

機関番号：15401
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2009 ～ 2010
 課題番号：21700532
 研究課題名(和文) 体幹と下肢の運動連鎖からみた変形性膝関節症の椅子からの立ち上がり動作の分析
 研究課題名(英文) Kinetic chain of the trunk and the lower extremity of patients with knee osteoarthritis during sit-to-stand movements
 研究代表者
 阿南 雅也 (ANAN MASAYA)
 広島大学・大学院保健学研究科・助教
 研究者番号：10517080

研究成果の概要(和文)：

変形性膝関節症者の方々と健康な方の椅子からの立ち上がり動作の仕方の差とその原因を調べ、その調査結果を変形性膝関節症患者の方々に対する新しい治療法に役立てることを目的として行った。その結果、変形性膝関節症者は股関節の筋を効率よく発揮できていないことから、上半身を前に傾げることで得たエネルギーを利用した立ち上がり動作ができておらず、膝関節の筋の負担が増大していることが分かった。理学療法によるこれらの機能の獲得が変形性膝関節症の発症ならびに進行の予防につながることを示唆された。

研究成果の概要(英文)：

The purpose of this study was to investigate the differences in the sit-to-stand motion of healthy people and knee osteoarthritis patients and to implement this task as a new treatment strategy for knee osteoarthritis patients. The results of this study suggested that the sit-to-stand motion for knee osteoarthritis could not produce the kinetic energy by forward trunk-tilt not to exert hip extension muscles efficiently, which knee extension muscles overloaded. These functions can be performed by physical therapy, which may be effective in preventing the pathogenesis and progress of knee osteoarthritis.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：理学療法, バイオメカニクス

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：理学療法学

1. 研究開始当初の背景

変形性膝関節症 (knee osteoarthritis: 以下、膝 OA) は関節構成体の退行性変化と骨・軟骨の増殖性変化を呈する慢性進行疾患である。このため、関節可動域制限や大腿四頭筋力低下の機能障害、膝内反変形などの構築学

的な問題と疼痛により、多くの日常生活上の多くの動作能力が障害される。それらの動作の中で、椅子からの立ち上がり動作 (sit-to-stand: 以下、STS) は日常頻繁に繰り返される動作であり、座位から立位への姿勢転換に伴う下肢と体幹の広い関節運動と、下

肢関節への荷重を要求する動的要素の強い動作である。従って、STS の能力によって膝 OA 患者の日常生活の活動レベルが左右されると言っても過言ではない。膝 OA の動作分析に関する研究で多くみられるのは、歩行の立脚初期に lateral thrust とよばれる膝関節の病態運動を 3 次元動作解析や加速度計、角速度計等を用いて調べているものがほとんどであり、STS に着目した研究は渉猟した限りにおいては詳細に記述されたものは見当たらない。

「運動器の 10 年」世界運動が 2000 年からスタートし、運動器疾患の予防に焦点が当てられている現在、運動器疾患の治療と予防に理学療法士が担う役割は大きい。膝 OA において、保存療法と手術療法のどちらの場合でも理学療法は適応されるが、多くの臨床現場では漠然と関節可動域運動や筋力増強運動が行われているのが現状である。膝 OA の発症・進行に関与する要因を探り、予防に繋がる運動療法の EBPT (evidence-based physical therapy) の確立が急務とされている。

2. 研究の目的

本研究の目的は以下の 3 つである。

- 1) 健常若年者における STS 時の動作方略を身体重心の前方移動に寄与しているとされる体幹および下腿の前傾運動と下肢関節が受容する負担との関係を明らかにする。
- 2) 膝 OA 患者における STS 時の動作方略を 3 次元動作解析システムと床反力計、筋電計を用いた研究をとおして、胸部-骨盤-大腿-下腿の運動連鎖の観点から、膝 OA の発症・進行に関与する要因を明らかにする。
- 3) 膝 OA 患者の SYS 時の下肢筋活動を量的および質的側面から検討する。

以上の結果を導き出すことで膝 OA の発症・進行予防につながる斬新な理学療法アプローチを提案する上で有益な情報が提供され、膝 OA 患者の ADL (日常生活活動) の範囲拡大と、QOL (生活の質) の向上が期待できる。

3. 研究の方法

(1) 研究 1

被験者は健常若年男性 10 人(平均年齢 22.2 ± 1.3 歳, 平均身長 173.2 ± 5.2cm, 体重 65.0 ± 7.4kg, BMI 21.7 ± 1.9)であった。全被験者に研究の目的と内容を説明し、文章にて同意を得たうえで実験を行った。なお、本研究は広島大学大学院保健学研究科心身機能生活制御科学講座倫理委員会の承認を得て行った。

課題動作は座面高を下腿長の高さに設定した椅子からの STS とした。下腿部を鉛直となるようにし、また両足部間距離は両上前

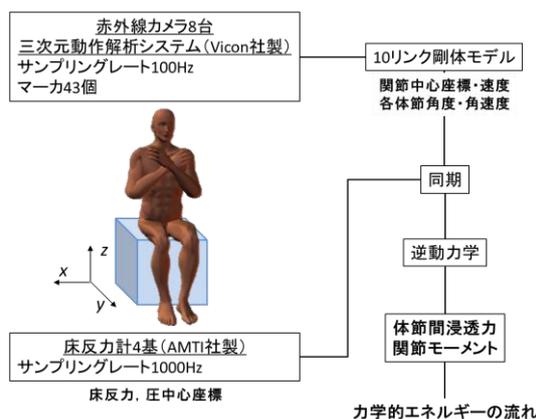


図 1 測定および解析方法

腸骨棘間距離と等しくなるように足部を配置した。そして股関節と膝関節の midpoint が椅子座面の先端にくるように設定した姿勢を動作開始前の姿勢とした。なお、上肢は前胸部で組ませた。動作開始前の姿勢からの立ち方は、快適スピードとし、動作中に足部を動かさないように、また上肢を使用しないように指示した。

課題条件は通常の STS (N 条件) と、できるだけ体幹を前傾して行う STS (TM 条件)、できるだけ体幹を直立位にて行う STS (TV 条件) の 3 条件とした。

身体 41 箇所直径 14mm の赤外線反射マーカーを貼付し、赤外線カメラ 6 台を用いた 3 次元動作解析システム Vicon MX (Vicon 社製) と、4 基の床反力計 (テック技販社製) を使用して、サンプリングレート 100Hz にて STS を計測した。得られたマーカー座標から胸部、腹部、骨盤、左右大腿、左右下腿、左右足部で構成される 10 剛体リンクモデルを作成し、各セグメントの連結部を関節中心点とした。これらより関節中心座標・速度、セグメント角度・角速度、関節モーメント、体節間浸透力を算出し、力学的エネルギーの流れを求めた (図 1)。なお、力学的エネルギーの流れは胸部、腹部、骨盤、大腿、下腿の各剛体間における体節間浸透力によるエネルギー変化

(体節間浸透力パワー) と関節モーメントによるエネルギー変化 (筋パワー) とこれらの合成パワーをそれぞれ算出した (図 2・3)。なお、本研究では体節内の各部位は頭頂部から近い方を近位部、遠い方を遠位部と表現した。

統計学的解析には統計ソフトウェア SPSS Ver. 17.0 J for Windows (エス・ピー・エス・エス社製) を用い、3 条件の比較には一元配置分散分析を用い、多重比較を行った。なお、有意水準は 5% 未満とした。

(2) 研究 2

膝 OA の診断を受けた 24 人の女性を被験者とした (平均年齢 69.9 ± 4.7 歳, 平均身長 151.1 ± 4.9 cm, 平均体重 56.7 ± 8.0 kg)。膝 OA の

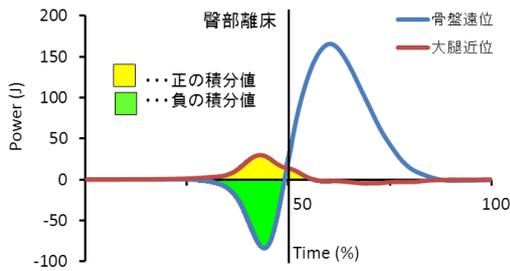


図2 股関節における全体パワーの一例

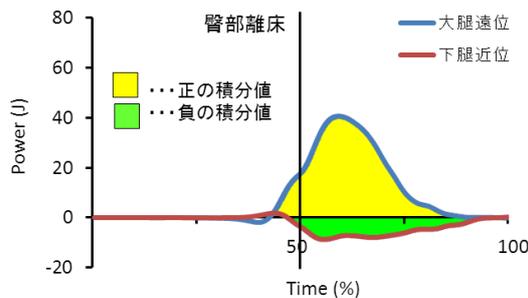


図3 膝関節における全体パワーの一例

重症度の判定は両脚立位時の膝関節の前後 X 線写真撮影により、Kellgren-Lawrence 分類を用いて行った。その結果、grade I が 7 人、grade II が 4 人、grade III が 9 人、grade IV が 4 人であった。また、比較のために年齢等の属性が膝 OA 群と同じである女性 19 人を対照群の被験者とした（平均年齢 69.8 ± 4.1 歳、平均身長 151.9 ± 4.7 cm、平均体重 49.1 ± 7.5 kg）。全被験者に研究の目的と内容を説明し、文章にて同意を得たうえで実験を行った。なお、本研究は広島大学大学院保健学研究科心身機能生活制御科学講座倫理委員会の承認を得て行った。

課題動作、測定方法、解析方法は研究 1 と同様の方法を採用した。

統計学的解析には統計ソフトウェア SPSS Ver. 17.0 J for Windows（エス・ピー・エス・エス社製）を用い、膝 OA 群と対照群との比較には 2 標本 t 検定を用いた。なお、有意水準は 5% 未満とした。

(3) 研究 3

膝 OA の診断を受けた 13 人の女性を被験者とした（平均年齢 71.1 ± 4.9 歳、平均身長 150.0 ± 4.6 cm、平均体重 54.3 ± 6.5 kg）。膝 OA の重症度の判定は両脚立位時の膝関節の前後 X 線写真撮影により、Kellgren-Lawrence 分類を用いて行った。その結果、grade I が 7 人、grade II が 1 人、grade III が 4 人、grade IV が 1 人であった。また、比較のために年齢等の属性が膝 OA 群と同じである女性 11 人を対照群の被験者とした（平均年齢 68.9 ± 4.4 歳、平均身長 151.8 ± 4.0 cm、平均体重 49.0 ± 7.5 kg）。全被験者に研究の目的と内容を説明し、文章にて同意を得たうえで実験を行った。な

お、本研究は広島大学大学院保健学研究科心身機能生活制御科学講座倫理委員会の承認を得て行った。

被験筋は大殿筋上部線維、内側ハムストリングス、内側広筋、大腿直筋とし、表面電極を使用し、双極誘導による筋電図を導出した。表面電極は被験筋の筋腹に沿って、電極間距離約 3cm で貼付した。得られたデータは表面筋電計 EMG マスター（メディエリアサポート企業組合製）を用い、各筋の活動性をサンプリング周波数 1kHz、解析周波数帯域は 15-400Hz で測定した。そしてその情報を筋電図モニタリングプログラム Km-Mercury（メディエリアサポート企業組合製）を用いた。STS を動作開始から臀部離床、臀部離床～動作終了それぞれを 100% に正規化した。

周波数解析は Gabor 関数を mother wavelet として連続 Wavelet 変換による周波数解析を行った。解析周波数帯を 22 区間に分け、それぞれのパワースペクトルを時系列的に求めた。Wavelet 解析はサンプリング周波数 8Hz にて行った。解析区間の筋電図の周波数 Wavelet 変換を行った。変換したデータから平均周波数（mean power frequency：以下、MPF）を算出し、試行毎の MPF を加算平均した値を各条件での MPF とした。臀部離床前の 80～90%、90～100% 間での最小値を最小 MPF、臀部離床後の 0～10%、10～20%、20～30% 間での最大値を最大 MPF として算出した。

統計学的解析には統計ソフトウェア SPSS Ver. 17.0 J for Windows（エス・ピー・エス・エス社製）を用い、膝 OA 群と対照群との比較には 2 標本 t 検定を用いた。なお、有意水準は 5% 未満とした。

4. 研究成果

(1) 研究 1

股関節伸展モーメント積分値は TM 条件が N 条件、TV 条件いずれよりも有意な高値を示した ($p < 0.05$)。また、膝関節伸展および足関節背屈モーメント積分値は、TV 条件が N 条件、TM 条件いずれよりも有意な高値を示した ($p < 0.05$)（表 1）。筋パワーでは、骨盤遠位の負パワーおよび大腿近位の正パワー積分値は、TM 条件が N 条件、TV 条件いずれよりも有意な高値を示した ($p < 0.05$)。また、下腿近位の負パワー積分値は、TV 条件が TM 条件よりも有意な高値を示し、大腿遠位の正パワー積分値は TV 条件が N 条件、TM 条件いずれよりも有意な高値を示した ($p < 0.05$)（表 2）。

TM 条件では体幹前傾によって骨盤から大腿への力学的エネルギーの流れがより増大したために、主に股関節伸展モーメントを利用した力学的エネルギーの発生を行っていたと考えられる（図 4）。しかし、TV 条件で

は体幹前傾による骨盤から大腿への力学的エネルギーの流れを得ることが困難なため、足関節背屈モーメントにて下腿前傾を行い、下腿から大腿への力学的エネルギーの流れをより増大させて、主に膝関節伸展モーメントを利用した力学的エネルギーの発生していたものと考えられる。

表 1 各条件における関節モーメント積分値

(Nm/kg·s)	条件 N	条件 TV	条件 TM
股関節伸展	93.4±27.1 [§]	70.8±31.5	155.2±45.8
膝関節伸展	26.8±8.3*	41.5±10.8	23.5±9.0
足関節背屈	2.8±2.8*	6.8±2.0	2.3±2.1

平均±標準偏差
*: vs 条件 TV (p<0.05), §: vs 条件 TM (p<0.05)

表 2 各条件における筋パワー積分値

(J/kg·s)	条件 N	条件 TV	条件 TM
骨盤遠位	-53.9±9.6* [§]	-31.2±9.9	-76.5±15.0
大腿近位	120.0±17.0* [§]	93.3±16.5	139.8±12.4
大腿遠位	39.8±19.4*	67.3±21.1	23.1±10.5
下腿近位	-10.8±5.5*	-16.6±5.8	-10.1±6.5

平均±標準偏差
*: vs 条件 TV (p<0.05), §: vs 条件 TM (p<0.05)

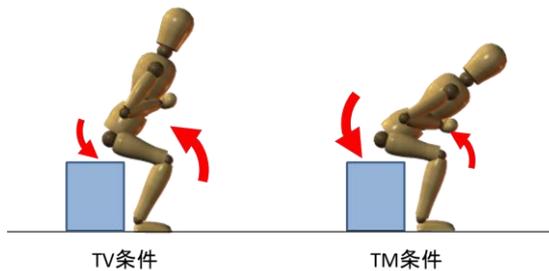


図 4 TV条件とTM条件のSTS

TV条件では下腿から大腿、TM条件では骨盤から大腿への力学的エネルギーの伝達量をN条件より大きくして臀部離床を行っている。

(2) 研究 2

胸部最大前傾角度は膝 OA 群が有意な高値を示した (p<0.05) (表 3)。筋パワーでは、骨盤遠位の負パワー平均値、下腿近位の負パワー積分値および平均値がより低値を示した (p<0.05)。また、大腿近位の正パワー平均値および大腿遠位の正パワー平均値がより低値を示した (表 4・5)。

これらのことは大腿部に流れる力学的エネルギーの流れの能力が低下していると考えられる。つまり、骨盤前傾による股関節伸展筋の遠心性収縮や下腿前傾による膝関節伸展筋の遠心性収縮による筋へのエネルギーの蓄積の能力が低下し、さらに股関節伸展筋および膝関節伸展筋による筋のエネルギー変換を速く行うことができていないことが示唆された。

表 3 対照群と膝 OA 群での体節角度

	対照群	膝 OA 群
胸部最大前傾 (°)	44.7±8.3*	51.7±10.7
骨盤最大前傾 (°)	31.4±6.7	29.6±6.5
下腿最大前傾 (°)	18±4.1	19.0±3.4

平均±標準偏差, *p<0.05

表 4 対照群と膝 OA 群での筋パワー積分値

	対照群	膝 OA 群
骨盤遠位 (J/kg·s)	19.1±7.3	20.2±5.3
大腿近位 (J/kg·s)	59.0±14.0	53.3±15.4
大腿遠位 (J/kg·s)	34.6±10.5	28.4±14.4
下腿近位 (J/kg·s)	12.7±5.1*	9.5±4.7
股関節効率 (%)	32.6±10.2*	39.8±10.4
膝関節効率 (%)	36.8±8.7	35.1±11.1

平均±標準偏差, *p<0.05

表 5 対照群と膝 OA 群での筋パワー平均値

	対照群	膝 OA 群
骨盤遠位 (J/kg)	46.2±11.0*	34.9±12.8
大腿近位 (J/kg)	43.8±15.1*	33.2±11.9
大腿遠位 (J/kg)	35.3±12.6*	23.5±12.1
下腿近位 (J/kg)	23.6±8.2*	34.9±12.8

平均±標準偏差, *p<0.05

(3) 研究 3

大殿筋、内側ハムストリングス、内側広筋の最小 MPF ならびに最大 MPF は膝 OA 群と対照群との間に有意差は認められなかった。

大腿直筋の最小 MPF は膝 OA 群 84.8±11.1 Hz、対照群 72.2±12.7 Hz で膝 OA 群が有意に大きかったが、最大 MPF には膝 OA 群と対照群との間に有意差は認められなかった (表 6)。

MPF の高周化は筋活動に参加する運動単位数、神経インパルス発射頻度、速筋線維の動員増加などが関与することから、膝 OA 群は臀部離床を行う際に、膝関節伸展筋力の低下を補うために大腿直筋の収縮強度を増加するためにタイプ II 線維の動員数が上昇させていたことが考えられる。

(4) まとめ

STS は体幹前傾によるエネルギーの流れが運動効率を向上させているが、体幹前傾の不足は下腿前傾によるエネルギーの流れが補償しており、これらの低下は筋による負担を増大している可能性があることが分かった。

また、変形性膝関節症者の STS は体幹前傾によって生じる運動エネルギーを利用する能力が低下し、適切な下腿前傾つまり足関節背屈が発揮できず、その結果として筋によるエネルギー発生が負担が増大していることが分かった。

表 6 対照群と膝 OA 群での STS 時の時間周波数解析

	対照群	膝 OA 群
大殿筋		
最小 MPF (Hz)	48.6±14.7	47.4±23.2
最大 MPF (Hz)	107.3±23.6	104.0±27.0
内側ハムストリングス		
最小 MPF (Hz)	57.2±10.2	67.9±27.7
最大 MPF (Hz)	135.9±14.0	143.3±32.2
内側広筋		
最小 MPF (Hz)	72.6±9.2	75.6±24.0
最大 MPF (Hz)	132.8±18.0	136.2±28.3
大腿直筋		
最小 MPF (Hz)	72.2±12.7*	96.5±32.8
最大 MPF (Hz)	146.7±22.3	155.8±30.5

平均±標準偏差, *p<0.05

筋活動では臀部離床を行う際に、膝関節伸展筋力の低下を補うために大腿直筋の収縮強度を増加するためにタイプ II 線維の動員数が上昇させていた。

以上のことから、適切な股関節伸展および膝関節伸展筋の発揮効率を獲得させることが、大腿直筋の過負荷を減少させることにつながると考えられる。このことが運動エネルギーを利用した STS の獲得および変形性膝関節症者の症状軽減および病態進行予防につながると示唆された。

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 8 件)

1. 山崎貴博, 木藤伸宏, 阿南雅也, 新小田幸一: 内側型変形性膝関節症者の歩き始めにおける立脚肢外部膝関節内反モーメントの特徴. 理学療法科学 25(6):951-956, 2010, 査読有
2. 阿南雅也, 徳田一貫, 木藤伸宏, 新小田幸一: 変形性膝関節症における椅子からの立ち上がり動作の運動学的分析. 理学療法科学 25(5): 755-760, 2010, 査読有
3. Nobuhiro Kito, Koichi Shinkoda, Takahiro Yamasaki, Naohiko Kanemura, Masaya Anan, Natsuko Okanishi, Junya Ozawa, Hideki Moriyama: Contribution of knee adduction moment impulse to pain and disability in Japanese women with medial knee osteoarthritis. Clinical Biomechanics 25(9): 914-919, 2010, 査読有
4. 山崎貴博, 木藤伸宏, 阿南雅也, 新小田幸一: 変形性膝関節症者の歩き始めと定常歩行時の外部膝関節内反モーメントについて. 理学療法科学 25(3): 343-348, 2010, 査読有
5. 中島大悟, 石丸和也, 山崎貴博, 阿南雅也, 木藤伸宏, 新小田幸一: 立ち上がり動作における体幹運動への加齢及び動作スピー

ドの影響. 理学療法科学 25(2): 239-243, 2010, 査読有

6. 長部太勇, 阿部友和, 阿南雅也: 立ち上がり動作の生体力学的特性と臨床への応用. 理学療法 27(2): 312-320, 2010, 査読無
7. 徳田一貫, 菅川祥枝, 阿南雅也, 木藤伸宏, 新小田幸一: 変形性膝関節症患者の歩行練習とその効果. 理学療法 26(9):1110-1122, 2009, 査読無
8. 木藤伸宏, 山崎貴博, 岡西奈津子, 阿南雅也, 小澤淳也, 金村尚彦, 新小田幸一: 変形性膝関節症の理学療法における運動制御・学習理論の応用. 理学療法 26:849-862, 2009, 査読無

[学会発表] (計 9 件)

1. 中島大悟, 山下祐助, 坂本有加, 井原拓哉, 山崎貴博, 阿南雅也, 新小田幸一: 身体運動機能の低下と立ち上がり動作時の下肢運動力学特性との関係. 第 7 回広島大学保健学会, 広島市, 2010 年 10 月 3 日
2. 阿南雅也, 山崎貴博, 中島大悟, 木藤伸宏, 新小田幸一: 力学的エネルギーの流れからみた椅子からの立ち上がり動作の成り立ち. 第 45 回日本理学療法学会大会, 岐阜市, 2010 年 5 月 27-29 日, 口述発表
3. 山崎貴博, 木藤伸宏, 阿南雅也, 新小田幸一: 両側変形性膝関節症者の歩き始めの立脚肢外部膝関節内転モーメントと膝関節痛の強さとの関連について. 第 45 回日本理学療法学会大会, 岐阜市, 2010 年 5 月 27-29 日, 口述発表
4. 木藤伸宏, 山崎貴博, 岡西奈津子, 小澤淳也, 新小田幸一, 阿南雅也, 金村尚彦: 変形性膝関節症の歩行時外部膝関節内反モーメントと下肢筋力との関係. 第 45 回日本理学療法学会大会, 岐阜市, 2010 年 5 月 27-29 日, 口述発表
5. 阿南雅也, 徳田一貫, 木藤伸宏, 新小田幸一: 体幹と下肢の運動連鎖からみた変形性膝関節症の椅子からの立ち上がり動作の分析(P2_423). 第 44 回日本理学療法学会大会, 東京都, 2009 年 5 月 28-30 日, ポスター発表
6. 山崎貴博, 木藤伸宏, 阿南雅也, 新小田幸一: 変形性膝関節症者の歩行開始における立脚肢膝関節内反モーメントの特徴(P2_425). 第 44 回日本理学療法学会大会, 東京都, 2009 年 5 月 28-30 日, ポスター発表
7. 中島大悟, 石丸和也, 山崎貴博, 阿南雅也, 木藤伸宏, 金村尚彦, 新小田幸一: 加齢が立ち上がり動作における下肢関節モーメント特性に及ぼす影響(P1_444). 第 44 回日本理学療法学会大会, 東京都, 2009 年 5 月 28-30 日, ポスター発表
8. 坂本有加, 藤野高史, 山下祐助, 小原謙一,

阿南雅也, 新小田幸一: 座面角度が椅子からの立ち上がり動作におよぼす影響 (P3_104). 第44回日本理学療法学会, 東京都, 2009年5月28-30日, ポスター発表

9. 徳田一貫, 合津卓朗, 田中泰山, 阿南雅也, 木藤伸宏: 変形性膝関節症の降段動作分析—運動学的データの解析を基に—(P2_422). 第44回日本理学療法学会, 東京都, 2009年5月28-30日, ポスター発表

[図書] (計1件)

1. 阿南雅也: 大腿骨頸部骨折の予防—転倒予防教室—. 実践 MOOK 理学療法プラクティス 大腿骨頸部骨折—何を考え, どう対処するか(嶋田智明・大峯三郎・加藤浩 編). p195-200, 文光堂, 2009

[その他]

ホームページ等

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/biomec/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阿南 雅也 (ANAN MASAYA)
広島大学・大学院保健学研究科・助教
研究者番号: 10517080

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし