

## 動作分析事業の分析例【診療及び健康運動指導、研究編】

### 1 変形性膝関節症患者の歩行分析～床反力の検討～

変形性膝関節症（膝 OA）は、膝関節面上の軟骨がすり減り、関節面が変形する疾患である。関節面の変形が進行するにつれて痛みが強まり、立ち座りや歩行等の生活動作に支障が生じる。日本国内における膝 OA の人口はX線による診断でも 1,700 万人（総人口の 13.3%）、その中で痛みを伴っている方は 510 万人（総人口の 4.0%）とされている。膝 OA は超高齢化社会に突入した国内において自立した生活を営む上では軽視できない疾患のひとつである。図 1 はX線による膝 OA の分類を示し、Grade-0～I を変形無し、Grade-II を初期変形、Grade-III 以上を中高等度変形に分類する。今回は、健常者や膝 OA 患者の歩行を測定し、床を踏むことで自分自身に返ってくる力（床反力）や膝運動の特徴を分析した。

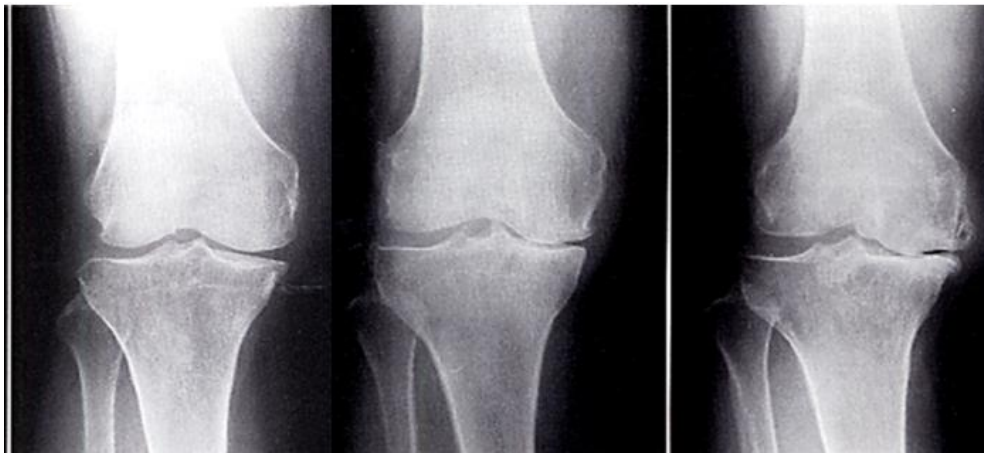


図 1 X線による膝 OA の分類：左から順に Grade-II、III、IV

対象は趣旨に同意を得た成人 39 名（男 15 名、女 24 名）とした。事前に身長や体重、体組成測定器による体脂肪率の測定と膝の X線撮影を行った。対象の全身に反射マーカを貼付し、モーションキャプチャーシステム VICON と床反力計を用いて歩行動作を測定した（図 2）。対象の分類として Grade-I 以下を変形無し、Grade-II を初期、Grade-III 以上を中高等度とした。

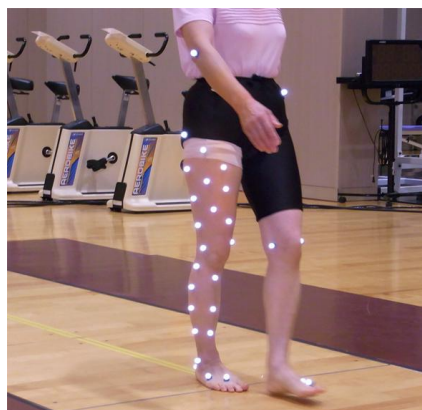


図 2 歩行分析

表 1 に対象の内訳と年齢、体型を示す。図 3 に歩行周期における膝屈曲角、図 4 に歩行立脚期における床反力の代表例を、表 2 にその平均と標準偏差を示す。ここで、立脚期とは足底が地面に接地している期間、遊脚期とは足底が地面から離れて脚を前に振り出している期間を意味し、歩行周期とは踵接地（0%）から立脚期と遊脚期を経て再度踵接地（100%）するまでを表すものとする。立脚期の床反力（図 4）は、一般的には 2 つのピーク（二峰性）が現れるものであり、最初のピークが現れる期間を衝撃期、2 番目のピークが現れる期間を荷重期とした。床反力合成とは、歩行方向に対する床反力の左右方向と前後方向、上下

方向の3成分を全て合成したもので、対象の体重で除して標準化（%体重）した。

表1を見ると、体格指数 BMI では変形無しと初期では差はなく、中高等度で高かった。しかし、体脂肪率では変形の度合が増加するにつれて高くなっていった。この結果から身長と体重だけで評価できる体格指数 BMI では膝 OA を予見するための肥満診断にはなりにくく、体脂肪率による直接的な肥満診断が必要不可欠であることが分かった。表2では、最大膝屈曲角が初期以降から小さくなっており、膝 OA の進行に伴って歩行中の膝屈曲範囲が狭くなっていることが分かった。最大床反力合成と平均床反力合成では進行度合による差は見られなかった。図3では、中高等度になると立脚期では膝がほぼ伸びた状態であり、接地した瞬間に受ける衝撃力を吸収しきれず、痛めた関節面への負荷が増加する可能性が示唆された。図4では、左右成分が中高等度になると大きくなり、体が左右に振られやすくなっていることが分かった。さらに、変形無しに見られた二峰性の波形が中高等度になると平坦になっていた。床反力の二峰性は体を前に移動するために地面を踏み込むことで出現する。中高等度になると二峰性の消失のために力の伝達機構が破たんしており、上半身等の代償運動で歩行していることが推測される。

表1 対象の内訳と年齢、体型（平均±標準偏差）

対 象	内訳[名] (男、女)	年齢[歳]	BMI	体脂肪率[%]
変形無し	10 (6、4)	48.6±21.3	23.9±3.5	23.0±7.7
初期	8 (3、5)	63.6±7.7	23.7±3.2	26.2±8.6
中高等度	21 (6、15)	70.1±7.7	26.5±3.6	32.1±9.0

表2 膝屈曲角と床反力の結果（平均±標準偏差）

対 象	最大膝屈曲角[度]		最大床反力合成[%体重]		平均床反力 合成[%体重]	床反力左右 成分[%体重]
	立脚期	遊脚期	衝撃期	荷重期		
変形無し	25.6±9.0	63.6±5.4	103.4±18.8	121.4±12.1	85.0±3.1	5.1±1.4
初期	19.5±7.5	60.2±8.7	105.9± 9.3	118.8± 4.9	84.7±2.7	5.7±2.7
中高等度	19.6±8.4	57.0±9.2	104.6±12.8	112.0±14.3	81.4±2.6	8.2±2.4

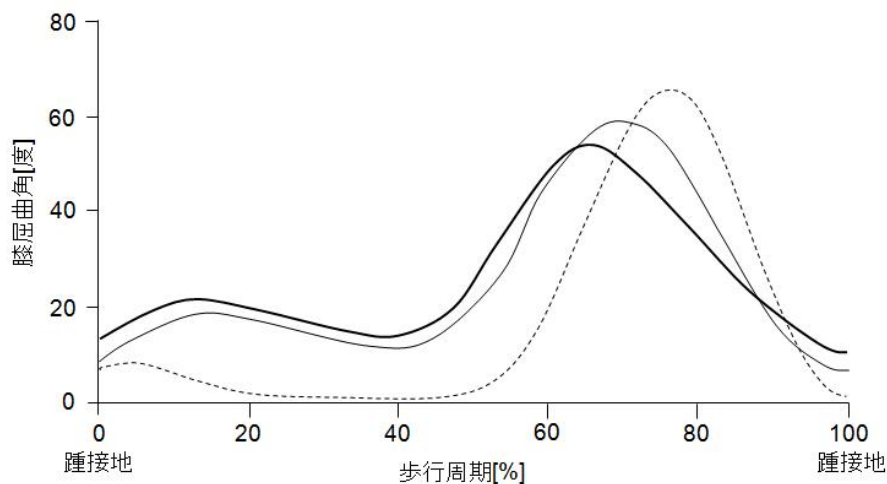
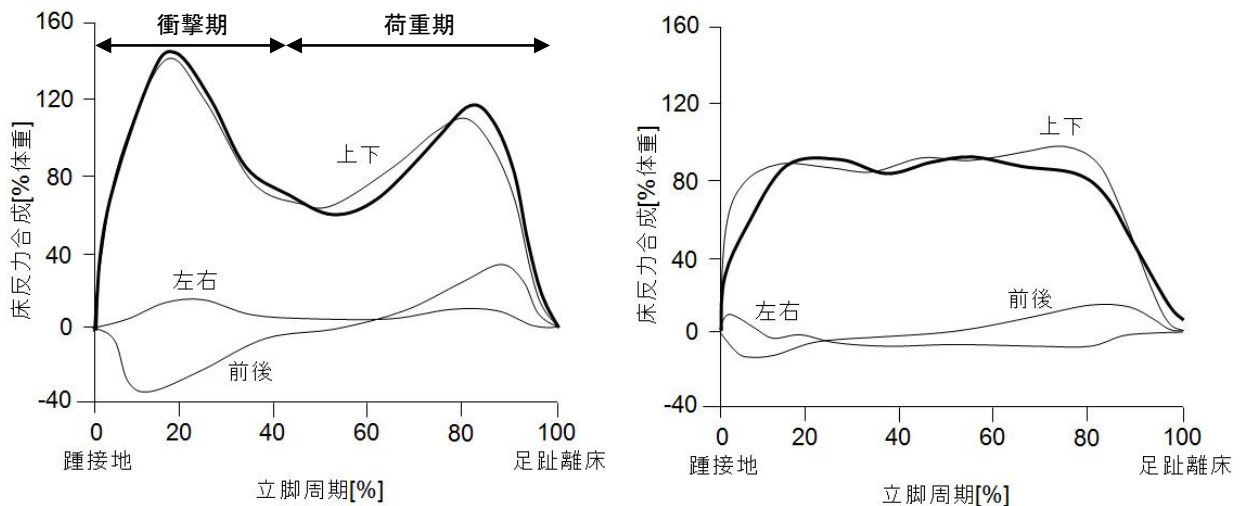


図3 歩行中の膝屈曲角の代表例：太線が変形無し、細線が初期、破線が中高等度



(1) 変形無し

(2) 中高等度

図4 歩行立脚期の床反力値の代表例：太線が各成分の合成

膝 OA は、加齢や活動強度、肥満、O脚が進行に影響することが知られており、進行を抑えるためにはできるだけ変形の度合いが小さいときに適切な予防を施すことが重要である。今回の結果から、膝 OA の予防には肥満軽減だけでなく、膝屈曲範囲の拡張（膝周囲の柔軟性の維持）や筋力強化等の処方が必要不可欠であることが分かった。今後は、床反力左右成分等の詳細な分析や関節モーメント等の膝関節にかかる負荷、上半身の動作による影響の分析が必要である。さらに、イス立ち座りや階段昇降等の他の生活動作による膝関節への影響も検討することが課題である。

## 2 前十字靭帯損傷用装具の制動効果の分析

膝前十字靭帯（ACL）の損傷は膝の不安定性を生じさせるため、競技スポーツに大きな支障を及ぼす。この ACL 損傷の保存治療や再建術後のスポーツ復帰等に膝装具が用いられているが、膝装具による安定化作用（制動性）について検証したものは少ない。そこで、この膝装具の制動性を様々な動作において分析した。

対象は趣旨に同意を得た ACL 損傷患者 7 名（男性 6 名、女性 1 名、平均年齢  $18.1 \pm 3.7$  歳）とした。膝装具は日本シグマックス株式会社製 DONJOY 4titude knee brace を用いた。対象の全身に反射マーカを貼付し、モーションキャプチャーシステムを用いて(1)膝屈曲座位での膝回旋、(2)10m 歩行、(3)片脚スクワット、(4)片脚ホッピングの 4 つの動作を測定した（図 1）。この測定を膝装具無しと有りの 2 つ条件で行った。膝装具の制動性は、動作開始から終了までの膝屈曲量や回旋量、前後方向への移動量で評価した。

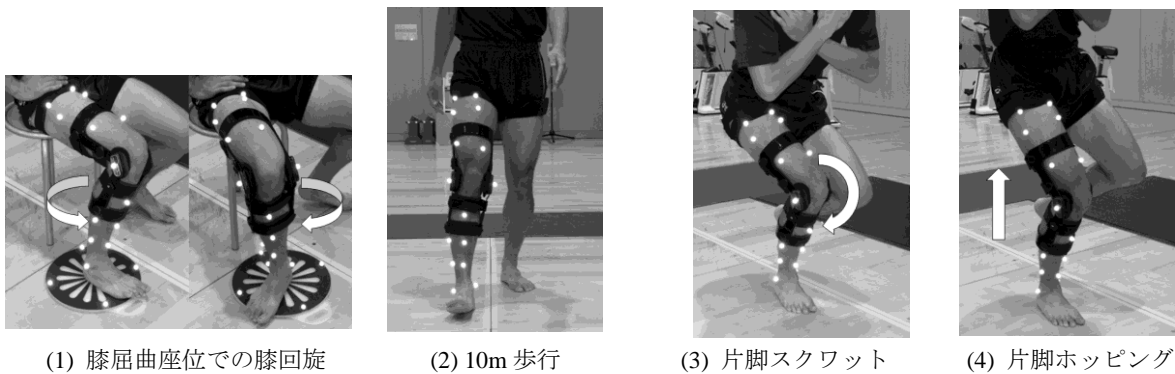


図1 動作の種類

動作中の身体重心（Center of gravity, COG）と膝関節中心（Knee-joint center, KJC）の軌道を図2のように図示し、左右側への急激な変動を観察した。さらに、(3)片脚スクワットと(4)片脚ホッピングでは動作した時間やジャンプの高さも評価した。

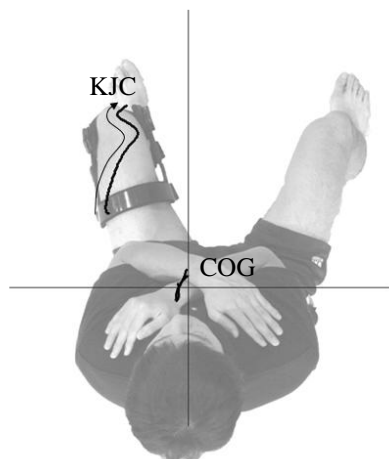


図2 身体重心（COG）と膝関節中心（KJC）の左右側への変動評価（上から見た図）

表1に各動作における分析結果を示す。膝回旋では、装具無しに比べて有りの時の回旋量が減少していた。膝への荷重がかかる歩行立脚期では、装具を着けることによって回旋量と前後移動量が減少した。片脚スクワットと片脚ホッピングでは装具装着有無の差が見られなかったが、片脚スクワットでは屈曲量でわずかに増加の傾向、片脚ホッピングではジャンプ前後の最大屈曲角とジャンプ高で増加の傾向が見られた。COGとKJCを観察すると、装具を着けることによってKJCの左右側への急激な変動が低減した症例が3例、装具を着けてもKJCの変動が低減しなかったがジャンプ高や屈曲量が増加した症例が4例あった。

膝回旋や歩行のような膝にかかる荷重が比較的小さい動作では、装具を着けることによってACLの機能と関係する前方移動と回旋が減少したことから、装具が膝への保護機能を持っていることが分かった。一方、膝に高い荷重かかる片脚スクワットや片脚ホッピングでは、装具の制動効果を客観的に表すことができなかったが、対象毎に動作を観察すると制動効果がある症例やジャンプ高や屈曲量等のパフォーマンスが増加した症例が見られた。以上から、今回検討した膝装具は、ある程度の運動では制動効果があることが分かったが、今回の条件では一定の傾向を得ることができなかったため、今後更なる検討が必要である。

表1 各動作における分析結果（\*：p<0.05）

		膝装具無し	膝装具有り
(1) 膝回旋	回旋量[度]	12.6±6.6	5.4±2.1*
(2) 10m 歩行：立脚期	屈曲量[度]	32.8±6.2	29.2±6.0
	回旋量[度]	19.5±4.9	11.7±9.1*
	前後移動量[mm]	48.4±13.9	32.6±11.6*
(3) 片脚スクワット	屈曲量[度]	65.0±8.5	67.8±5.8
	回旋量[度]	10.4±4.5	10.5±3.4
	動作時間[秒]	1.273±0.207	1.231±0.274
(4) 片脚ホッピング	ジャンプ前最大屈曲角[度]	62.9±11.0	69.6±11.0
	ジャンプ高[cm]	7.5±2.5	8.7±2.7
	着地後最大屈曲角[度]	47.8±9.7	53.1±12.4
	着地後回旋量[度]	5.1±1.9	5.2±2.7

### 3 スポーツ障害を考慮したバスケットボール選手のジャンプ着地とカットティング動作の分析

膝の前十字靭帯損傷は競技スポーツで発症する障害で、ジャンプ着地やカットティング等の動作が多いバスケットボール競技でも多発することが知られている。そこで、モーション・キャプチャー・システム VICON を使って大学生バスケットボール選手のジャンプ着地動作とカットティング動作を撮影して、障害を引き起こす可能性のある動作を分析する活動に取り組み始めた。

平成 24 年度現在までに男性選手 22 名、女性選手 25 名の計 47 名の動作を分析し、障害予防を目的としたトレーニング法の開発に繋がられるよう、検討している状況である。

### 4 マウスピースの効果の検討

競技スポーツで用いるマウスピースは、歯列の噛み合わせを矯正することで主に次の 2 つの効果を期待している。

- (1) 顔面等への衝突が多い競技スポーツにおいて口腔部の外傷や脳への振動を軽減する。
- (2) 噛み合わせ矯正によって頭頸部周辺の筋活動を改善することで高いパフォーマンスを発揮させる。

今回、歯科大学と共同で(2)の効果を検証するために、噛み合わせ矯正の有無による立位静止時の安定性や脚伸展パワー発揮能力を測定し、同時に筋電図を用いて頭頸部周辺の筋活動を計測した。平成 24 年度現在までに男性 15 名を計測し、データを分析している状況である。



図 1 頭頸部周辺の筋活動の計測