

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 27 日現在

機関番号：32643

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25282159

研究課題名(和文) 腰椎骨盤リズムの動作解析によるヒップスパインシンドロームの病態解明と治療法開発

研究課題名(英文) Measurement for lumbar spine range of motion by three-dimensional motion analysis system

研究代表者

緒方 直史 (OGATA, NAOSHI)

帝京大学・医学部・教授

研究者番号：10361495

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：Hip spine syndromeを解明するため、三次元動作解析法を用いて動作中の腰部運動測定法を新規に開発し、運動時におけるLumbopelvic rhythm (LPR)を明らかにすることを試みた。本研究で用いた新規マーカ法は、腰部運動を測定する上で妥当な手法であることが示され、再現性と信頼性は高く、リアルタイムな腰部運動の測定に応用できた。体後屈時のLPRは、体後屈では股関節が1°伸展する時に腰部が1.9°伸展することが示され、体側屈では、側屈方向と同側のLoad側股関節が1°外転し、側屈方向と対側のUnload側股関節が1°内転する時に腰部が2.4°側屈することが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The assessment of the LROM using x-ray is still one of the most precise methods, despite the radiation exposure. To avoid this, alternative methods, such as the VICON system and electrogoniometer, have been widely used. No study has reported LROM measurements using a VICON system. The VICON system and electrogoniometer measured LROM and lumbar motion in 7 healthy males during 7 days. The mean maximum LROM values using the VICON system/electrogoniometer were 42°/52° for flexion, 17°/24° for extension, 16°/16° for lateral bending, and 8°/2° for axial rotation. Between VICON system and the electrogoniometer, Bland-Altman plots revealed no discrepancies in LROM values except for flexion. LROM measurements with VICON system showed excellent reliability for flexion and extension and fair-to-good reliability for other motions. VICON system with our novel marker set allows practical and reliable longitudinal assessment of dynamic LROM.

研究分野：リハビリテーション医学

キーワード：三次元動作解析 腰椎可動域 股関節可動域

1. 研究開始当初の背景

総務省による高齢者の人口推計では、平成24年9月に65歳以上が国内史上初の3千万人台へ達し、総人口に占める高齢者の割合は24.1%であると発表した。加速する高齢化社会に伴い、高齢者が要支援・要介護状態に陥る原因の中で、変形性関節症に代表される関節疾患がその原因疾患の上位に位置されており(厚生省国民生活基礎調査)健康寿命の維持・介護予防の上からも高齢者の運動器疾患の予防・治療法の開発・確立が社会的急務となっている。

近年、股関節あるいは腰椎どちらかの変形性病態が相互の運動機能に障害を起こす、Hip Spine syndrome (HSS) という疾患概念が提唱され(Spine 8:316, 1983)、高齢者に多く認められる事が明らかになったが(Spine 29:2432, 2004)その定義は未だ曖昧であり、その発症要因も充分解明されていない。これまで、人工股関節置換術を受けた患者では質問紙による腰痛スコアが有意に減少し、破綻した股関節機能を改善すると腰痛が改善したことからHSSであった(Spine 32, 2007)と報告されているが、股関節機能がどのように改善されると腰痛が軽減されるのか、そのメカニズムの説明が不十分である。また、変形性股関節症により腰椎の変形が強くなる(Spine 30, 2005)と報告されているが、どのように腰椎変形が強くなっていくのかその過程は明らかにされておらず、股関節または腰椎の機能破綻がどちらかの運動機能へ及ぼす影響は明らかにされていない。

一方、様々な運動時での股関節を介した骨盤と腰椎の動きの運動性として、股関節に対する骨盤と腰椎の相対的な角度変化であるLumbo-Pelvic Rhythm (LPR) が注目されている。LPRは、肩関節屈曲時の肩甲骨の運動的な動きである肩甲骨腕リズムに類似しており、一般に立位体前屈動作では股関節が1.0°屈曲するのに対し腰椎は0.6-3.0°屈曲するという報告や(Spine 22, 1997)体後屈動作ではその比が1°:1.4°で伸展すると報告されている(Hum Mov Sci 23:21, 2004)。しかしLPRについてはこれまで三次元動作解析などの科学的手法を用いた詳細な検討は一切されておらず、健常者の歩行時あるいは脊椎に負担が大きい体後屈などの運動時での三次元動作解析法を用いたLPR変化ならびに筋活動パターン、さらには運動器疾患患者におけるLPR変化とその時の筋活動についても全く調べられていない。また、歩行などの動作中の継時的なLPR変化、さらには股関節あるいは腰椎などに変性を認める運動器疾患患者におけるLPR変化とその時の筋活動についても全く調べられていない。さらに、三次元動作解析法による腰椎前弯角の計測方法は多々報告されているが、X線と比較した妥当性について言及されていない(Gait Posture 5, 1997)。三次元動作解析法を用い

る利点は、被ばくを避けて骨格の動きをリアルタイムで計測できることであるが、方法論の妥当性を示すためにはX線撮影結果との整合性を述べる必要がある。また、これまでの脊椎棘突起上のみにつけた三次元動作解析マーカを計測する方法で腰椎前弯角を実際に計測すると、安定した計測値が得られない(Spine 28, 2003)。

そこで本研究では、新たな腰椎前弯角の計測方法を開発し、三次元動作解析マーカを腰椎棘突起上と脊柱起立筋上に付けることで安定した計測値を得られるようにした。考案した計測方法とX線による計測値を比較して、その整合性および妥当性を検証することを第一の目的とする。さらに我々は、高齢者の運動器変性疾患の中に多くのHSS患者が存在し、また股関節と腰椎に一連の障害を来すHSSの発症に、このLPRの破綻が関与していると考え、本研究では、健常成人と高齢者、さらには変形性股関節症患者ならびに脊柱側弯症患者のLPRを、三次元動作解析法を用いて詳細に検討し、臨床データと併せて解析することで、LPRとHSS発症との関連性を証明し、高齢者におけるHSS発症メカニズムの解明を目指す。さらにはLPRを応用したHSS治療方法を開発し、高齢者におけるHSSに進行し得る運動器変性疾患の予防法の確立に繋がる基礎検討を行うこととした。

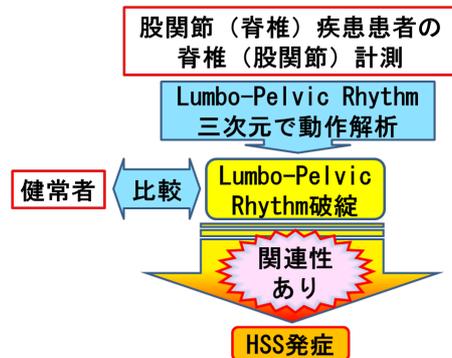


図1. Lumbo-Pelvic Rhythm破綻による Hip Spine syndrome発症メカニズム

2. 研究の目的

本研究ではLPR変化とHSSの関連性を調べることで、HSS発症メカニズムの解明を目指す。具体的には、以下のサブテーマにつき検討を行うこととした。

- (1) 動作時腰椎前弯角計測の妥当性の検討
～三次元動作解析法とX線の比較～
- (2) 三次元動作解析法を用いた健常若年成人の様々な運動時におけるLPRの解析
- (3) 健常高齢者でのLPRの解析ならびに加齢によるLPR変化の比較検討
- (4) 変形性股関節症患者における様々な運動時の三次元動作解析法を用いたLPRの解析
- (5) 脊柱側弯症患者における様々な運動時の三次元動作解析法を用いたLPRの解析

(6) 変形性股関節症および脊柱側弯症の病態変化に伴う LPR 変化の縦断的検討



図2. Lumbo-Pelvic Rhythmの破綻を改善するリハビリテーション法の開発

3. 研究の方法

(1) 動作時腰椎前弯角計測の妥当性の検討

健康者を対象に腰椎前弯角を計測して解析する。被験者は 静止立位群または 動作姿勢（立位体前後屈と立位体側屈）保持群のどちらかの群にランダム割り付けで振り分ける。三次元動作解析装置（VICOMMX カメラ7台、VICON Motion Systems 社）と X 線撮影装置（シーメンス OPTITOP）を用い、骨盤に対する胸腰椎移行部（T10-T12）の相対的な角度を腰椎前弯角として計測する。サンプルサイズ設計は、検出力を 0.8 として レベルを 0.05 とし、2 群の標準差を 1.0 とすると、2 群間の差の検定に最低 30 人の計測が必要となる（Practical Statistics for Medical Research, 2007）。統計手法は 2 群間の差の検定に対応のある t 検定、X 線撮影と三次元動作解析の結果の比較に Bland-Altman Plot 法と Pearson の積率相関係数を用いる。計測値の精度には標準偏差を平均値で割った変動係数（%）を算出する。危険率 5% 未満をもって有意とし、95% 信頼区間を併記する。健康者を対象に腰椎前弯角の三次元計測の再現性および信頼性を検討する。計測動作は、立位体前屈・体後屈、左右への側屈と回旋とし、動作の順番をランダム化する。計測は日内に 2 回と 7 日以上空けて日間で再計測を行い、動作中の LPR 計測の再現性および信頼性を日間で比較する。計測器は三次元動作解析装置と電磁ゴニオメータ（Biometrics Ltd）を用い、両器を同期させて機器の比較も行う。

(2) 三次元動作解析法を用いた健康若年成人の様々な運動時における LPR の解析

三次元動作解析法を用い健康若年成人の LPR を明らかにする。計測システムを構築した後、股関節や脊柱に既往のない若年成人 30 名を募集し、各々立位での前・後屈、側屈、回旋、歩行時の動作を三次元動作解析装置と床反力計 4 台（AMTI 社・KISTLER 社）を用い

て計測する。計測用スーツを着用し、身体各ランドマーク 35 ヶ所（Plug-in Gait マーカーセット法による）と脊椎棘突起 9 箇所（C7、T2、5、7、10、12、L3、5、S3 の位置を超音波診断装置（SonoSite 社）を用いて特定）と棘突起の左右 8 か所（T1、6、11、L4）に赤外線反射マーカーを付け動作を計測する。得られたデータから、股関節に対する腰椎前弯角の相対的な角度変化（LPR = 腰椎前弯角 / 股関節角度）を算出し、動作の時間軸で検討する。表面筋電図電極を体幹筋上（脊柱起立筋、多裂筋、腹直筋、外腹斜筋、内腹斜筋、大腿直筋、ハムストリングス）に添付し、動作時の LPR 変化に対して筋放電量・筋発火パターンおよび筋機能を評価する。合わせて身体重心、関節モーメントと関節パワーを算出して LPR 変化の要因を検討する。各姿勢と各動作時で、腰椎前弯と股関節の相対的な角度変化（運動）を時間軸で検討する。統計手法は LPR に対して時間軸で分散分析（事後検定は Tukey）を用いる。LPR（= 腰椎前弯角 / 股関節角度）は股関節角度が分母であり、動作時に分母が小さいことで LPR が高くなり平均値が大幅に偏る時は LPR を対数変換して算出する

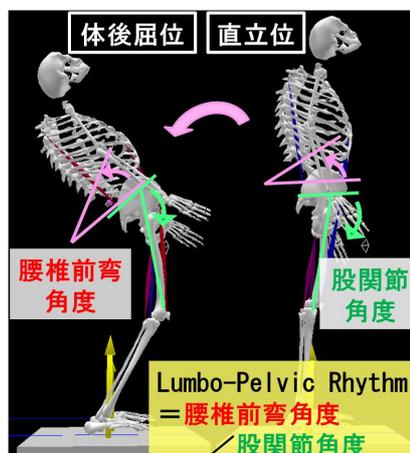


図4. 三次元動作解析法による Lumbo-Pelvic Rhythm解析方法（側面）

(3) 健康高齢者での LPR の解析ならびに加齢による LPR 変化の比較検討

健康高齢者を対象に LPR を解析して高齢者の特徴を明らかにし、これまでに計測した健康若年成人の LPR データと比較することで加齢による LPR 変化を横断的に検討する。

腰椎および股関節に疾患を持たない 65 歳以上の高齢者を募集し、問診にて疼痛の有無、X 線で変性がないことを確認後、30 名を対象に健康若年成人と同様に構築した計測システムを用い、各動作時の三次元動作解析を行い、腰椎前弯と股関節の相対的な角度変化 LPR を解析し、重心変化、関節モーメントとパワー、筋放電パターンから LPR 変化の要因を検討する。高齢者の LPR を若年成人と横断的に比較検討し、健康者群の高齢者と若年成人の各特徴について平均データを蓄積し加齢による筋機能や関節可動域の低下、重心の

移動能力低下から LPR 変化の要因を明らかにする。統計手法は、LPR の加齢変化では相関係数を用い、高齢者と健常若年成人の違いでは二元配置分散分析(年齢×時間)を用いる。(4)変形性股関節症患者における様々な運動時の三次元動作解析法を用いた LPR の解析

股関節疾患が脊椎に及ぼす影響について LPR をもって検討し、HSS と LPR の関連性を明らかにする。脊椎に既往のないことが X 線上確認できた、外来通院中の変形性股関節症患者 30 名を計測対象とする。立位で体前・後屈、側屈、回旋、歩行時の動作を三次元動作解析装置を用いて計測し、股関節に対する腰椎前弯角の相対的な角度変化(LPR)を算出し、動作の時間軸で検討する。表面筋電図電極を体幹筋と下肢筋上に添付し、筋放電量と筋活動パターンから筋機能を評価する。関節モーメント、関節パワー、歩行速度、重心移動、床反力などを算出、解析する。併せてビデオカメラにより、各動作の全体像を記録する。さらに X 線を用い被験者の股関節および脊椎を計測し、病態でグレードを分ける。変形性股関節症の評価は Kellgren and Lawrence グレードと Hip joint width 法を用いる。また質問紙(The Roland-Morris Disability Questionnaire(RMDQ)日本語 JOA 版、日本語版 Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC))を用いて股関節痛が日常生活へ及ぼす影響を評価する。これらのデータを基に、股関節機能障害が腰椎へ及ぼす影響について健常高齢者と変形性股関節症患者で比較し、X 線撮影結果をもとに疾患の重症度で脊椎へ及ぼす影響を分けて検討するために疾患のグレード分類別で比較する。これらのデータを基に、統計手法として相関係数、二元配置分散分析(重症度×時間)、HSS 発症有無を目的変数として重症度で調整したロジスティック回帰分析を用い、LPR と HSS 発症との関連性を検討する。

(5) 脊柱側弯症患者における様々な運動時の三次元動作解析法を用いた LPR の解析

脊柱側弯症状が股関節に及ぼす影響について LPR をもって検討し、HSS と LPR の関連性を明らかにする。股関節に既往のないことが X 線上確認できた、外来通院または手術目的で入院中の側弯症患者 30 名を計測対象とする。上記と同様に立位動作を三次元動作解析装置で計測し、関節モーメント、関節パワー、歩行速度、重心移動、床反力、筋活動パターンの変化について動作の時間軸で LPR を検討する。さらに X 線撮影結果から脊柱側弯症状の度合いを Cobb 法を用いてグレードを分ける。

さらに当科では、平成 24 年 11 月より下肢用ロボットスーツ HAL(CYBERDYNE 社)の導入が確定しており、このロボットで被験者に股関節可動域制限を施し偽陽性変形性股関節症患者を再現することができ、制限の度合いを軽度から重度へ変えることにもなう動

作中の LPR(脊椎への影響)を計測することが可能である。それにより、実際の患者に起こる LPR 破綻を疑似的に再現し、HSS 発症のメカニズムを証明することが可能である。本研究は、種々の解析を取り入れた研究であるため、このような処置は十分可能である。

(6) 変形性股関節症ならびに脊柱側弯症の病態変化に伴う LPR 変化の縦断的検討

変形性股関節症ならびに 脊柱側弯症の経時的な病態変化に伴う LPR 変化による HSS への影響を縦断的に検討するため、上記の解析に参加した脊椎に既往のない変形性股関節症患者と股関節に既往のない脊柱側弯症患者で各 30 名を対象に、上記研究と同様な方法で経時的に計測し、データを蓄積する。

4. 研究成果

(1) 動作時腰椎前弯角計測の妥当性の検討
新規マーカー法の信頼性と再現性の検討

三次元動作解析装置および電磁ゴニオメータによる最大腰部 ROM はそれぞれ、屈曲動作で $41.9 \pm 6.6^\circ$ と $51.6 \pm 4.6^\circ$ 、伸展動作で $17.4 \pm 10.3^\circ$ と $24.2 \pm 18.5^\circ$ 、側屈動作で $16.3 \pm 3.5^\circ$ と $16.3 \pm 6.2^\circ$ 、そして回旋動作で $8.4 \pm 3.9^\circ$ と $2.3 \pm 5.8^\circ$ であった。両器ともに全ての動作における LROM の CMC は、日内・日間ともに 0.9 以上で、日内・日間の波形パターンの再現性は excellent であった。

Bland-Altman Plot 屈曲以外のすべての動作で、Bland Altman Plot は両器の差の平均値 ± 1.96 SD 内に納まり、両器の差の平均値 ± 1.96 SD は 0 を含んでいた。屈曲動作における Bland Altman Plot は両器の差の平均値 ± 1.96 SD 内に納まっていたが、この範囲は 0.16 から 19.25 でありわずかに 0 から離れ、両器の計測結果に違いがみられる傾向にあった。

ICC と SEM

三次元動作解析装置および電磁ゴニオメータによる最大腰部 ROM の ICC の中央値はそれぞれ、屈曲動作で 0.75(excellent)と 0.80(excellent)、伸展動作で 0.80(excellent)と 0.63(fair-to-good)、側屈動作で 0.60(fair-to-good)と 0.44(fair-to-good)、そして回旋動作で 0.68(fair-to-good)と 0.71(fair-to-good)であった。伸展と側屈動作で三次元動作解析装置の方が電磁ゴニオメータより高い信頼性であった。三次元動作解析装置と電磁ゴニオメータの誤差指標である SEM はそれぞれ、屈曲動作で 7.39 と 7.94 以下、伸展動作で 6.75 と 11.82 以下、側屈動作で 2.25 と 4.74 以下、そして回旋動作で 2.05 と 3.29 以下であり、三次元動作解析装置の方が電磁ゴニオメータよりすべての動作で誤差が小さかった。Bland Altman Plot より、最大 LROM は屈曲以外のすべての動作で両器の計測結果に差がないことを示し、両器の計測値は近似する結果となった。屈曲動作では Bland Altman Plot より両器

の差の平均 \pm 1.96 SD が 0 を含まず、三次元動作解析装置で 42°、電磁ゴニオメータで 52° となり、10° 異なる結果となった。

ICC (1,3) の中央値は、両器の屈曲動作と三次元動作解析装置の伸展動作で excellent、他は fair-to-good であった。ICC は三次元動作解析装置の方が電磁ゴニオメータより伸展と側屈動作で高く、屈曲動作では excellent を示していたことより、本研究の三次元動作解析装置の再現性の結果は電磁ゴニオメータと同等かそれ以上であり、三次元動作解析装置による本研究で用いたマーカー貼付法の方が信頼性は高いといえる。三次元動作解析法では電磁ゴニオメータより貼付するマーカーが多く、マーカー貼付位置の誤差の影響が多いにもかかわらず、計測誤差は三次元動作解析で小さいことより、本研究で用いたマーカー貼付方法の方が電磁ゴニオメータより脊椎 ROM 計測に優れているといえる。

(2) 三次元動作解析法を用いた健康若年成人の様々な運動時における LPR の解析

三次元動作解析法による新規腰部運動測定法で体後屈時の LPR を測定した。その結果、体後屈では、股関節が 1° 伸展する時に腰部が 1.9° 伸展することを示した。LHR では、Backward 相で 1.2 から 1.9 へ増大し (平均 1.6)、Forward 相では 1.9 から 0.5 へ減少した (平均 1.5)。この LHR の変化は、バランスを維持した状態での体後屈と体後屈位から静止立位中間位へ戻る時の動作ストラテジーによると考えられた。また、三次元動作解析法による新規腰部運動測定法で体側屈時の LPR を測定した。その結果、体側屈では、側屈方向と同側の Load 側股関節が 1° 外転し、側屈方向と対側の Unload 側股関節が 1° 内転する時に腰部が 2.4° 側屈することを示した。LHR では、Descend 相で 5.9 から 3.6 へ (平均 4.5) 有意に低下し、Ascend 相では LHR は 3.6 から 5.6 へ (平均 4.2) 有意に増加した。この体側屈時の動作ストラテジーは中枢神経系による左右股関節と腰部のコントロールによると考えられた。

(3) 健康高齢者での LPR の解析ならびに加齢による LPR 変化の比較検討

高齢者の症例数は現在集積中であり、データを解析中であり、まだ公表する段階ではない。

(4) 変形性股関節症患者における様々な運動時の三次元動作解析法を用いた LPR の解析

変形性股関節症の患者 10 名の計測を行ったところ、末期の股関節症においては LPR が 2.4 と有意に上昇しており、股関節の動きを腰椎で代償していることが明らかとなった。

(5) 脊柱側弯症患者における様々な運動時の三次元動作解析法を用いた LPR の解析ならびにロボットスーツ HAL を用いた股関節機能の検討。

ロボットスーツはリハビリテーションに応用され、日本では体重支持型や歩行支援型、

Hybrid Assistive Limb (HAL[®], Cyberdyne) などがあるが、HAL 着用時の詳細な起立動作は明らかではない。そこで両脚用 HAL 着用時の起立動作を三次元動作解析でその動きを解析した。健康男性 10 人 (平均 35 歳) を対象に、三次元動作解析装置 (VICON Motion Systems Ltd) と Plug in gait マーカ法を用い、40 cm 台からの起立を 100 Hz にて測定した。HAL は股関節と膝関節の運動をアシスト可能である。起立は 3 条件で、HAL 非着用時 (CON)、着用時で 75% 随意収縮アシスト有 (AST)、無 (NST) とした。各条件での起立時間と体幹傾斜、股関節、膝関節、足関節の各矢状面角度を算出した。各角度について、屈曲推進 (第 1) 相、推進力転換 (第 2) 相、伸展 (第 3) 相の 3 相で比較した。起立時間の平均は、CON 2.5 秒、AST 3.9 秒、NST 3.1 秒であった。AST と NST で起立時間が長いのは、HAL の重量やモータ駆動による動作制御によると考えられた。また、CON と比較し AST と NST は、第 1 相では体幹前傾が 11°、股関節屈曲角度が 15° 増大した。これは後方への転倒防止と体幹の屈曲推進力増大を目的とした動作であると考えた。第 2 相では足関節背屈角度が 6° 増大した。これは増大した屈曲推進力を垂直方向へ効率的に伝達するためであると考えられた。両脚用ロボットスーツを起立時のリハビリテーションへ応用する時、起立動作が CON と異なることを考慮する必要があることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

(1) 緒方直史、戸島美智雄、中原康雄、荻賀信彦: 三次元動作解析法による

Lumbo-pelvic Rhythm を用いた Hip Spine Syndrome の解明. 帝京医学雑誌 38, 91-98, 2015. 査読あり

(2) Tojima M, Ogata N, Yozu A, Sumitani M, Haga N. Novel 3-dimensional motion analysis method for measuring the lumbar spine range of motion: repeatability and reliability compared with an electrogoniometer. *Spine*. 38:1327-1333, 2013. 査読あり

[学会発表] (計 3 件)

(1) Michio Tojima, Haruhi Inokuchi, Yuki Ishikawa, Yasuo Nakahara, Hirofumi Ooshima, Shigeyuki Tanaka, Naoshi Ogata, Nobuhiko Haga.

Lager flexion angle of spine and hip during sit-to-stand in healthy volunteers wearing robotic suit for lower limb. Gait and Clinical Movement Analysis Society 2014 Meeting. 2014.6.25. Delaware, USA.

(2) Michio Tojima, Yasuo Nakahara, Haruhi

Inokuchi, Yuki Ishikawa, Yasunori Kumono, Naoshi Ogata, Yoshiyuki Sankai, Nobuhiko Haga.

Lager flexion angle of spine and hip during sit-to-stand in healthy volunteers wearing robotic suit for lower limb. 7th world congress of Biochanics, 2014.6.10.Boston USA.

(3) 戸島美智生, 中原康雄, 井口はるひ, 石川 雄己, 雲野康紀, 緒方直史, 芳賀信彦.

三次元動作解析法を用いた両脚用ロボットスーツ着用時の起立動作解析。第 51 回日本リハビリテーション医学会学術集会、2014.6.3. 名古屋国際会議場(名古屋、愛知県)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

緒方 直史 (OGATA NAOSHI)
帝京大学・医学部・教授
研究者番号：22659267

(2) 研究分担者

中原 康雄 (NAKAHARA YASUO)
東京大学・医学部附属病院・助教
研究者番号：80595968

芳賀 信彦 (HAGA NOBUHIKO)
東京大学・医学部附属病院・教授
研究者番号：80251263