

(添付資料)

財団法人 長寿科学振興財団
長寿科学総合研究推進事業
若手研究者育成活用事業
研究実績報告書

1. リサーチレジデント氏名 岩本 航

2. リサーチレジデント期間

平成 22 年 4 月 1 日～平成 23 年 3 月 31 日

3. 受入機関

名称 : 慶應義塾大学病院

所在地 : 東京都新宿区信濃町 35

4. 研究指導者

所属 : 慶應義塾大学病院スポーツ医学総合センター

職名 : 教授

氏名 : 松本 秀男

5. 研究課題

動作解析装置を用いた歩行障害・ADL 障害の解明に関する研究

6. 研究活動

①概要

平成 22 年 4 月 1 日より上記 4 の研究指導者のもと動作解析装置を用いた歩行障害・ADL 障害の解明に関する研究を課題とした。本研究は平成 20 年度より当施設において行われており、本年度は 3 年目の最終年度にあたる。そこで過去 2 年間の研究の継続し新たなデータを追加し集計を行った。さらに過去 2 年の調査では得られたデータと臨床的なパラメーターとの相関を調べていたため、過去 2 年間で比較していなかったパラメーターに対してどのような相関があるのかを調査した。

②内容

当施設では、動作解析装置を用いたバイオメカニクス研究が行われており、様々な動作中の関節の動きや、関節にかかるモーメントなどを計測し分析していた。

平成 20 年度から、変形性膝関節症患者の歩行障害・ADL 障害の解明を行うために、動作解析装置による変形性膝関節症患者の歩行解析を重点的に開始した。

この計測結果から変形性膝関節症患者における歩行中の膝関節の動きや様々な関節負荷指標に関するデータを得ることができたため、それらのデータが臨床症状や重症度・下肢アライメントなどの臨床的パラメーターといかに関連するのか調査してきた。

そこで、過去二年間の研究を継続し、得られた研究結果をもとに変形性膝関節症患者の障害となる病態を解明し疾患の早期診断・予防の一助とすることを主な目的とし研究に着手した。

着任後より、主任研究者松本秀男から変形性膝関節症の基礎・診断・治療に関して学んだ、またバイオメカニクス研究室で分担研究者の名倉武雄から、身体運動のバイオメカニクスに関わる基礎的事項を学びながら、歩行解析に必要な動作解析装置の使用方法を習得した。松本および名倉は、変形性膝関節以外の歩行・動作解析に関しても取組み、多くの知見を集積していた。その研究結果を学ぶことで膝関節疾患における正常・異常歩行について幅広い知識を得ることができた。

本年度の研究も、内側型変形性膝関節症による膝痛を愁訴とし整形外科外来に通院されていた患者を対象とした。その中でも保存的治療にて改善を認めず、全人工膝関節置換術の適応となった患者に、研究の意図と十分な説明を行い同意を得られた患者のみを研究対象とした。

研究室にて対象患者の歩行計測を行い計測結果を解析し分析を行った。得られた結果にグラフや説明を加え、資料として患者および執刀医に提供した。

【計測・解析方法】本年度も過去2年間の研究と同様の計測方法を行った。被検者の両下肢の6箇所反射マーカ―を添付し、4台の赤外線カメラおよび床反力計を用いて120Hzにて歩行解析を行った(図1)。研究室内の約10メートルの直線を、被検者の疼痛の範囲内で自然な速度で歩行させた。両側ともに二度良好なデータが得られるまで計測を行った。

過去二年間の研究では、この方法を用いて内側型変形性膝関節症患者34例44膝を対象に計測を行っている。具体的には、床反力計により得られた値からInverse Dynamics法を用いて、歩行中の膝内反モーメントを算出し、股関節・膝関節・足関節外側の3つのマーカ―を使用し歩行中の下肢内反角(=マーカ―大腿骨脛骨角)を算出している。得られた下肢内反角から、立脚期における最大内反角と接地時内反角の差(内反スラスト量)を算出している(図2)。これらの動的なパラメーターとHSSスコア、Kellgren-Lawrence分類による重症度、単純X線による立位のFTAなどの静的なパラメーターとの関連を多元的統計解析により調査している、その調査によれば、内反スラスト量と重症度(K-L分類)が有意に相関($P=0.000089$) (図3)、膝内反モーメントと重症度(K-L分類)も有意に相関($P=0.00012$) (図4)、内反スラスト量と膝内反モーメントはいずれの重症度(K-L分類)でも正の相関を示す($R=0.73$) (図5)、また膝内反モーメントと内反スラスト量もいずれの重症度(K-L分類)においても正の相関を示す($R=0.47$) (図6)という結果が得られたとしている。

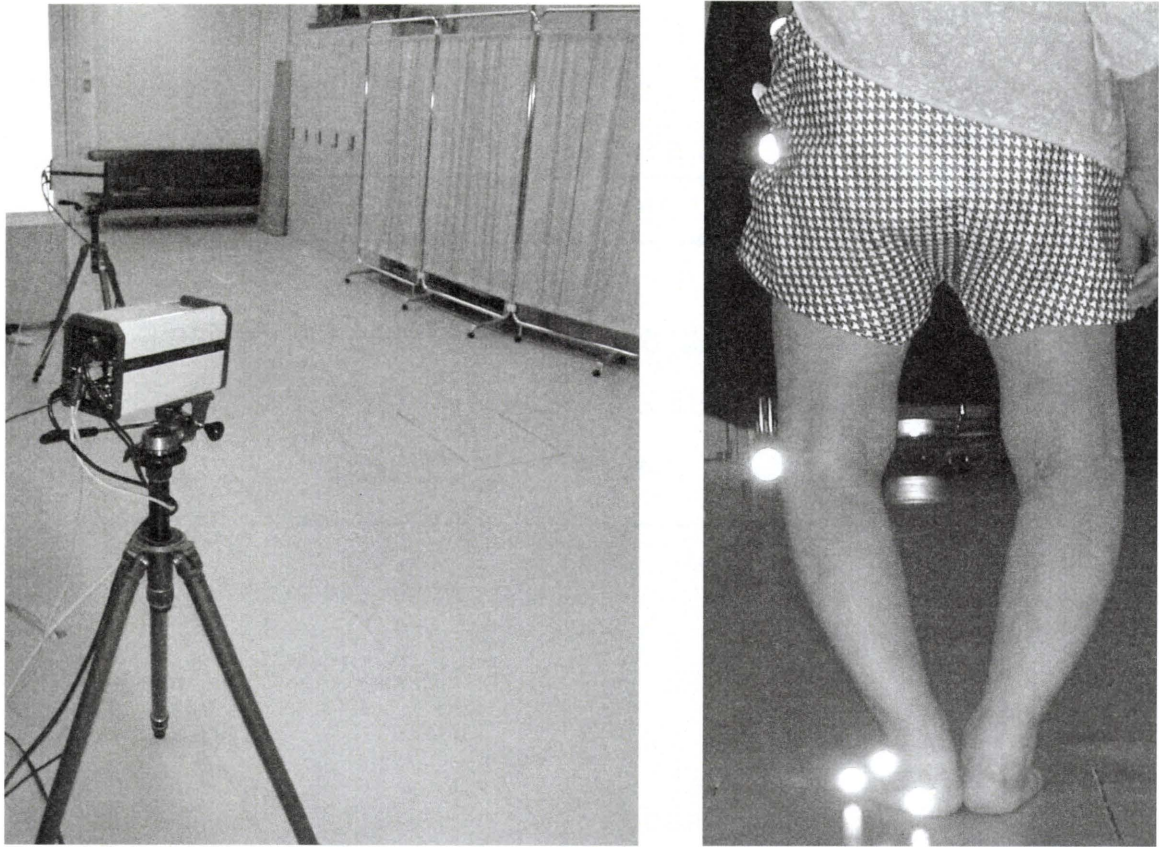


図 1 3次元歩行解析装置と反射マーカ

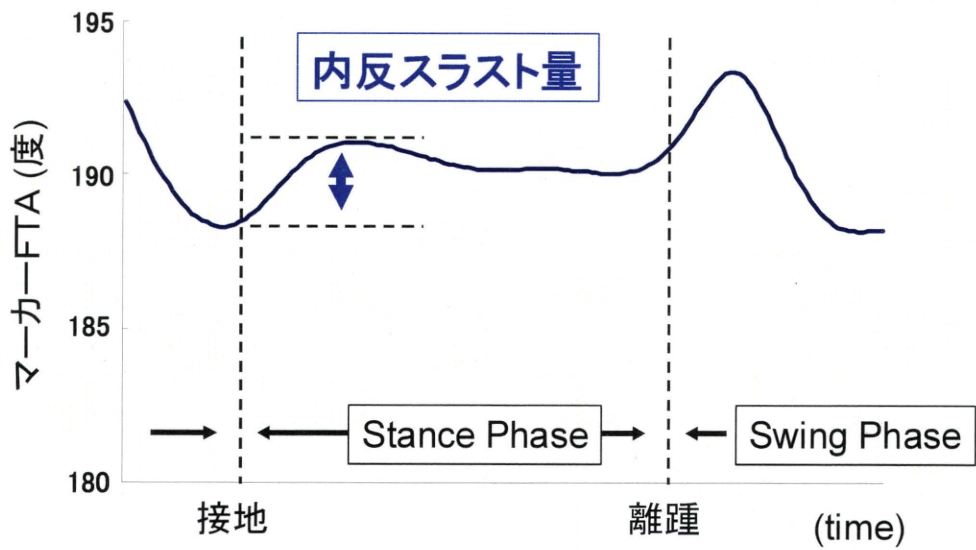


図 2 マーカ F T A と内反スラスト量

	Kellgren-Lawrence		
	Grade 2	Grade 3	Grade 4
Number of subjects	25	13	6
マーカFTA (heel strike)	182.8 ±4.5	187.3 ±3.8	189.5 ±7.7
マーカFTA (first peak)	185.2 ±4.8	190.1 ±4.3	196.7 ±5.0
内反スラスト量	2.4 ±1.3	2.8 ±1.4	7.2 ±5.3

内反スラスト量と重症度 (K-L grade) は有意な相関を示した (p=0.00089)。

図3 マーカーによる内反角および内反スラスト量

	Kellgren-Lawrence		
	Grade 2	Grade 3	Grade 4
Number of subjects	25	13	6
膝内反モーメント(%BW*Ht)	3.6 ±1.5	3.9±1.2	6.9±2.2

膝内反モーメントと重症度 (K-L grade) は有意な相関を示した (p=0.00012)。

図4 膝内反モーメントと重症度

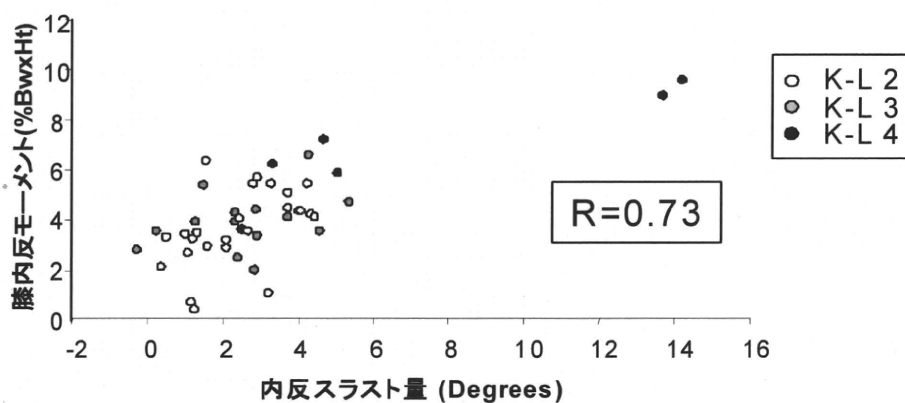


図5 膝内反モーメントと内反スラスト量の関係

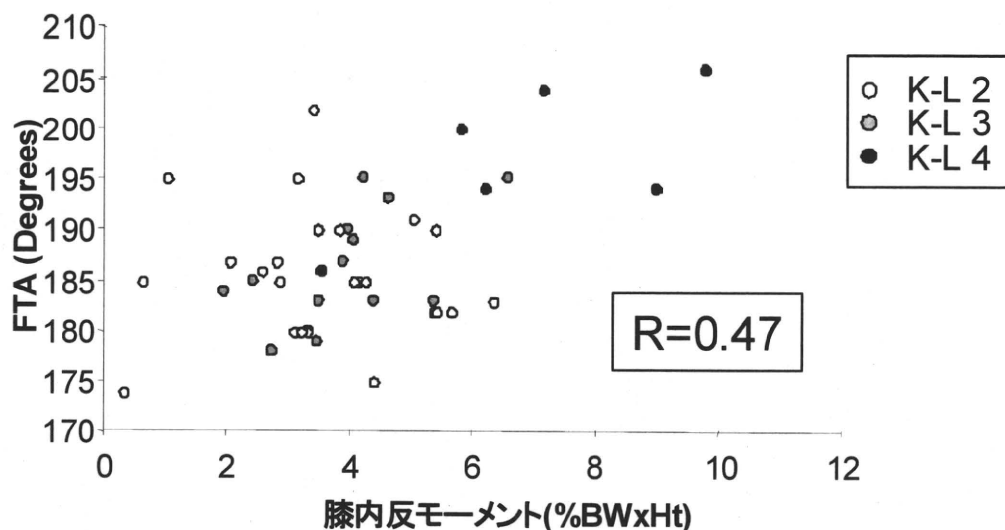


図5 下肢アライメント (F T A) と膝内反モーメントとの関係

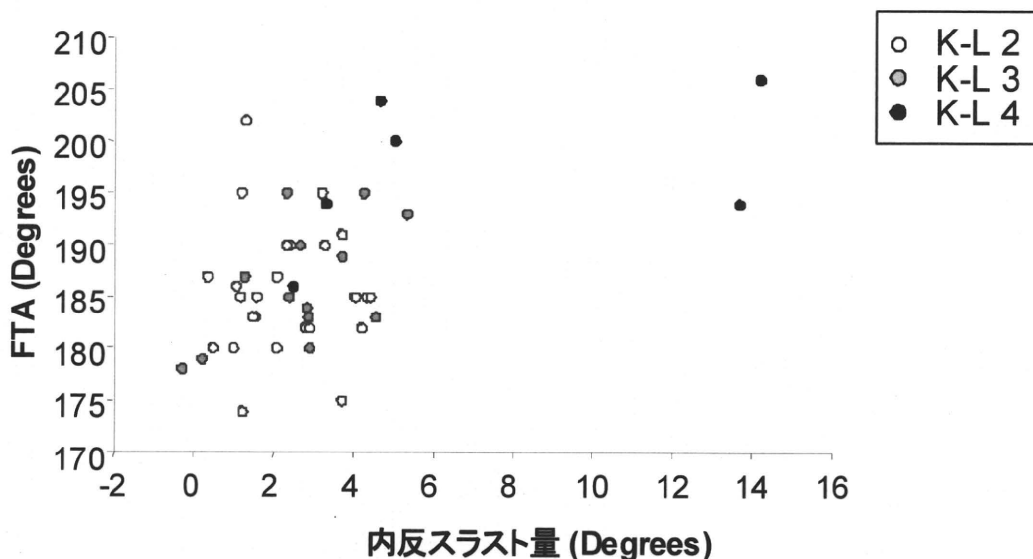


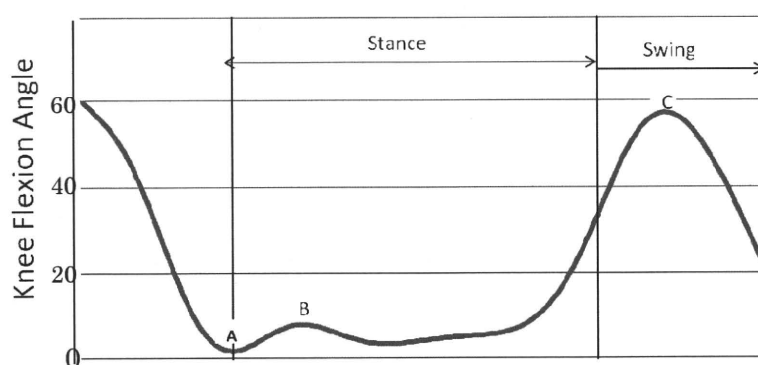
図6 下肢アライメント (F T A) と内反スラスト量の関係

本年度は、この先行研究を継続し、被検者数を増やすことに加えて、臨床的パラメータとして被検者の安静時の膝関節の伸展・屈曲可動域を計測し、歩行解析から得られた歩行中の膝伸展・屈曲角度とどのように相関するのかを検討した。

③成果

平成 22 年度の研究成果を示す。平成 22 年 4 月 1 日から平成 23 年 3 月 31 日までの期間に、内側型変形性膝関節症患者 45 例 53 を対象とした。平均年齢は 71 歳、性別の内訳は男性 6 膝、女性 47 膝であった。被検者の立位下肢全長の単純 X 線を撮影し大腿骨脛骨角を計測した。被検者を仰臥位にし膝関節可動域の測定を行った。先行研究と同様の計測を行い、床反力値から Inverse Dynamics 法を用いて歩行中の膝内反モーメントを算出した。さらに歩行中の膝最大伸展角度・立脚期屈曲角度・遊脚期最大

屈曲角度を算出した。膝内反モーメントは被験者の身長・体重により標準化した。この静的なパラメーターと歩行中の動的なパラメーターに対して比較検討を行った。大腿骨脛骨角と膝内反モーメントの相関関係については、Pearson 相関係数を用いて分析した($p < 0.05$ を有意差ありとした)。さらに、膝伸展制限および屈曲制限が、歩行時の膝伸展角度・屈曲角度とどのように関係するのかを調べるため、10度以上の伸展制限のある群(伸展角度 平均: -11.5度)とない群(伸展角度 平均: -2.1度)の2群に患者を分け、その2群間で歩行時の最大伸展角度、および立脚初期の屈曲角度の変位量(Midstance Knee Flexion Angle)を調べた。さらに120度以上の屈曲制限のある群(屈曲角度 平均: 103.7度)とない群(屈曲角度 平均: 136.0度)の2群に患者分け、その2群間で遊脚期の最大屈曲角度(Maximum Knee Flexion Angle)に差があるのかを調べた。(図7) 有意差の検定は、Mann-Whitney 検定を用いた($p < 0.05$ を有意差ありとした)。



- ・最大伸展角度(A)
- ・立脚初期の屈曲角度変化量(B-A)
- ・最大屈曲角度(C)

図7 歩行中の膝屈曲角度

【結果】FTA (184.6 ± 6.70 (171-202)度)) と膝内反モーメント (6.64 ± 2.14 (2.24-12.36)%体重×身長) との相関係数は $R=0.65$ であり、中等度の正の相関を認めた。(図8)

伸展制限を認めない群では接地時の膝屈曲角度の平均値は $7.0 \pm 5.7^\circ$ 、立脚初期の屈曲角度の平均値は $15.6 \pm 8.2^\circ$ であり、伸展制限を認める群ではそれぞれの平均値は $11.6 \pm 6.9^\circ$ 、 $15.9 \pm 8.6^\circ$ であった。2群間を比較すると接地時の屈曲角度は、伸展制限のある群で有意に大きかった ($p=0.046$) が、立脚初期の屈曲角度には有意差を認めなかった ($P=0.933$)。

また、屈曲制限を認める群での遊脚期の最大屈曲角度の平均値は $51.0 \pm 10.8^\circ$ であり、屈曲制限を認めない群での最大屈曲角度の平均値は $58.9 \pm 10.6^\circ$ であった。2群間を比較すると、屈曲制限を認める群での最大屈曲角度は有意に小さかった ($p=0.002$)。(図9)

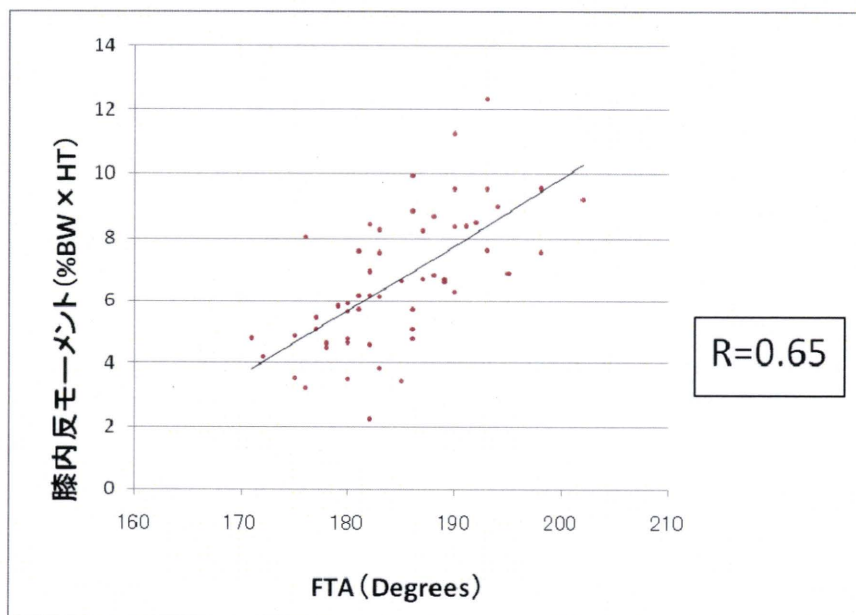


図8 下肢アライメント (FTA) と膝内反モーメントの関係

	伸展制限あり (N=30)	伸展制限なし (N=23)	P値
最大伸展角度	-11.6±6.9°	-7.0±5.7°	0.046
立脚初期屈曲 角度変化量	15.9±8.6°	15.6±8.2°	0.933
	屈曲制限あり (N=24)	屈曲制限なし (N=29)	P値
最大屈曲角度	51.0±10.8°	58.9±10.6°	0.002

図9 伸展および屈曲制限の有無による伸展・屈曲角度

【考察】

膝内反モーメントは膝関節に加わる負荷を定量化できる重要な指標である*1。内反型変形性膝関節症では様々な要因により膝内反モーメントが過大になると言われている*4。更に、膝の内反変形が進むと、膝内側の負荷が増大し、膝内反モーメントがさらに増加するといった悪循環がおこることも知られている*3。一方、実際の臨床現場では、内反変形の程度は、FTA や下肢機能軸 (mikulicz 線) により評価されることが多いが、今回の結果からも過去の報告や当施設における先行研究と同様、FTA は膝内反モーメントの指標になりうることを示された*5,6。

過去に Baliunas らが、変形性膝関節症患者と健常者における2群間での、歩行時の膝最大伸展角度、立脚初期屈曲角度、最大屈曲角度などの比較検討を行っているが*2、渉猟しえた範囲では、これまで他動的な可動域制限の有無と歩行時の Kinematics を検討した報告はない。今回、他動的な可動域制限が実際の歩行にどのような影響があ

るかについて評価した。その結果、膝関節の伸展制限は、歩行時の膝最大伸展角度に、屈曲制限の有無は歩行時の可動域に反映されていた。すなわち、伸展制限のある群では遊脚期の最大伸展角度が小さく、屈曲制限のある群では、遊脚期における最大屈曲角度が小さくなっていた。今回の研究では、屈曲制限の定義を便宜上 120 度として 2 群間に分けているが、実際の歩行遊脚期の最大屈曲角度はおよそ 50 から 60 度程度であり、屈曲角度における有意差は出ないものと予想していた。結果は予想に反して、屈曲制限のある患者では、歩行時屈曲角度が小さくなっていることがわかった。これは今回の研究対象者が人工膝関節置換術を目的に入院した重症の変形性膝関節症患者であり、膝変形の強い患者が多く、本来持っていた屈曲制限以外に疼痛や屈曲筋力の低下などが要因となり最大屈曲角度が減少していることが予想される。今研究の問題点としては、コントロールとしての健常者の歩行計測・関節可動域の測定を行っておらず、比較検討をしていないことや、患者の自動運動による ROM を計測していないこと便宜上の角度で 2 群間を分けてしまっている点などが挙げられる。

【結論】

変形性膝関節症患者における大腿骨脛骨角と膝内反モーメントの関係、膝伸展制限および屈曲制限と歩行時の膝伸展角度・屈曲角度との関係を調べた。

- ・大腿骨脛骨角と膝内反モーメントには正の相関関係を認めた。
- ・伸展制限は、歩行時膝最大伸展角度に影響していたが、立脚初期屈曲角度の変化量に影響を与えなかった。
- ・屈曲制限は、歩行時最大屈曲角度に影響していた。

【文献】

- 1) Andriacchi TP: Dynamics of knee malalignment. *Orthop Clin North Am* 25(3):395-403, 1994.
- 2) Baliunas AJ, Hurwitz DE et al : Increased knee joint loads during walking are present in subjects with knee osteoarthritis. *Osteoarthritis and Cartilage* 10:573-579, 2002.
- 3) Birmingham TB, Hunt MA et al : Test-retest reliability of the peak knee adduction moment during walking in patients with medial compartment knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 57(6):1012-1017, 2007
- 4) 井野拓実, 山中正紀 他:変形性膝関節症の病態運動学的理解と機能評価のポイント. *理学療法* 26巻:1078-1087, 2009.
- 5) Miyazaki T, Wada M et al: Dynamic load at baseline can predict radiographic disease progression in medial compartment knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis* 61(7):617-22, 2002
- 6) 名倉武雄, 松本秀男 他:変形性膝関節症の動作解析-日常生活における関節負荷の特徴- *Journal of Japan Knee Society* 28:2003.

【業績】

・臨床バイオメカ学会（2010年11月2日 京都）にて下記を報告
内側型変形性膝関節症の歩行解析—歩行時膝内反モーメントおよび屈曲角度の評価
Gait Analysis of Knee Osteoarthritis

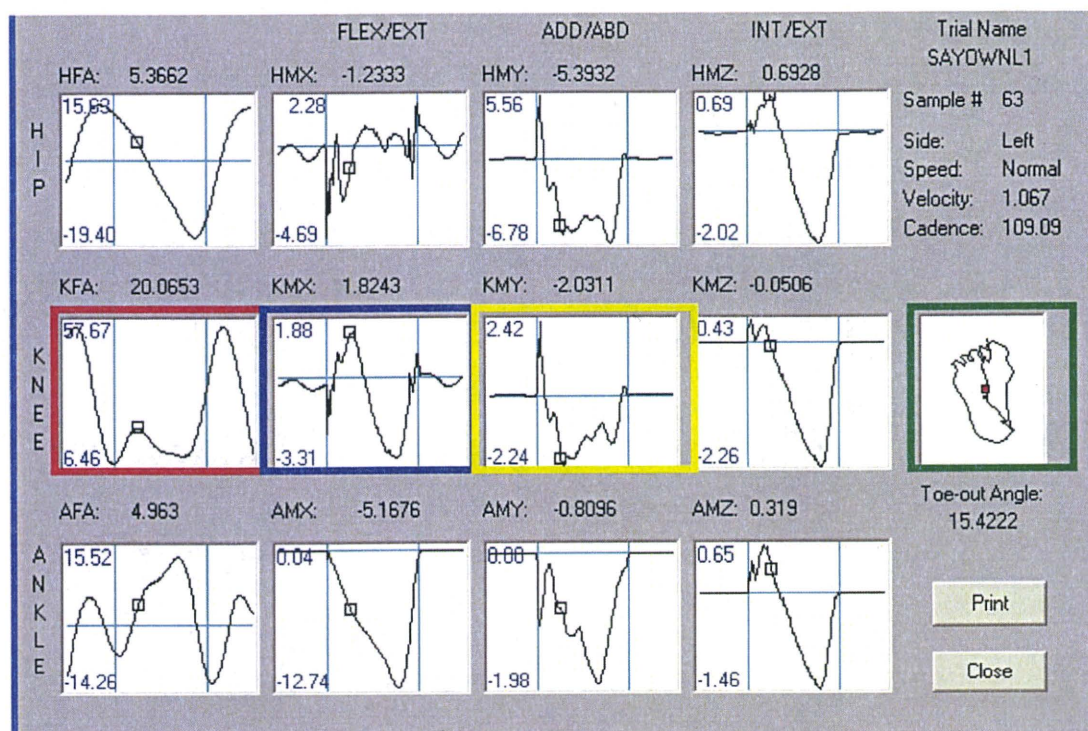
・下記論文を臨床バイオメカ学会誌に投稿しており査読結果待ち
（平成23年4月20日現在）

内側型変形性膝関節症の歩行特性 —関節可動域制限の影響—

Gait pattern of medial-type osteoarthritis of the knee. —With special reference to the influence of ROM limitation—

歩行解析レポート (計測日 ■■■年■■月■■日)

患者名 ■■■■■
 性別 女 年齢 ■■■歳 ID N/A
 計測結果-左

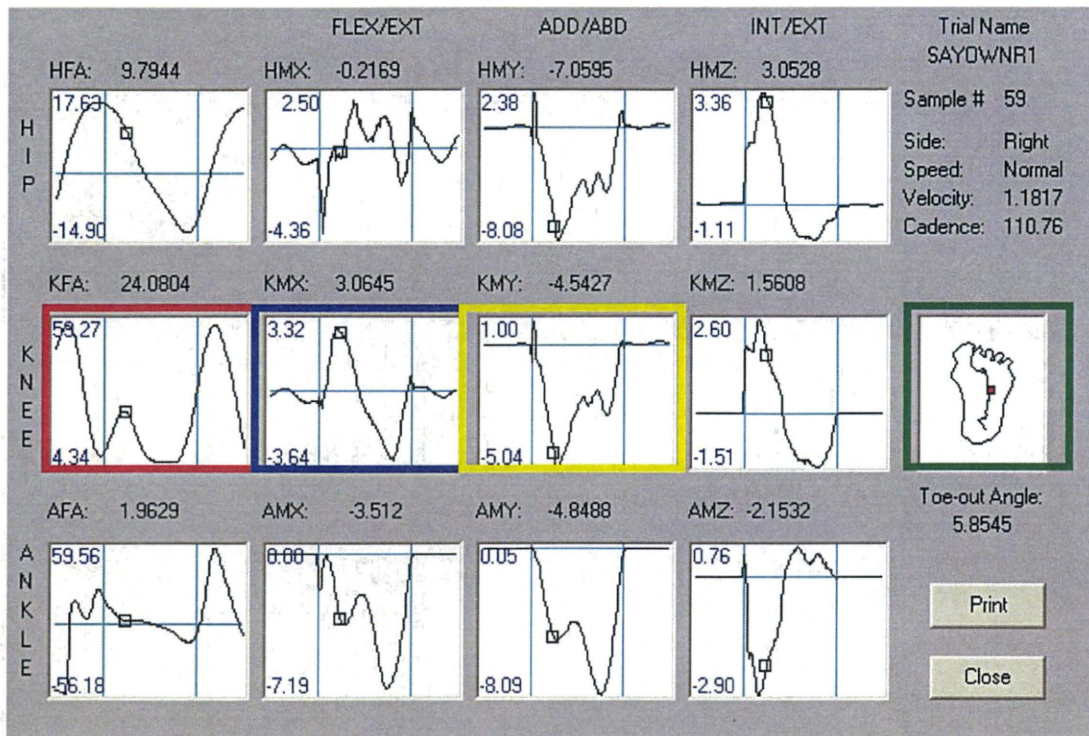


コメント

- ・ 膝運動パターン (赤) : 接地時にやや屈曲
- ・ 膝屈曲モーメント (青) : 正常
- ・ 膝内反モーメント (黄) : 正常
- ・ つま先の向き (緑) : やや外向き
- ・ 歩行速度 : 正常

約2年前に人工関節施工。
 膝をやや屈曲して接地している。
 つま先がやや外向きである。
 上記以外はほぼ正常な歩行。

患者名
 性別 女 年齢 歳 ID N/A
 計測結果-右

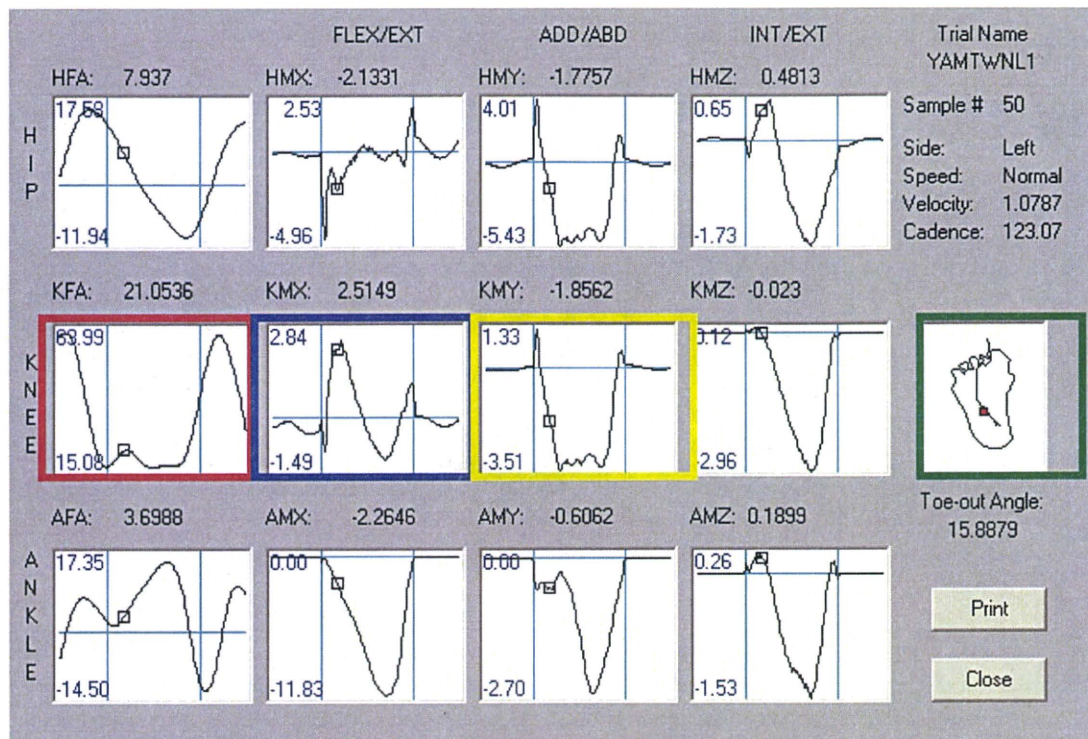


コメント

- ・ 膝運動パターン (赤): 正常
- ・ 膝屈曲モーメント (青): 正常
- ・ 膝内反モーメント (黄): やや大きい
- ・ つま先の向き (緑): 正常
- ・ 歩行速度: 正常

膝内反モーメントがやや大きいですが、それ以外は正常な歩行。

患者名 ■■■■■
 性別 女 年齢 ■■■歳 ID N/A
 計測結果-左



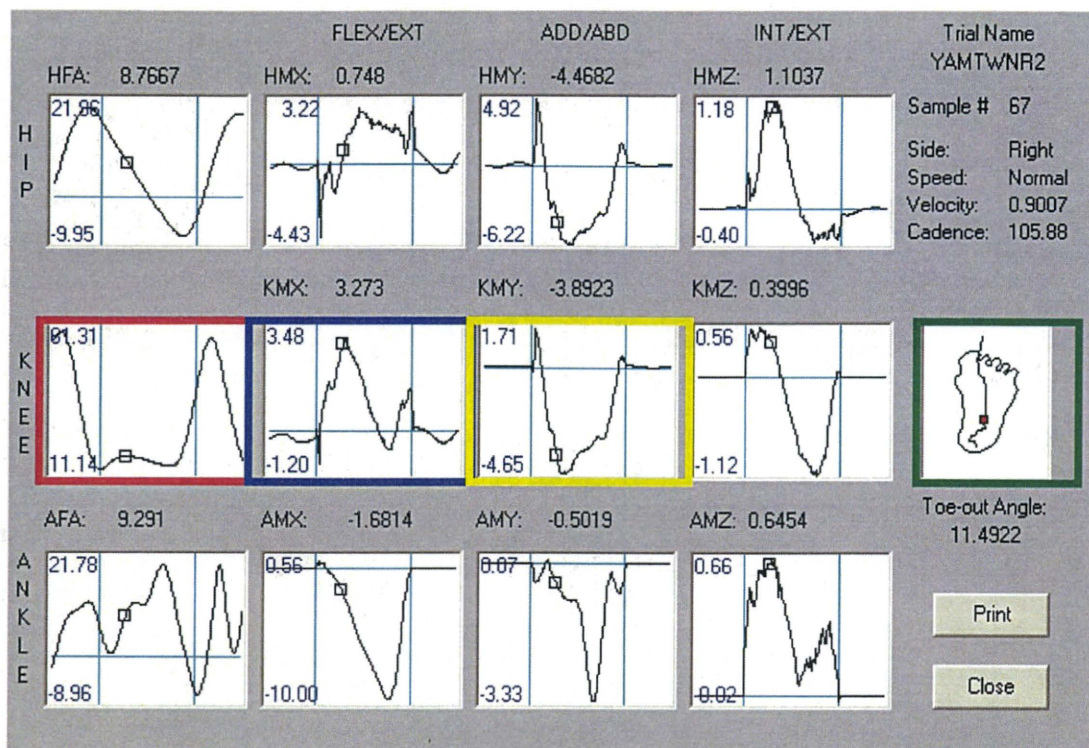
コメント

- ・ 膝運動パターン (赤) : 接地時に膝を屈曲している
- ・ 膝屈曲モーメント (青) : 正常
- ・ 膝内反モーメント (黄) : 正常
- ・ つま先の向き (緑) : やや外向き
- ・ 歩行速度 : 正常

接地時の膝伸展がやや制限されている。

つま先がやや外向きであり、術後リハビリにて注意が必要。

患者名
 性別 女 年齢 歳 ID N/A
 計測結果—右



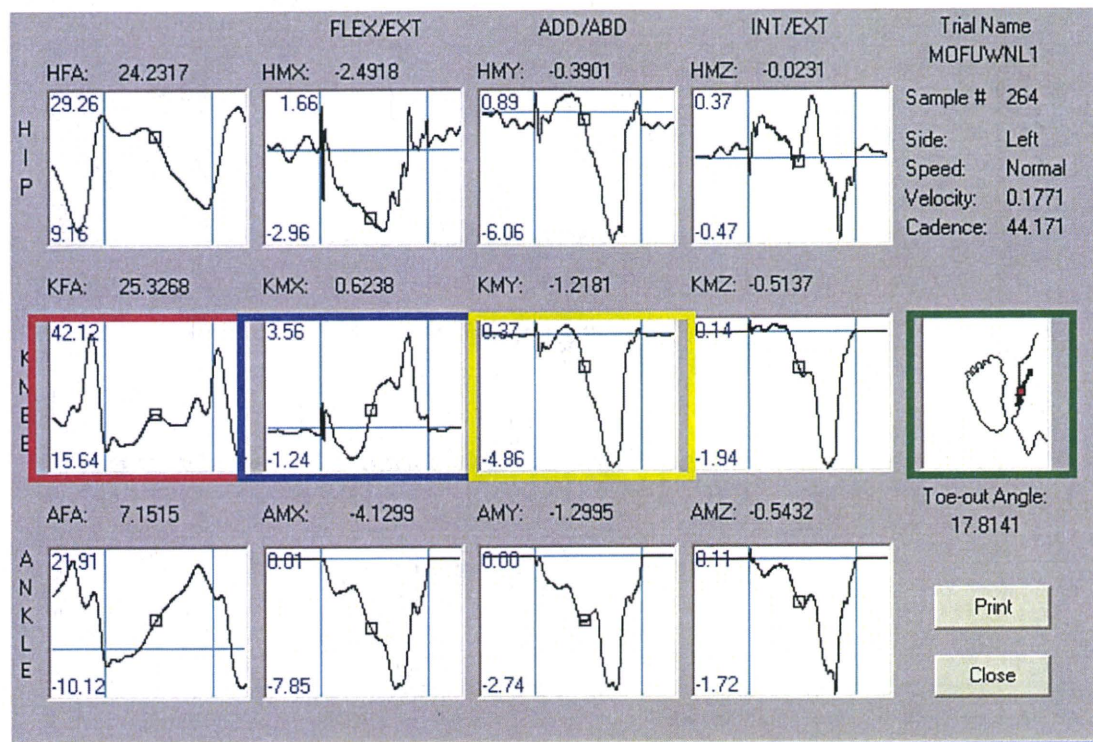
コメント

- ・ 膝運動パターン (赤) : 膝をやや屈曲して接地しその後屈曲小さい
- ・ 膝屈曲モーメント (青) : 膝伸展モーメントやや小さい
- ・ 膝内反モーメント (黄) : 正常
- ・ つま先の向き (緑) : 正常
- ・ 歩行速度 : 正常

膝の運動がやや制限されている。

歩行解析レポート (計測日 ■■■年■■月■■日)

患者名 ■■■■■
 性別 女 年齢 ■■■歳 ID N/A
 計測結果-左



コメント

- ・ 膝運動パターン (赤) : 接地時膝屈曲し、その後の伸展、屈曲もみられない
- ・ 膝屈曲モーメント (青) : 立脚後期に屈曲モーメントがみられている
- ・ 膝内反モーメント (黄) : やや大きい
- ・ つま先の向き (緑) : やや外向き
- ・ 歩行速度 : 極めて遅い

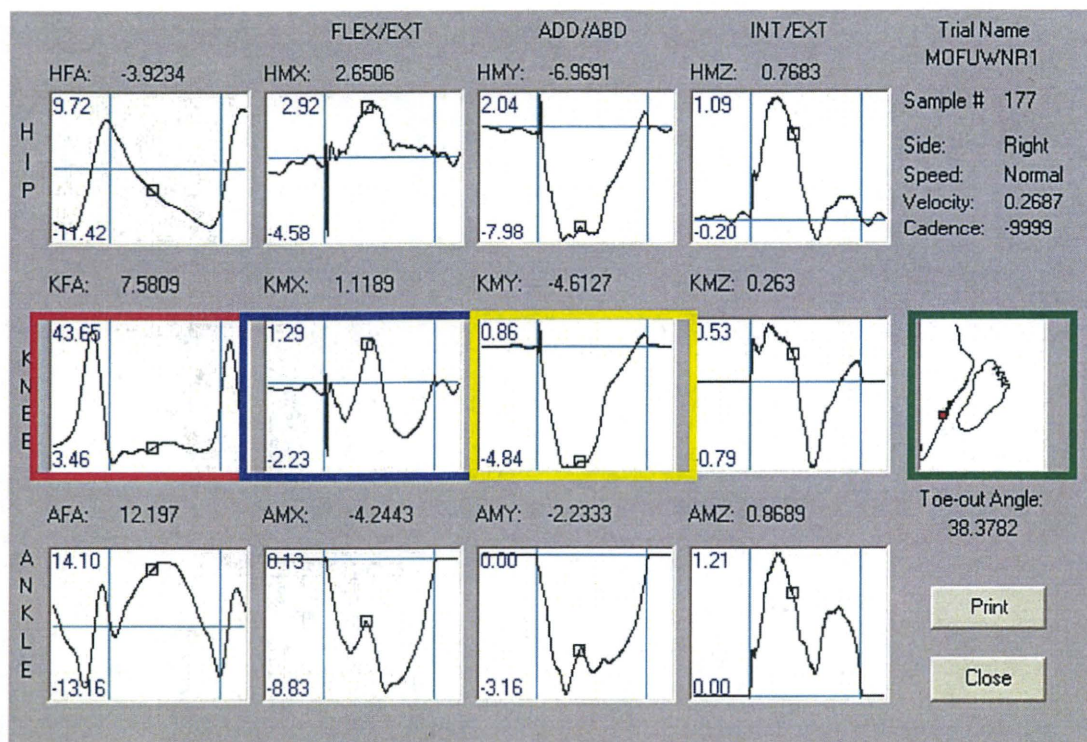
膝伸展、屈曲とも運動が制限されている。

立脚後期にみられる伸展モーメントがみられず、ハムストリングを使わない歩行になっていると考えられる。

歩行速度が極めて遅く、参考データ。

歩行解析レポート (計測日 年 月 日)

患者名
性別 女 年齢 歳 ID N/A
計測結果—右

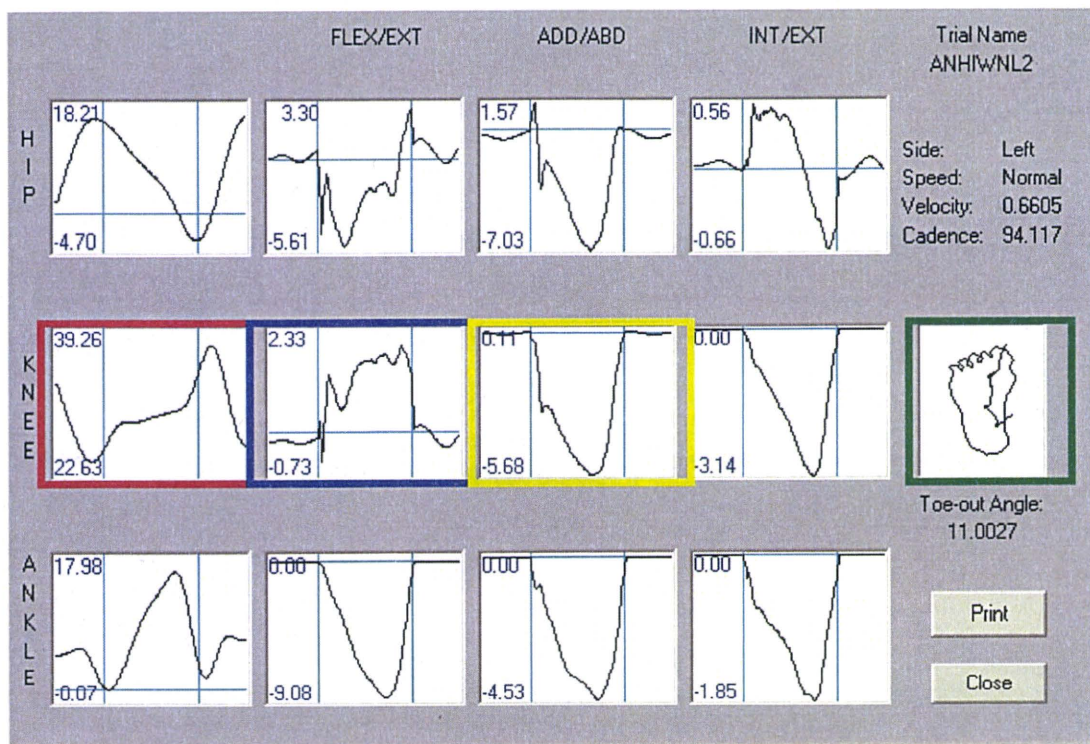


コメント

- ・ 膝運動パターン (赤) : 立脚中期膝屈曲小さい
- ・ 膝屈曲モーメント (青) : やや小さい
- ・ 膝内反モーメント (黄) : やや大きい
- ・ つま先の向き (緑) : 外向き
- ・ 歩行速度 : 非常に遅い

左に比べ、膝運動、屈曲—伸展モーメントともより正常に近いパターンである。
歩行速度の割りに、膝内反モーメントが大きい。
つま先を外向きに歩行しており、リハビリにおける修正が必要と思われる。

患者名 ■■■■■
 性別 女 年齢 ■■■歳 ID N/A
 計測結果-左



コメント

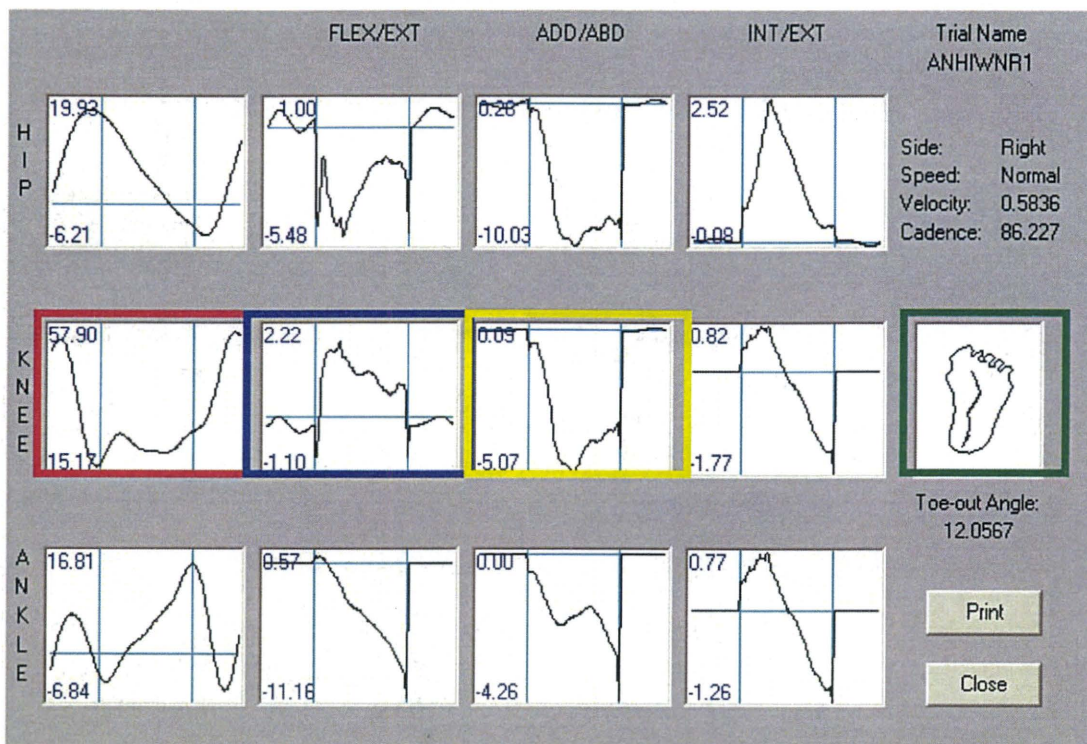
- ・ 膝運動パターン (赤) : 膝屈曲位で接地し、その後伸展、屈曲ちいさい
- ・ 膝屈曲モーメント (青) : 伸展モーメントがみられない
- ・ 膝内反モーメント (黄) : やや大きい
- ・ つま先の向き (緑) : 正常
- ・ 歩行速度 : やや遅い

膝を屈曲しながら歩行しており、正常な膝運動が制限されている。

このため、膝伸展モーメントがみられない。

膝内反モーメントがやや大きく、関節内側に加わる負担が増加している。

患者名 ■■■■■
 性別 女 年齢 ■■■歳 ID N/A
 計測結果—右



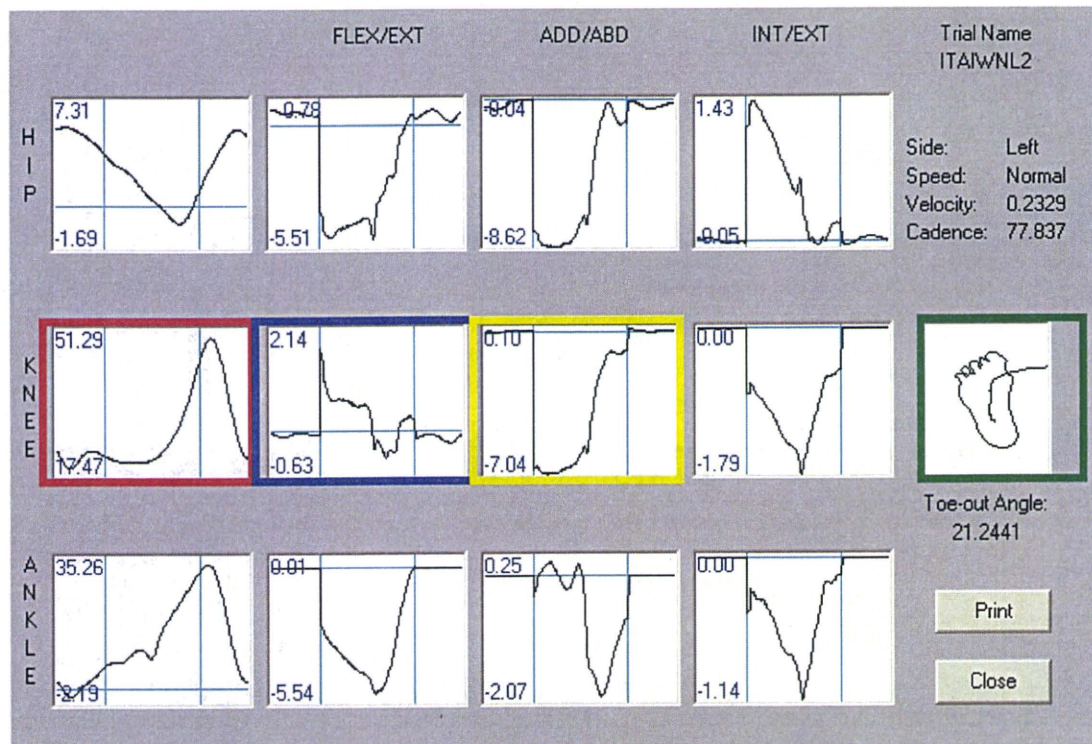
コメント

- ・ 膝運動パターン (赤) : 膝を屈曲して接地している
- ・ 膝屈曲モーメント (青) : 膝伸展モーメントがみられない
- ・ 膝内反モーメント (黄) : やや大きい
- ・ つま先の向き (緑) : 正常
- ・ 歩行速度 : 遅い

接地時に膝屈曲しているが、左よりは正常に近い運動パターンである。
 膝伸展モーメントがみられず、膝内反モーメントがやや大きい。
 左とほぼ同様のデータである。

歩行解析レポート (計測日 ■■■年■月■日)

患者名 ■■■■■
性別 女 年齢 ■■■歳 ID N/A
計測結果-左



コメント

- ・ 膝運動パターン (赤) : 膝をやや屈曲して接地
- ・ 膝屈曲モーメント (青) : 伸展モーメント小さい
- ・ 膝内反モーメント (黄) : 大きい
- ・ つま先の向き (緑) : 外向き
- ・ 歩行速度 : 非常に遅い

膝をやや屈曲して接地。

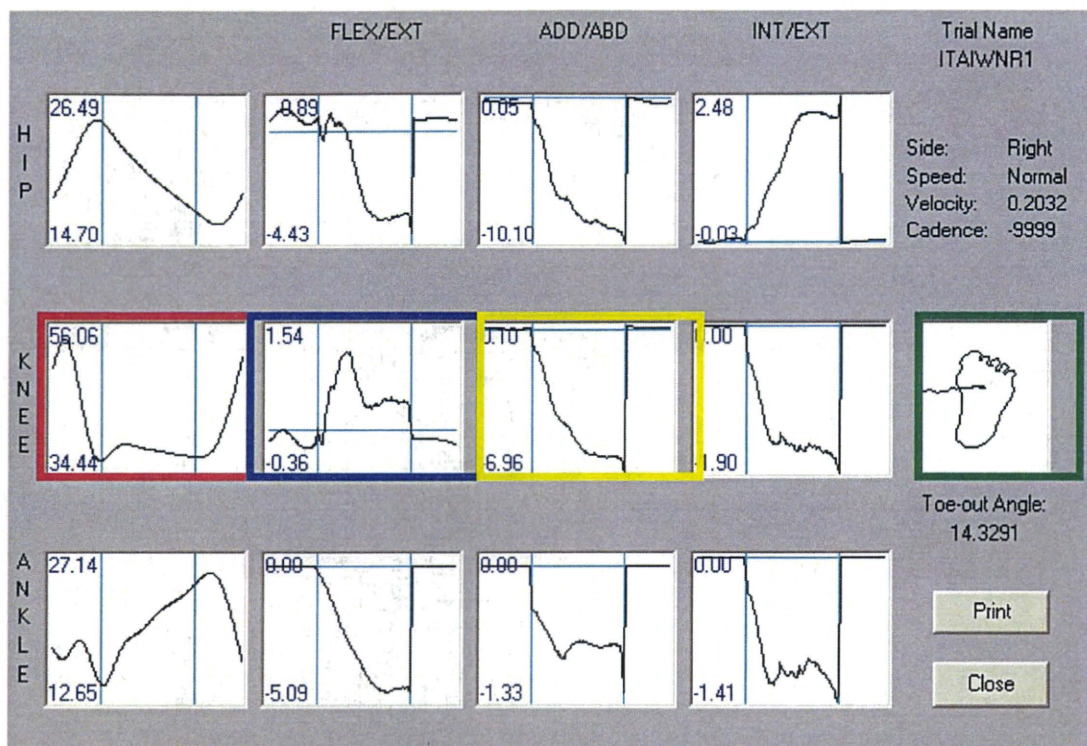
このため伸展モーメントが小さい。

膝内反モーメントが大きく、関節内側にかかる負担が増加している。

つま先を外向きに歩行している。

歩行速度が極めて遅く、床反力計に両足で接地していたため、参考データ。

患者名 ■■■■■
 性別 女 年齢 ■■■歳 ID N/A
 計測結果—右



コメント

- ・ 膝運動パターン (赤) : 膝を屈曲して接地
- ・ 膝屈曲モーメント (青) : 屈曲モーメント小さく、伸展モーメントない
- ・ 膝内反モーメント (黄) : 大きい
- ・ つま先の向き (緑) : やや外向き
- ・ 歩行速度 : 非常に遅い

膝を屈曲して接地。(屈曲拘縮パターン)

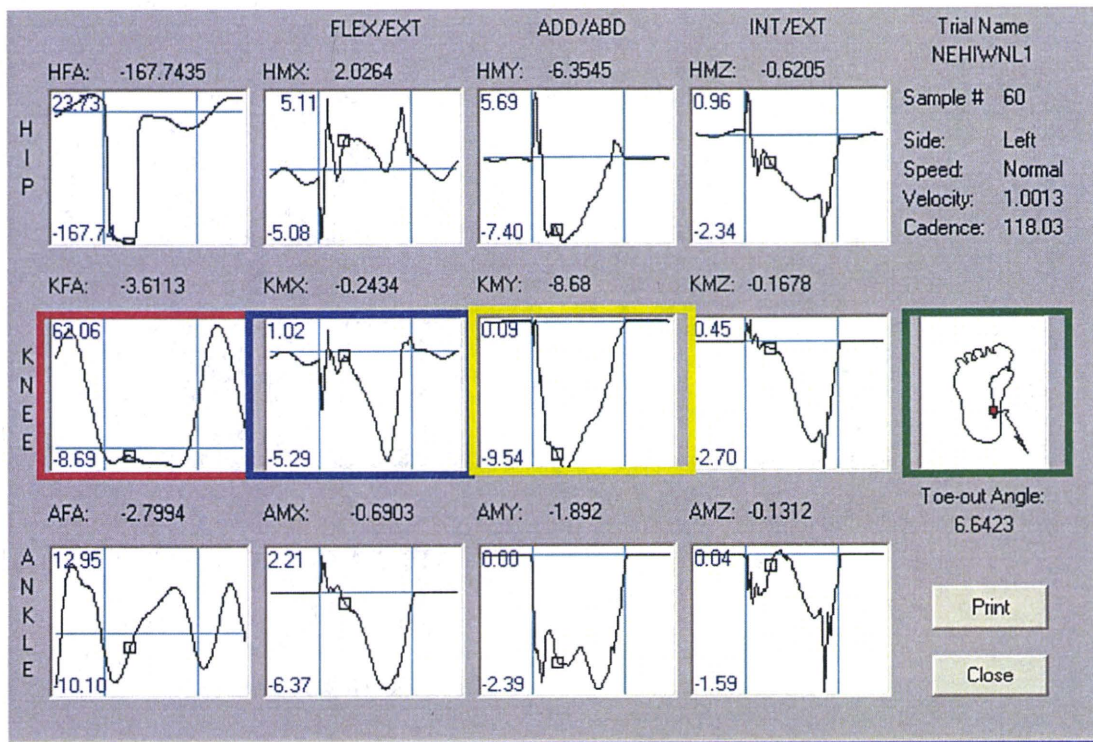
このため伸展モーメントが小さい。

膝内反モーメントが大きく、関節内側にかかる負担が増加している。

歩行速度が極めて遅く、床反力計に両足で接地していたため、参考データ。

歩行解析レポート (計測日 年 月 日)

患者名
性別 女 年齢 歳 ID N/A
計測結果—左



コメント

- ・ 膝運動パターン (赤): 接地時に過伸展、その後屈曲みられない
- ・ 膝屈曲モーメント (青): 屈曲モーメント小さい
- ・ 膝内反モーメント (黄): 非常に大きい
- ・ つま先の向き (緑): 正常
- ・ 歩行速度: 正常

接地時膝が過伸展し、このため膝屈曲モーメントが小さい。

膝内反モーメントが非常に大きく、関節内側にかかる負担が増加している。

手術適応と考えられる。