

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K10745

研究課題名(和文) ウェアラブル端末を用いた日常生活動作における体幹・四肢運動機能評価とロコモ対策

研究課題名(英文) Functional assessment of the body trunk and extremities in daily life using wearable devices.

研究代表者

中西 一義 (NAKANISHI, Kazuyoshi)

日本大学・医学部・教授

研究者番号：60403557

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：腰部脊柱管狭窄症、変形性膝関節症に対し、赤外線カメラとマーカーによるモーションキャプチャーならびにウェアラブル端末として3軸加速度センサ、3軸ジャイロセンサを用いて頸椎部、腰椎部の加速度、角速度計測を行い、歩行時の脊椎・骨盤運動の健常人との違いを同定した。また、術後に改善しなかった症例の特性を解析し、歩容改善、転倒予防リハビリテーションプログラムにフィードバックするアルゴリズムを策定した。また、頸部脊髄症に対し、ウェアラブル端末として超小型6軸慣性センサを用いて上肢運動障害の評価を行い、簡便に頸髄症の診断並びに重症度判定と、術後の改善度評価を行える知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国では高齢化社会の急速な進行により、運動器の障害は爆発的に増加し、要介護者となるリスクを高める。本研究における運動器障害の術前、術後の程度、改善についての検討より、これらロコモの原因となる疾患の治療介入において、術後の個別のリハビリテーションプログラムの策定が治療成績向上のために重要であることが示唆された。さらに個人別動作別の体幹・下肢機能を日常的にモニタリングする技術につなげていくことにより、個人別のリハビリテーションやサポートにつなげられる可能性がある。これにより高齢者の転倒予防、廃用予防効果が期待でき、要介護者の減少、さらには医療費高騰の抑制の一助となる知見と考える。

研究成果の概要(英文)：Motion capture using infrared cameras and markers and angular velocity measurement of cervical spine and lumbar spine using wearable 3-axis gyro sensor are performed during walking for patients with lumbar spinal canal stenosis and osteoarthritis of the knee. We identified differences in spinal and pelvic movements between patients with those diseases and healthy individuals. We also analyzed the characteristics of cases that did not improve after surgery and formulated an algorithm to feed back to the gait improvement and rehabilitation program for preventing falls. In addition, for cervical myelopathy, we evaluated upper limb movement disorders using wearable ultra-compact inertial sensors, and could easily diagnose cervical myelopathy, determine its severity, and evaluate postoperative improvement.

研究分野：整形外科学

キーワード：三次元動作解析 変形性膝関節症 頸部脊髄症 腰部脊柱管狭窄症 腰痛症 脊椎骨盤アライメント 運動障害 ウェアラブル端末

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

我が国では高齢化社会の急速な進行により、運動器の障害は爆発的に増加し、医療費の高騰、要介護者増加の原因となるため、その対策が急務である。高齢者に多発する運動器障害は日常生活動作を強く障害する。あるいは運動機能低下を来す原因のうち、サルコペニアは脊柱変形（脊椎骨盤アライメントの不良）に関与し、日常生活動作を障害する原因となることが報告されるようになり、廃用が進んだ場合に要介護者となるリスクが高いことが推測される。日本整形外科学会は2007年にロコモティブシンドロームを提唱し、その予防のためあらゆる角度から対策が試みられるようになった。対策の一つとして早期からの日常生活動作訓練が望ましいが、機能低下の程度は個人差が極めて多く、また治療介入に関するエビデンスに未だ乏しい。また、様々な日常生活動作において最低限必要とされる脊柱骨盤・下肢のアライメントやその運動機能についてはほとんど知られていない。まずはこれらのことを動作解析の手法を用いて明らかにしないことには、対策の緒はつかめないと考える。

近年、モーションキャプチャ技術やウェアラブル端末を用いた動作解析がさかんにされるようになった。研究代表者は脊椎脊髄病専門医として15年以上にわたり頸部脊髄症、腰部脊柱管狭窄症や成人脊柱変形などの退行性変性による疾患の治療を行っている。また、これらの疾患に対して、モーションキャプチャ技術を用い、頸椎、胸椎、腰椎、骨盤、膝関節に設置したマーカより脊柱骨盤・下肢アライメントの三次元動作解析を行い、歩行時の脊柱骨盤アライメントや動きの障害を解析してきた。モーションキャプチャは身体の各部位の動作を高精度に評価することができる一方で、これらの評価は病院など施設内での検査に限られるため、日常生活における身体動作を必ずしも再現できるわけではなく、断片的な身体動作解析と言わざるを得ない。また、ウェアラブル端末は小型化が可能であり、近年日常生活の身体活動量計測などに応用されるようになったが、身体の1点の計測をするものがほとんどであり、また、万歩計、移動距離計など、1日のおおまかな身体活動量の評価にとどまることが多い。

そこで我々はこれらいくつかの技術の長所を融合し、体幹・下肢における加速度や角度の変化を多点計測し、日常的にモニタリングできる新たなウェアラブル端末を開発すれ知見が得られれば、個人別動作別の体幹・下肢機能を日常的にモニタリングできるデバイスの開発、さらには、リハビリテーションやサポートのプログラム策定につなげられるのではないかと思立った。これらの知見は高齢化が急速に進行する日本において、要介護者増加を抑制するにあたり意義があると考え。また、これらの知見は、より若年層の慢性腰痛症や脊柱変形の対策にも応用できる可能性を秘めていると考える。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、モーションキャプチャ技術による体幹・四肢動作の多点計測による動作解析と、ウェアラブル端末による身体活動量や動作計測を融合させて、頸部脊髄症、腰部脊柱管狭窄症、変形性膝関節症など、ロコモティブシンドロームの原因となる疾患に対して日常的に使用し、運動機能を評価できるウェアラブル端末を考案することである。これにより個人差が極めて大きい運動機能低下を定量的に評価できれば、リハビリテーションやサポートの個別プログラム策定につなげられる可能性がある。

### 3. 研究の方法

#### 1) 腰部脊柱管狭窄症の歩行動作解析

##### ①歩行負荷による変化

腰部脊柱管狭窄症29例に対し、6分間の歩行負荷を行い、負荷前後の歩行動作を解析した。動作解析はVICON MX (Vicon Motion Systems 社製) を用い、16台の赤外線カメラを用いて撮影した。被検者の頭部、体幹、四肢の43箇所にマーカを貼付し(図1)、5秒間の静止立位(2試行)、10mの日常生活スピード歩行(3試行)について計測を行った。また同時にウェアラブル端末として3軸加速度センサ、3軸ジャイロセンサ内蔵フラッシュメモリレコーダ(MVP-FM8-AC, MicroStone 社製)を用いて頸椎部、腰椎部の加速度、角速度計測を行った。計測データより、矢状面における体幹前傾角度、骨盤前傾角度を求め、体幹前傾角度はさらに胸椎前傾角度、腰椎前傾角度に分離して、それぞれ静止立位を0度とした歩行中の前屈方向を+、背屈方向を-として解析した(図2、Kawahara W, et al, Clin Biomech, 2016)。歩行負荷により8例は下肢痛・腰痛とも悪化し(下肢痛・腰痛増悪群、平均年齢72±7歳、男性4例、女性4例)、12例は下肢痛のみ悪化した(下肢痛増悪群、平均年齢69±8歳、男性9例、女性3例)。9例は下肢痛・腰痛とも明らかな変化がみられなかった(不変群、平均年齢71±9歳、男性4例、女性5例)。3群

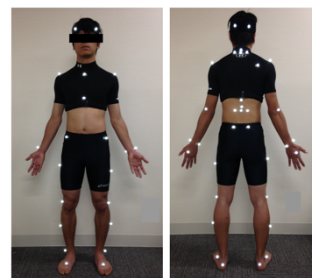


図1 体幹、四肢の43箇所にマーカを貼付

間で年齢、性別、BMI に有意差を認めなかった。これら 3 群間の運動学データの比較を行った。

## ②腰椎椎弓切除術後、腰痛の改善が見られなかった症例の検討

腰椎椎弓切除術を行った腰部脊柱管狭窄症 20 例を対象とし、術後腰痛が改善した 13 例（改善群、平均年齢  $72 \pm 7$  歳、男性 8 例、女性 5 例）と改善しなかった 7 例（非改善群、平均年齢  $73 \pm 8$  歳、男性 5 例、女性 2 例）に分類した。2 群間で年齢、性別、BMI に有意差を認めなかった。前述の動作解析を行い、2 群間の運動学データの比較を行った。

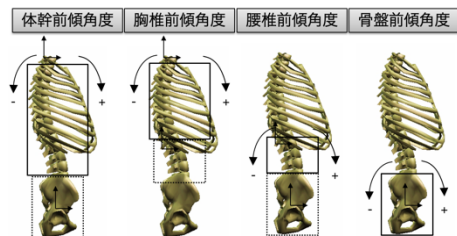


図 2 前傾角度

## 2) 変形性膝関節症の歩行動作解析（人工関節置換術後の変化）

変形性膝関節症患者には高率に腰痛があることが報告されている。そこで片側人工関節置換術（TKA）を施行した変形性膝関節症 14 例（膝 OA 群、平均年齢  $75 \pm 6$  歳、男性 2 例、女性 12 例）を対象とし、術前、術後 1 年で歩行動作解析を行い、健常高齢者 11 例（コントロール群、平均年齢  $74 \pm 6$  歳、男性 5 例、女性 6 例）と比較した。

## 3) 頸部脊髄症の手指運動障害の動作解析による重症度評価法の開発

頸部脊髄症の代表的な臨床症状として手指巧緻運動障害がある。素早い離握手動作が困難となり、環小指の進展障害を来すことがある。10 秒テストは 10 秒間の手指の離握手の回数を調べる検査で、簡便であり広く行われているが、これまで手指巧緻運動障害の手指運動の特徴を定量的に明らかにした報告は数少ない。そこで、重度頸部脊髄症 30 例（重度群、平均年齢  $66 \pm 13$  歳、男性 17 例、女性 13 例）、軽中等度頸部脊髄症 30 例（軽中等度群、平均年齢  $69 \pm 11$  歳、男性 16 例、女性 14 例）と、年齢をマッチさせた中高齢健常人（中高齢者群、平均年齢  $67 \pm 11$  歳、男性 16 例、女性 14 例）、若年健常人（若年者群、平均年齢  $27 \pm 12$  歳、男性 12 例、女性 18 例）を対象とし、30 秒間の離握手テストを行った。示指、小指、手背に超小型ウェアラブル 6 軸慣性センサ（MP-M6-06/2000C, MicroStone 社製）を貼付して、手指の屈曲進展運動をモニタリングした（図 3）。

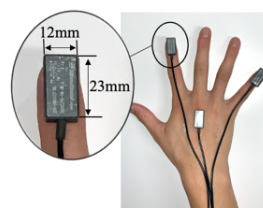


図 3 超小型ウェアラブル 6 軸慣性センサ

## 4. 研究成果

### 1) 腰部脊柱管狭窄症の歩行動作解析

#### ①歩行負荷による変化

3 群とも歩行負荷後、腰椎前傾角度ピーク値が増加し、下肢痛・腰痛増悪群では負荷後骨盤前傾角度ピーク値が増加した。腰痛の悪化は負荷後の腰椎前傾角度と負の相関がみられ、骨盤前傾角度と正の相関がみられた。

以上より腰部脊柱管狭窄症患者の歩行負荷により悪化する腰痛は歩行中の腰椎前弯増加によりもたらされる軟部組織、椎間関節へのストレスが原因である可能性があり、腰痛に対するリハビリテーションプログラムを作成する際には股関節伸筋群と腹筋群の機能に着目する必要があると考えられた（Kawahara W, et al, J Orthop Sci, 2019）。

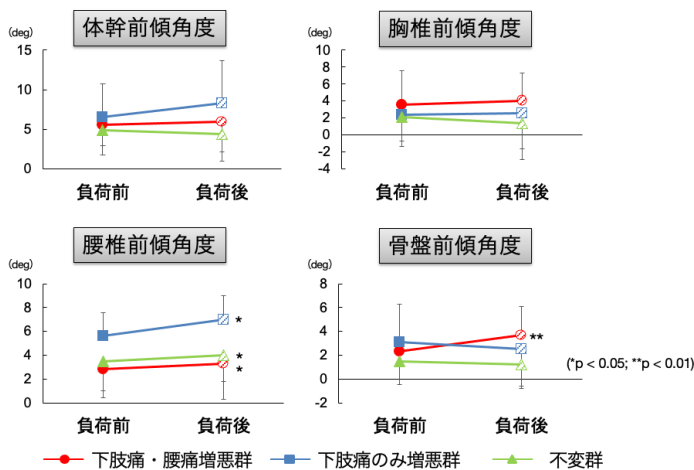


図 4 歩行負荷前後の前傾角度の変化

## ②腰椎椎弓切除術後、腰痛の改善が見られなかった症例の検討

術前の日本整形外科学会腰痛評価質問票（JOABPEQ）の歩行機能障害点数は非改善群で優位に低く、非改善群の術前歩行機能障害は重度であった。また、運動学データでは改善群に比べて非改善群で骨盤前傾角度が低値であった。よって、術前に歩行機能を高め、骨盤安定性を高める筋力訓練の必要があると考えられた。

2)

変形性膝関節症の歩行動作解析  
(人工関節置換術後の変化)

膝 OA 群は TKA の 1 年後、膝伸張角度、日本整形外科学会 OA 膝治療成績判定基準 (JOA スコア)、NRS が有意に改善した。運動学データでは、体幹前傾角度ピーク値はコントロールに比べて膝 OA 群で高値であり、術後 1 年でコントロールと同等まで低下した (図 5)。骨盤前傾角度は膝 OA 群で術前、術後ともコントロール群より高値であった (図 6)。膝 OA 患者は膝関節伸展制限があり、膝関節から重心線までのモーメントアームを小さくするため、体幹前傾角度が大きいことが推測された (Kuwahara W, et al, J Back Musculoskelet Rehabil. 2020)。

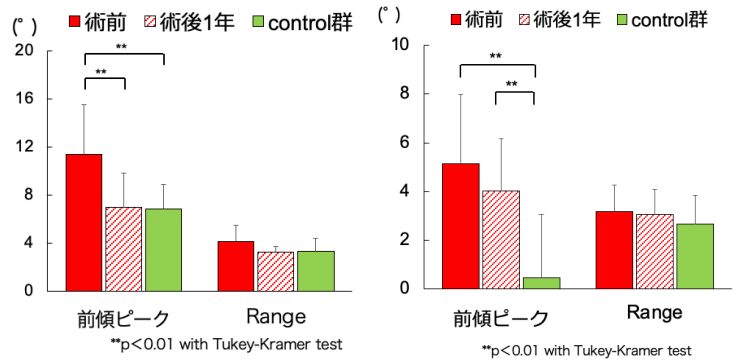


図 5 体幹前傾角度

図 6 骨盤前傾角度

3) 頸部脊髄症の手指運動障害の動作解析による重症度評価法の開発

離握手の回数は重度群、軽中等度群、中高齢者群、若年者群の順で優位に少なく、屈曲伸張タイムラグは優位に遅延していた (図 7)。最大角速度は重度群、軽中等度群、中高齢者群の順で定値であり、中高齢者群と若年者群に有意差を認めなかった (図 8)。また、頸部脊髄症患者では指屈曲より伸張運動での最大角速度が低値であり、運動障害が顕著であった (図 9)。以上より、離握手の回数は頸髄症の重症化だけでなく加齢による影響で減少し、一方で最大角速度は加齢による影響は少なく、頸髄症が重症化することで遅くなることが証明された (Date S, et al., PLOS ONE 2021)。さらに本結果は、頸部脊髄症においてウェアラブル端末による重症度評価アルゴリズムを開発する上で有用な知見となる可能性がある。

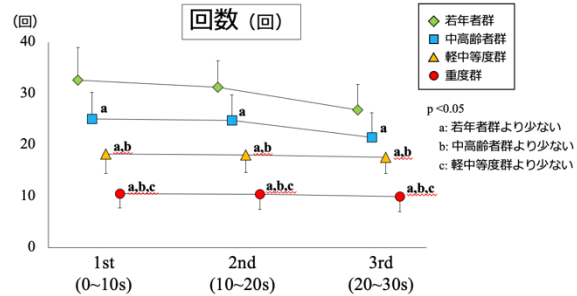


図 7 回数

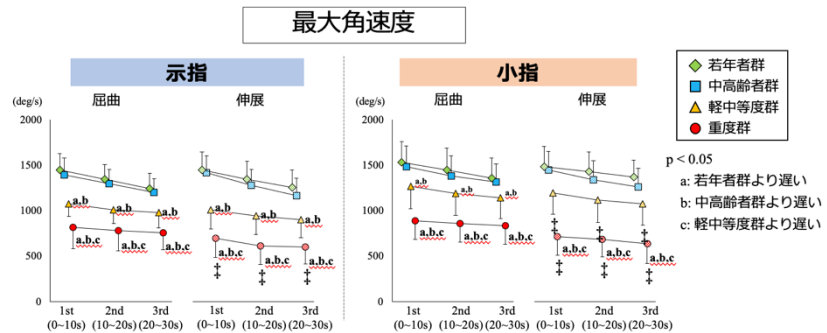


図 8 最大角速度 (群間の比較)

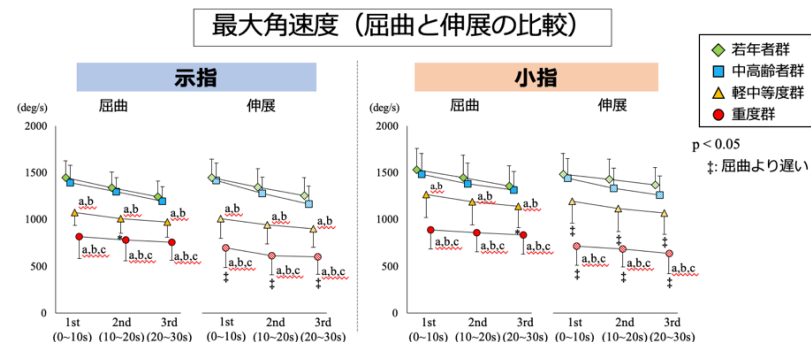


図 9 最大角速度 (屈曲と伸張の比較)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kuwahara W, Nakanishi K, Kurumadani H, Shimada N, Asaeda M, Deie M, Adachi N, Sunagawa T	4. 巻 33
2. 論文標題 Total knee arthroplasty for patients with medial knee osteoarthritis improves trunk movement during gait	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation	6. 最初と最後の頁 727-734.
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3233/BMR-181383	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nakamae T, Nakanishi K, Kamei N, Adachi N.	4. 巻 24
2. 論文標題 The correlation between sagittal spinopelvic alignment and degree of lumbar degenerative spondylolisthesis.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Orthopaedic Science	6. 最初と最後の頁 969-973.
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jos.2019.08.021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nakanishi K, Tanaka N, Fujimoto Y, Nishikawa K, Kamei N, Nakamae T, Kotaka S, Adachi N.	4. 巻 36
2. 論文標題 Electrophysiological Assessment and Classification of Motor Pathway Function in Patients With Spinal Dural Arteriovenous Fistula.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Clinical Neurophysiology	6. 最初と最後の頁 45-51.
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1097/WNP.0000000000000526.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Date S, Nakanishi K, Fujiwara Y, Yamada K, Kamei N, Kurumadani H, Yoshimura M, Ueda A, Ishii Y, Ohta R, Kotaka S, Tsuchikawa Y, Nakamae T, Ishikawa M, Hirao K, Fujimoto Y, Adachi N, Sunagawa T.	4. 巻 16
2. 論文標題 Quantitative evaluation of abnormal finger movements in myelopathy hand during the grip and release test using gyro sensors.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0258808
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0258808.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kuwahara W, Kurumadani H, Tanaka N, Nakanishi K, Nakamura H, Ishii Y, Ueda A, Deie M, Adachi N, Sunagawa T.	4. 巻 24(2)
2. 論文標題 Correlation between spinal and pelvic movements during gait and aggravation of low back pain by gait loading in lumbar spinal stenosis patients.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Orthopaedic Science	6. 最初と最後の頁 207-213.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jos.2018.09.002. Epub 2018 Oct 12. PMID: 30322623	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 伊達翔太、中西一義、車谷洋、 亀井直輔、 中前稔生、 土川雄司、山田清貴、平尾健、藤本吉範、安達伸生、砂川融
2. 発表標題 頸髄症患者の手指運動の特徴 ウェアラブルセンサを用いた定量的評価
3. 学会等名 第35日本整形外科学会基礎学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊達翔太、中西一義、藤原靖、山田清貴、藤本吉範、車谷洋、亀井直輔、安達伸生、砂川融
2. 発表標題 頸髄症患者の手指運動障害の特徴および手指機能とADLとの関係
3. 学会等名 第14回日本作業療法研究学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 桑原渉、中西一義、車谷洋、石井陽介、安達伸生、砂川融
2. 発表標題 腰部脊柱管狭窄症患者における除圧術後6ヵ月の遺残腰痛に影響を与える術前歩行機能因子の検討.
3. 学会等名 第7回日本運動器理学療法学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑原渉、中西一義、車谷洋、石井陽介、安達伸生、砂川融
2. 発表標題 腰部脊柱管狭窄症患者における歩行時の腰椎 - 骨盤運動の協調性 .
3. 学会等名 第6回日本予防理学療法学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中西一義、亀井直輔、中前稔生、森迫泰貴、土川雄司、原田崇弘、安達伸生
2. 発表標題 腰部脊柱管狭窄症に対する顕微鏡視下棘突起縦割式片側進入両側除圧術の成績
3. 学会等名 第21回日本低侵襲脊椎外科学会学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中西一義、亀井直輔、中前稔生、森迫泰貴、土川雄司、原田崇弘、安達伸生
2. 発表標題 複合現実技術を用いた術前計画と術中ナビゲーションの脊椎腫瘍手術への応用
3. 学会等名 第21回日本低侵襲脊椎外科学会学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中西一義、田中信弘、亀井直輔、中前稔生、古高慎司、土川雄司、越智光夫、安達伸生
2. 発表標題 脊髄硬膜動静脈瘻における運動路障害の電気生理学的評価による分類
3. 学会等名 第92回日本整形外科学会学術総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中西一義、田中信弘、亀井直輔、古高慎司、土川雄司、越智光夫、安達伸生
2. 発表標題 脊椎すべりに影響を与える脊椎骨盤パラメータの検討
3. 学会等名 第92回日本整形外科学会学術総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中西一義、田中信弘、亀井直輔、古高慎司、越智光夫、安達伸生
2. 発表標題 腰椎症例における脊椎骨盤パラメータと脊椎すべりとの関連
3. 学会等名 第47回日本脊椎脊髄病学会学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kuwahara W, Nakanishi K, Kurumadani H, Shimada N, Asaeda M, Deie M, Adachi N, Sunagawa T.
2. 発表標題 Trunk Movement During Gait in Patients With Knee Osteoarthritis Before and After Total Knee Arthroplasty.
3. 学会等名 The International Society for the Study of the Lumbar Spine 2018 45th ANNUAL MEETING.
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑原渉、田中信弘、中西一義、車谷洋、石井陽介、安達伸生、砂川融
2. 発表標題 腰部脊柱管狭窄症患者において歩行負荷により増悪する腰痛に歩行時脊柱・骨盤運動は影響を与えるか。
3. 学会等名 第47回日本脊椎脊髄病学会学術集会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 桑原渉、中西一義、車谷洋、石井陽介、安達伸生、砂川融
2. 発表標題 腰部脊柱管狭窄症患者における歩行時の腰椎 骨盤運動の協調性.
3. 学会等名 第33回日本整形外科学会基礎学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中西一義
2. 発表標題 頸椎疾患の診断と治療 画像検査や電気生理学的検査, 三次元動作解析やAIを用いた試みー
3. 学会等名 第138回中部日本整形外科災害外科学会・学術集会(招待講演)(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中西一義
2. 発表標題 体幹・四肢機能の三次元動作解析 ー腰痛・下肢痛との関連についての検討ー
3. 学会等名 第45回千葉県整形外科医会総会(招待講演)(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中西一義
2. 発表標題 整形外科疾患における体幹・四肢の三次元動作解析の試みー脊椎疾患の診断への応用ー
3. 学会等名 第 52 回脊椎外科懇話会(招待講演)(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中西一義
2. 発表標題 整形外科疾患における体幹・四肢の三次元動作解析の試み
3. 学会等名 整形外科未来探索研究会(招待講演)(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中西一義
2. 発表標題 整形外科診療における体幹・四肢の三次元動作解析の試み -腰部脊柱管狭窄症の診断と治療への応用-
3. 学会等名 第74回整形外科カレントコンセプト(招待講演)(招待講演)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	安達 伸生  (ADACHI Nobuo)  (30294383)	広島大学・医系科学研究科(医)・教授   (15401)	
研究分担者	砂川 融  (SUNAGAWA Toru)  (40335675)	広島大学・医系科学研究科(保)・教授   (15401)	
研究分担者	木村 浩彰  (KIMURA Hiroaki)  (60363074)	広島大学・病院(医)・教授   (15401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------