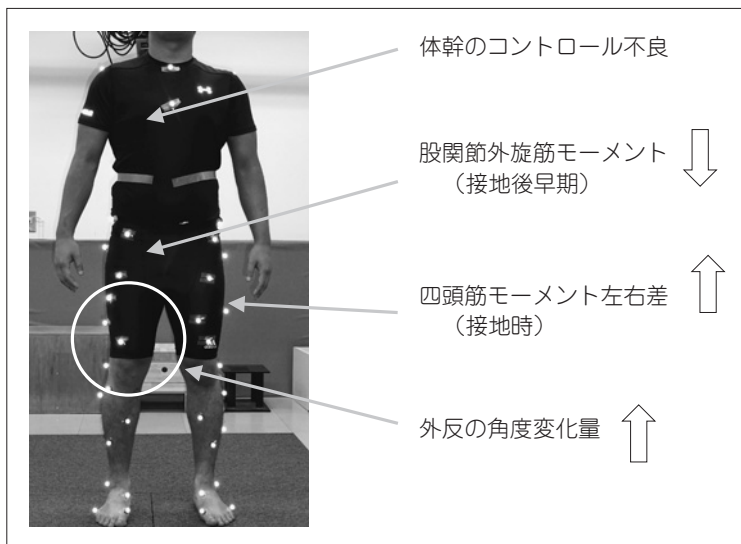


図3 ジャンプ動作の解析から考えられる ACL 再建術後再損傷の危険因子⁴⁾。患健側差が少ないことを推奨している。

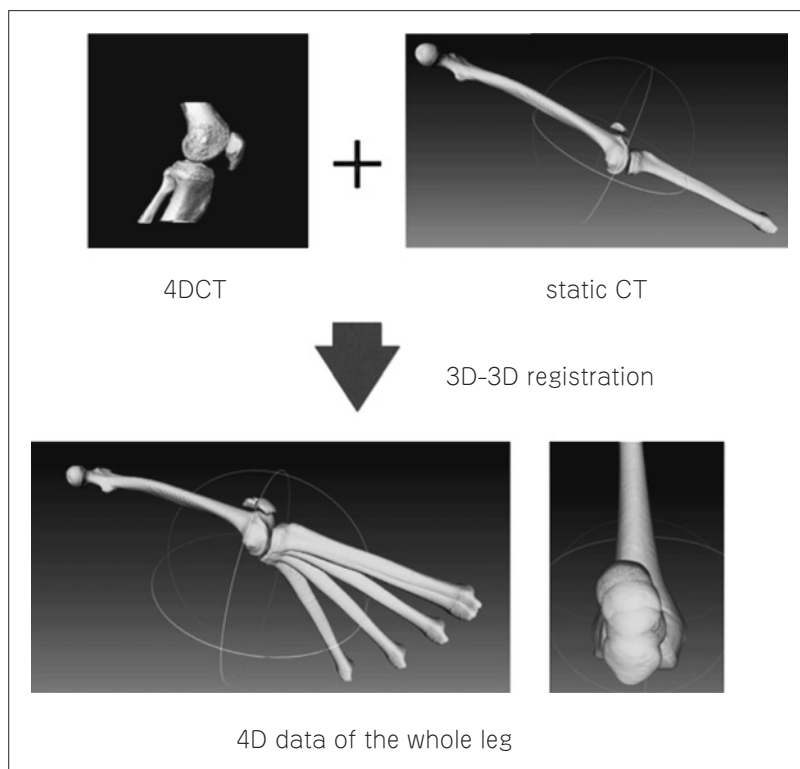


図4 4DCT の解析。3D-3D マッチングを行い関節動態を解析する。

●3. 画像解析

近年の技術革新によりスポーツ分野でも画像解析に関して様々な報告がなされている。われわれは4DCTを導入し、ACL損傷や膝蓋骨脱臼に関して解析を進めてきた。当院の4DCTは、320-slice CTスキャナー (Aquilion ONE, Toshiba Medical

Systems, Otawara, Japan)を使用し、16cmの範囲内を10秒間撮影可能である。得られたDICOMデータからマッチングを行い、関節動態を解析するという手法を用いている(図4)。当科の最初の報告として、Okiらは4DCTを使用して健常者の前腕のKinematicsを解析し報告した¹⁷⁾。今後はすでに計測を終了したデータを解析し、スポーツ分

野での応用を行っていく予定である。

●4. 今後の展望

モーションキャプチャーや画像解析は、近年飛躍的に進歩を遂げてきている。これらのツールを将来的に臨床に役立てることが目標であることは言うまでもないが、現時点では解析に時間がかかることが問題である。今後、正確かつ迅速に結果を出し、臨床にフィードバックもしくはフィードフォワードするためには、工学系を含めた各分野の協力が必要となるであろう。

文 献

- 1) Berchuck M, Andriacchi TP, Bach BR, et al. Gait adaptations by patients who have a deficient anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am.* 1990; 72: 871-877.
- 2) Fuentes A, Hagemester N, Ranger P, et al. Gait adaptation in chronic anterior cruciate ligament-deficient patients: Pivot-shift avoidance gait. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2011; 26: 181-187.
- 3) Hurd WJ, Snyder-Mackler L. Knee instability after acute ACL rupture affects movement patterns during the mid-stance phase of gait. *J Orthop Res.* 2007; 25: 1369-1377.
- 4) Hewett TE, Di Stasi SL, Myer GD. Current concepts for injury prevention in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2013; 41: 216-224.
- 5) Hewett TE, Myer GD, Ford KR, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med.* 2005; 33: 492-501.
- 6) Padua DA, Marshall SW, Boling MC, et al. The Landing Error Scoring System (LESS) Is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: The JUMP-ACL study. *Am J Sports Med.* 2009; 37: 1996-2002.
- 7) Padua DA, DiStefano LJ, Beutler AI, et al. The Landing Error Scoring System as a Screening Tool for an Anterior Cruciate Ligament Injury-Prevention Program in Elite-Youth Soccer Athletes. *J Athl Train.* 2015; 50: 589-595.
- 8) Hewett TE, Myer GD, Kiefer AW, et al. Longitudinal Increases in Knee Abduction Moments in Females during Adolescent Growth. *Med Sci Sports Exerc.* 2015; 47: 2579-2585.
- 9) Takeda K, Hasegawa T, Kiriyama Y, et al. Kinematic motion of the anterior cruciate ligament deficient knee during functionally high and low demanding tasks. *J Biomech.* 2014; 47: 2526-2530.
- 10) Hasegawa T, Otani T, Takeda K, et al. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Does Not Fully Restore Normal 3D Knee Kinematics at 12 Months During Walking and Walk-Pivoting: A Longitudinal Gait Analysis Study. *J Appl Biomech.* 2015; 31: 330-339.
- 11) Harato K, Niki Y, Kudo Y, et al. Effect of unstable meniscal injury on three-dimensional knee kinematics during gait in anterior cruciate ligament-deficient patients. *Knee.* 2015; 22: 395-399.
- 12) Iwata S, Suda Y, Nagura T, et al. Clinical disability in posterior cruciate ligament deficient patients does not relate to knee laxity, but relates to dynamic knee function during stair descending. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007; 15: 335-342.
- 13) Iwata S, Suda Y, Nagura T, et al. Clinical disability in posterior cruciate ligament deficient patients does not relate to knee laxity, but relates to dynamic knee function during stair descending. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007; 15: 258-265.
- 14) Iwata S, Suda Y, Nagura T, et al. Posterior instability near extension is related to clinical disability in isolated posterior cruciate ligament deficient patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007; 15: 343-349.
- 15) Harato K, Sakurai A, Kudo Y, et al. Three-dimensional knee kinematics in patients with a discoid lateral meniscus during gait. *Knee.* 2016; 23: 622-626.
- 16) Fox AS. Change-of-Direction Biomechanics: Is What's Best for Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Also Best for Performance? *Sports Med.* 2018; 48: 1799-1807.
- 17) Oki S, Inaba N, Matsumura N, et al. The relationship between the morphological axis and the kinematic axis of the proximal radius. *Surg Radiol Anat.* 2019; 41: 423-429.