

高齢者の運動機能障害評価 運動器障害診断ツール(足腰指数25)の開発

星野雄一^{*1}, 星地亜都司^{*1}, 土肥徳秀^{*2},
赤居正美^{*3}, 飛松好子^{*3}, 岩谷力^{*3}

緒言

平成20年9月15日時点で65歳以上の人口は2,819万人、平成25年には3,000万人を超えると推定されている。

高齢者の急増に伴い、平成12年4月に218万人の認定者数で開始された介護保険は、平成20年4月には460万人を超え、費用も3兆円から7兆円に急速に拡大している。介護認定者の増加要因を分析すると、要支援あるいは要介護1の比較的軽症者の増加率が最も高い(図-1)。さらに、この軽症者を要支援者に限ると、その原因としては骨折転倒・関節疾患など運動器疾患の比率が32.7%と最も高い(表-1)。

自立した快適な老後を過ごすことは万人の望みであり、そのためには健康寿命を損ねている3大疾患、すなわち表-1に示す脳血管疾患、運動器疾患、認知症の対策が肝要である。脳血管疾患に関しては、出血や梗塞の背景になる高血圧・糖尿病・高脂血症などを予防する目的で、その上流にある肥満を早期に検出する特定健診が、メタボリックシンドローム(メタボ)というキャッチコピーの元に、政策として平成20年春から導入されている。

一方、介護原因として2番目に頻度の高い運動

器疾患の対策は、メタボに比べると明らかに遅れている。平成12年から始まった「健康日本21」の中間評価(表-2)では、平成17年時点での国民の身体活動・運動の量は策定時よりも減少しており、事業の中心であった地方推進事業が期待される成果を挙げていないと解釈することができる。

このような認識のもと、運動器障害により要介護となるリスクの高い状態をロコモティブシンドローム(ロコモ)と呼び、運動器障害の重要性に気づかせる啓発活動を日本整形外科学会(以下日整会)(平成19年9月、中村耕三理事長)が開始した¹⁾。このロコモ啓発キャンペーンは、マスコミなどを用いて積極的に展開されている。

ロコモを早期に発見できれば、適切な運動習慣(スポーツも含む)の導入や運動器リハビリテーションの介入などにより、高齢者が要介護になることを予防できると考えられ、つまり、このような健診体制を確立できれば、個人としての健康寿命延伸に寄与するのみでなく、介護に要する総費用の軽減も期待できるのである。厚生労働科学研究として、平成20年度から「運動器障害の早期発見診断ツール開発研究」を開始したので、その中間的成果を報告する。

ロコモ診断ツールの条件

1. 簡便であること

高齢者全員を、運動器を専門とする整形外科医師専門医(15,000人)が診察することは不可能であ

*1 自治医科大学整形外科

*2 福岡クリニック

*3 国立障害者リハビリテーションセンター

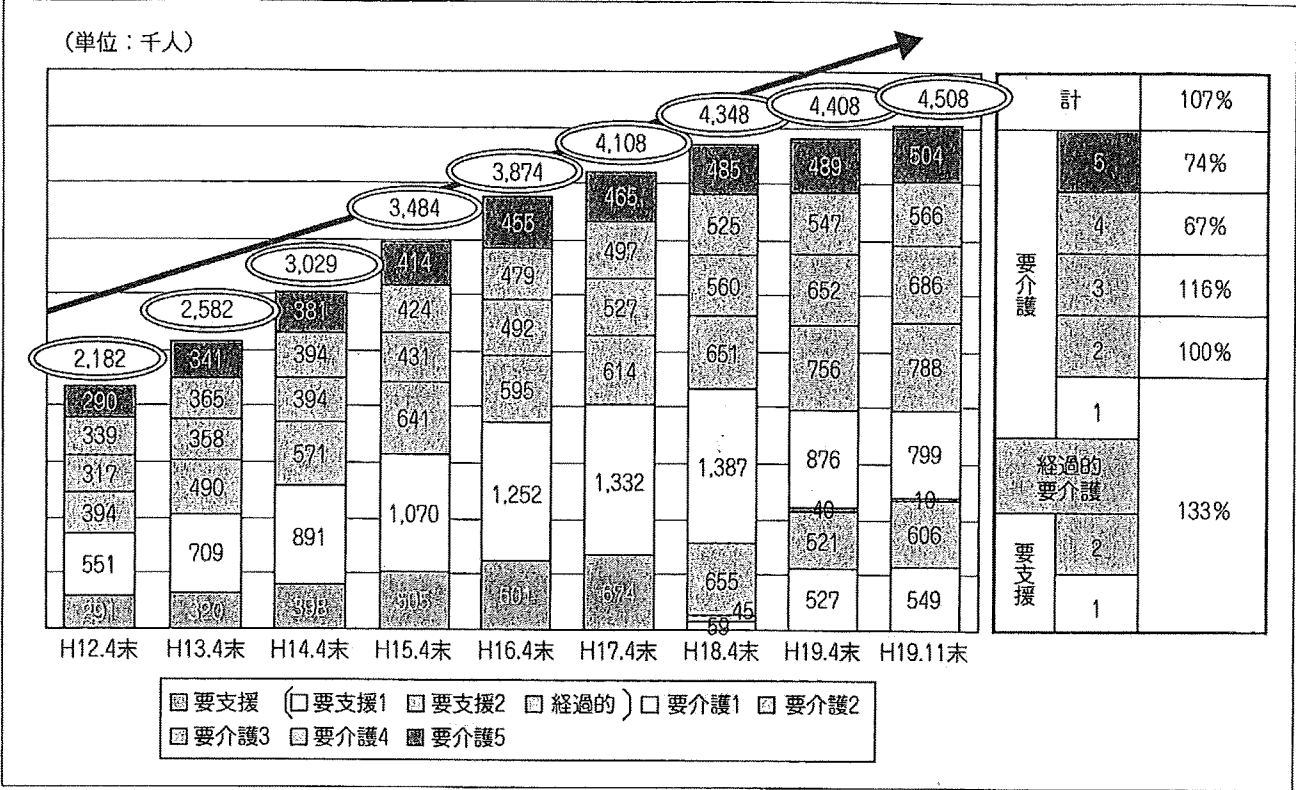


図-1◆介護保険認定者数の推移(出典：介護保険事業状況報告他)
要支援～要介護1の軽症者の増加率が高い。

表-1◆支援・介護が必要となる原因(平成19年度国民生活基礎調査) (%)

	脳血管疾患	認知症	骨折転倒 関節疾患	高齢による 衰弱
要支援	14.9	3.2	32.7	16.6
要介護	27.3	18.7	17.5	12.5
総数	23.3	14.0	21.5	13.6

り、プライマリケア医、あるいは医師以外の行政担当者でも用いることができるように、診断ツールには簡便さが求められる。

2. 診断精度が高いこと

整形外科専門医でなくても確実に運動器障害を診断できる精度が求められる。また、診断ツールには障害程度の変動に対する鋭敏な感度も必要で

表-2◆「健康日本21」中間評価(2007年4月10日厚生科学審議会地域保健健康増進栄養部会)
身体活動・運動は策定時に比べむしろ減少している。
地方推進事業の失敗：元気高齢者しか参集しない。

身体活動・運動 目標項目		策定時 平成12年	実績値 平成17年	目標値 平成22年
日常生活における 歩数の増加	成人男性	8,202歩	7,532歩	9,200歩
	成人女性	7,282歩	6,446歩	8,300歩
	70歳以上男性	5,436歩	5,386歩	6,700歩
	70歳以上女性	4,604歩	3,917歩	5,900歩
運動習慣者の増加	男性	28.6%	30.9%	39%
	女性	24.6%	25.8%	35%

表-3◇「足腰25：運動器疾患と日常生活での困難さについての調査」(足腰指数25©2009自治医大整形外科教室 All rights reserved：複写可，改変禁，学術的な使用，公的な使用以外の無断使用禁)

「お体の状態」と「ふだんの生活」について，手足や背骨のことで困難なことがあるかどうかをおたずねします。この1ヵ月の状態を思い出して以下の質問にお答え下さい。それぞれの質問に，もっとも近い回答を1つ選んで，□に✓をつけて下さい。

この1ヵ月の体の痛みなどについてお聞きします。

1. 頸・肩・腕・手のどこかに痛み(しびれも含む)がありますか。
□痛くない □少し痛い □中程度痛い □かなり痛い □ひどく痛い
 2. 背中・腰・お尻のどこかに痛みがありますか。
□痛くない □少し痛い □中程度痛い □かなり痛い □ひどく痛い
 3. 下肢(脚のつけね，太もも，膝，ふくらはぎ，すね，足首，足)のどこかに痛み(しびれも含む)がありますか。
□痛くない □少し痛い □中程度痛い □かなり痛い □ひどく痛い
 4. ふだんの生活でからだを動かすのはどの程度つらいと感じますか。
□つらくない □少しつらい □中程度つらい □かなりつらい □ひどくつらい
- この1ヵ月のふだんの生活についてお聞きします。
5. ベッドや寝床から起きたり，横になったりするのはどの程度困難ですか。
□困難でない □少し困難 □中程度困難 □かなり困難 □ひどく困難
 6. 腰掛けから立ち上がるのはどの程度困難ですか。
□困難でない □少し困難 □中程度困難 □かなり困難 □ひどく困難
 7. 家の中を歩くのはどの程度困難ですか。
□困難でない □少し困難 □中程度困難 □かなり困難 □ひどく困難
 8. シャツを着たり脱いだりするのどの程度困難ですか。
□困難でない □少し困難 □中程度困難 □かなり困難 □ひどく困難
 9. ズボンやパンツを着たり脱いだりするのどの程度困難ですか。
□困難でない □少し困難 □中程度困難 □かなり困難 □ひどく困難
 10. トイレで用足しをするのどの程度困難ですか。
□困難でない □少し困難 □中程度困難 □かなり困難 □ひどく困難
 11. お風呂で身体を洗うのはどの程度困難ですか。
□困難でない □少し困難 □中程度困難 □かなり困難 □ひどく困難
 12. 階段の昇り降りのはどの程度困難ですか。
□困難でない □少し困難 □中程度困難 □かなり困難 □ひどく困難
 13. 急ぎ足で歩くのはどの程度困難ですか。
□困難でない □少し困難 □中程度困難 □かなり困難 □ひどく困難
 14. 外に出かけるとき，身だしなみを整えるのはどの程度困難ですか。
□困難でない □少し困難 □中程度困難 □かなり困難 □ひどく困難
 15. 休まずにどれくらい歩くことができますか(もっとも近いものを選んで下さい)。
□2-3km以上 □1km程度 □300m程度 □100m程度 □10m程度
 16. 隣・近所に外出するのはどの程度困難ですか。
□困難でない □少し困難 □中程度困難 □かなり困難 □ひどく困難
 17. 2kg程度の買い物(1リットルの牛乳パック2個程度)をして，持ち帰ることがどの程度困難ですか。
□困難でない □少し困難 □中程度困難 □かなり困難 □ひどく困難
 18. 電車やバスを利用して外出するのはどの程度困難ですか。
□困難でない □少し困難 □中程度困難 □かなり困難 □ひどく困難
 19. 家の軽い仕事(食事の準備や後始末，簡単なたづけなど)は，どの程度困難ですか。
□困難でない □少し困難 □中程度困難 □かなり困難 □ひどく困難
 20. 家のやや重い仕事(掃除機の使用，ふとんの上げ下ろしなど)は，どの程度困難ですか。
□困難でない □少し困難 □中程度困難 □かなり困難 □ひどく困難
 21. スポーツや踊り(ジョギング，水泳，ゲートボール，ダンスなど)は，どの程度困難ですか。
□困難でない □少し困難 □中程度困難 □かなり困難 □ひどく困難
 22. 親しい人や友人とのおつき合いを控えていますか。
□控えていない □少し控えている □中程度控えている □かなり控えている □全く控えている
 23. 地域での活動やイベント，行事への参加を控えていますか。
□控えていない □少し控えている □中程度控えている □かなり控えている □全く控えている
 24. 家の中で転ぶのではないかと不安ですか。
□不安はない □少し不安 □中程度不安 □かなり不安 □ひどく不安
 25. 先行き歩けなくなるのではないかと不安ですか。
□不安はない □少し不安 □中程度不安 □かなり不安 □ひどく不安

表-4◆医師が判定する運動器障害重症度(ロコモ度)

1. 無症状・障害なしの者
運動器に関する症状がなく、日常生活にも制限がない者
2. 有症状・歩行移動に支障ない者
運動器に関する愁訴・症状はあるが、歩行・移動に制限がない者
3. 特定高齢者相当の者
運動器に関する症状があり、歩行・移動に支障があるが、日常生活は自立しており、要支援・要介護に該当しない者
4. 要支援相当の者(要支援1、2相当)
日常生活上の基本的 ADL はほぼ自分でできるが、手段的 ADL にはなんらかの支援を要する者
5. 要介護1相当の者
手段的 ADL を行う能力がさらに低下し、部分的な介護が必要な者
6. 要介護2相当の者
基本的 ADL についても部分的な介護が必要な者

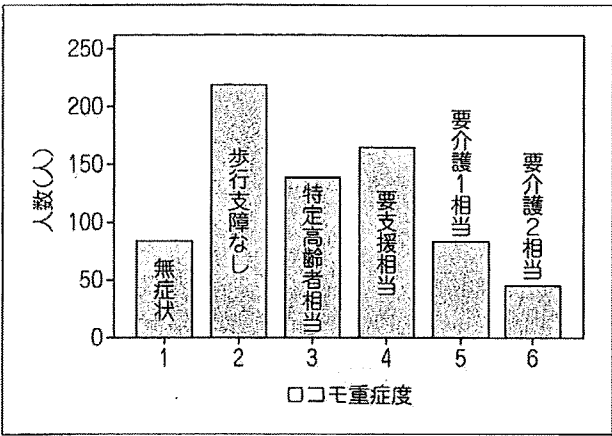


図-2◆調査対象のロコモ重症度
731名(男217名/女514名) 平均77.3歳(65～96歳)。

あり、治療介入の効果判定などにも用いることができるような設定が必要とされる。

診断ツール策定の手順

1. 患者質問票の作成
運動器機能に関するものを中心に過去の質問表を調査し、討議を重ねて患者質問票を作成した。自記式が簡便であり、また内容としては運動機能のみでなく、回答者の日常生活動作の困難さ、さらには健康感にも及ぶ内容も導入した。25問の質

問を設け、0(障害なし)～4(最重症)点の5段階評価とし、総点は0(障害なし)～100点(最重症)となるように策定した。質問票の名称を足腰指数25と称することとした。

2. 多施設調査の実施
- a. 対象
 - ・65歳以上の高齢者800名を目標数とした。
 - ・整形外科外来受診者、整形外科に併設された通所リハビリテーション施設でリハビリを受けている者、健常対照高齢者。
 - ・自記式質問票に記入できるという条件設定により、認知症患者を対象から除外した。
- b. 調査項目
 - ・運動器疾患名
 - ・足腰指数25(表-3)
 - ・運動器障害重症度(表-4)：介護保険などにおける判定基準を参考に、6段階に運動機能(いわばロコモ度)を区分した。行政による介護度認定には認知機能なども反映されてしまうので、本調査では運動器機能の重症度を、担当した整形外科専門医が示す表-3の基準によって判断することとした。
- c. 研究の倫理的側面
 - ・対象者には研究の概要・意義を説明し、文書で研究参加の承諾を得た。

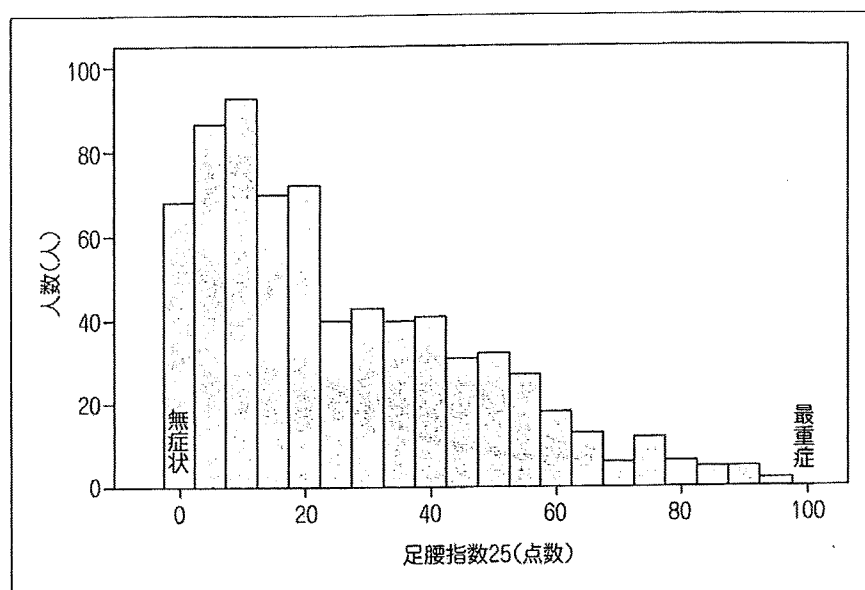


図-3♦対象の足腰指数25点数 (n=731)

- ・プロトコルは日整会の倫理委員会で平成20年10月29日に承認を受けた。

d. 実施期間・場所

- ・平成20年11月～平成21年2月の4ヵ月間に調査を行った。
- ・日本臨床整形外科学会会員施設および自治医大関連施設において調査を行った。

3. 足腰指数25・機能検査法の評価

多施設研究による800例のデータから、足腰指数25(質問票)の妥当性などを検討した。赤池の情報量規準(AIC)を用い、質問項目間の関連の度合いを定量化した。これは横断的調査からリスクファクターを抽出できる方法であり、最適なカットオフ値を求めることができる。信頼性分析はクロンバック α に、再現性分析は折半法、基準関連妥当性の検証にはEuro EQ-5D を対照に用いた。

握力、片脚起立時間とロコモ度との関係を検討した。

調査対象の詳細

781名の調査票が集積されたが、データに欠損のあるものを除いた731名を解析対象とした。その内訳は男217名、女514名、年齢は65～96歳、平均77.3歳であった。

整形外科専門医による診断名(複数回答あり)

は、変形性膝関節症304名、変形性脊椎症253名、骨粗鬆症208名、腰部脊柱管狭窄症121名、健常者82名などであった。

対象のロコモ重症度は図-2のごとくであり、無症状から最重症の要介護2まで、比較的まんべんなく各重症度の対象者が分布していた。

結果

1. 足腰指数25(質問票)の策定

策定した足腰指数25を表-3に示す。

2. 多施設調査結果

足腰指数25の集計結果を図-3に示す。半数以上が20点以下の比較的軽症群であることがわかる。

3. 足腰指数25

a. 信頼性、妥当性

足腰指数25の信頼性分析結果としてのクロンバック α は0.961であり、すべての質問間に強い相関があり、不要な質問がないことが判明した。再現性の分析は折半法により、信頼係数0.899と極めて良好であった。基準関連妥当性の検討ではEuro EQ-5Dの効用値と高い相関(スピアマン順位相関： $p < 0.001$)があった。構成概念妥当性の検証を赤池の情報基準量 AIC²⁾を用いて行い、各項目間で関連度の高いものを線で結んで視覚化したものを図-4に示す。この結果から、痛み、屋内

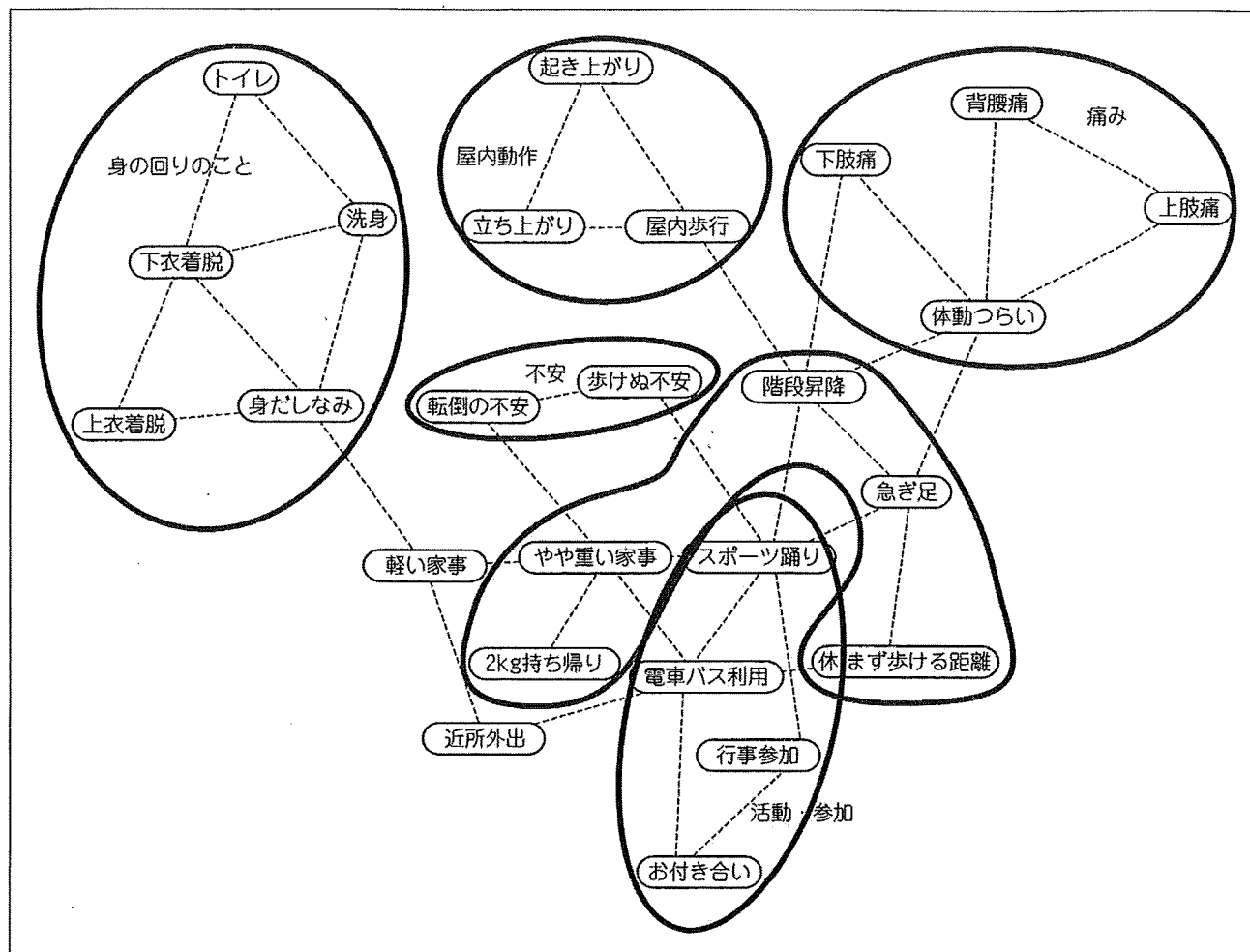


図-4♦AIC による構成概念妥当性の検証結果 (visual 化)
5つの項目の重要性.

動作、身の回りのこと、不安、活動・参加と名づけられる5つのドメインが浮かび上がった。また、25項目の中でも中心的な5つの項目が存在することが判明し、図-4では馬蹄形(ピンク)で囲んだ。足腰指数25の設問数が多過ぎると考えられる場合には、この5問(いわば「足腰指数5」)を簡略型として用いることもできる可能性がある。

b. カットオフ値の設定

足腰指数25の総得点の多寡から特定高齢者相当をピックアップするカットオフ値を求めることが、ロコモの早期診断ツールとして必要であり、図-5に示すように最適モデルはカットオフ値16点の場合、という結論に到達した。つまり、整形外科専門医の判断する特定高齢者相当の者(運動機能障害により歩行移動に障害があるが自立している)を、プライマリケア医あるいは行政担当者で

も自記式質問票のみで抽出することができる、ということなのである。ちなみに簡略型の足腰指数5では0(無症状)~20(最重症)点であるが、足腰指数25の場合と同様の操作により求めたカットオフ値は6点であった。今後、この足腰指数5の妥当性もさらに検討する予定である。

考 察

整形外科専門医が「運動機能障害により歩行移動に障害があるが自立している」と判定した者を、「運動器障害により要介護となるリスクの高い者：すなわちロコモ」と仮定した場合、足腰指数25による調査で16点以上を示す者がロコモに該当すると判定できることになる。この足腰指数25を用いることにより、運動器疾患を専門としない

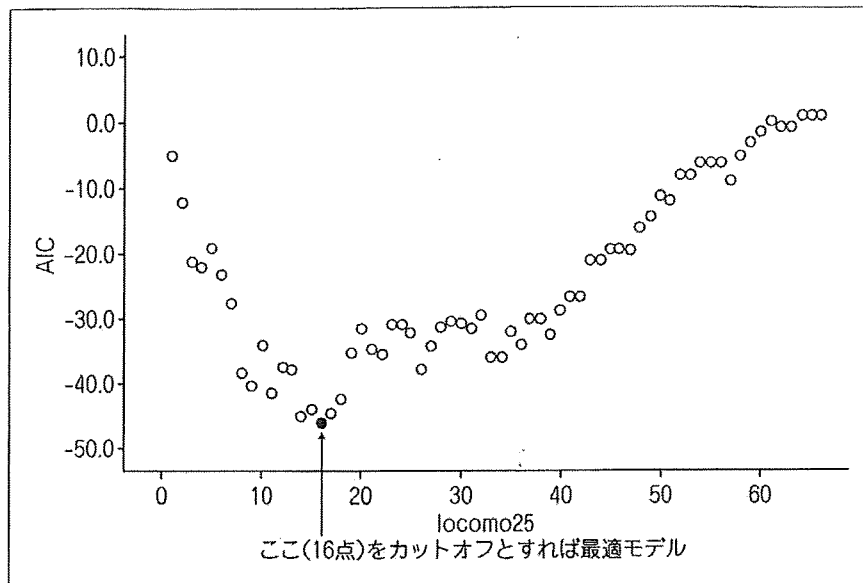


図-5 ◆軽症者(429例：無症状，歩行支障なし，特定高齢者相当)における特定高齢者相当ピックアップのカットオフ値
AIC が小さいほどモデルのあてはまりがよい。

者，例えば家庭医，さらには医師以外の行政担当者などでも，ロコモを早期に高い精度で発見できる可能性が示されたのである。つまり，65歳以上の高齢者全員を足腰指数25を用いて効率よく調査し，3,000万人の中から数百万人と思われるロコモ該当者をピックアップし，この人たちにはさらに詳細な検討を加え，適切な介入，例えば健康増進スポーツや運動器リハビリテーションなどを指導し，寝たきり高齢者を作らないようにする施策が可能なのではないかと考えている。

日整会は種々の報告を元にして，ロコチェック2009という簡便な自己チェックツールをすでに公表している³⁾。これは5項目ある中で1つでも該当するとロコモの疑いが濃いと知らせる内容であり，国民に自分の運動機能の低下に気づいて欲しいという，いわば啓発のためのツールである。5項目の問い方は該当するか否かの二者択一であり，また複数該当が重症というものではない。つまり，このロコチェックは足腰指数25とは性格が異なり，ロコモに気づかせるためのものであり，その重症度の判定に用いることは想定していないのである。

一方，足腰指数25は0(無症状)～100(最重症)点であり，重症度を定量的に数値として表すこと

ができるのみでなく，運動機能のわずかな変化を検出できる感度を有しており，これにより介入研究の効果を判定するツールとしても使用できると考えている。ただし，その感度などの検証は今後の研究課題である。

まとめ

1. ロコモの早期診断ツールとして，足腰指数25(0(無症状)～100(最重症)点)を策定した。
2. 全国多施設における731名の足腰指数25結果から，ロコモ診断のカットオフ値は16点が妥当という結論を得た。つまり，足腰指数25において16点以上の症状を有する者は，歩行・移動になんらかの支障がある者と判定することができる。
3. この診断ツールは，日整会がすでに公表している啓発のためのロコチェックとは性格が異なり，ロコモの重症度を定量的に評価するものである。

研究協力者：伊藤博元(日本医科大学整形外科)，藤野圭司(藤野整形外科医院)，北 潔(北整形外科)，高杉紳一郎(九州大学医学部リハビリテーション部)，林 邦彦(群馬大学保健学科医療基礎学)，川口 浩(東

京大学整形外科), 芳賀信彦(東京大学リハビリテーション科), 中村耕三(東京大学整形外科)

文 献

1) Nakamura, K. : A "Super-aged" society and the

"Locomotive syndrome" JOS 13 : 1-2, 2008.

2) 赤池弘次ら : 赤池情報量規準 AICーモデリング・予測・知識発見. 共立出版, 2007.

3) 日本整形外科学会ホームページ <http://www.joa.or.jp/jp/index.html>

5. 高齢者運動器障害のリスクと 早期発見ツールの開発

Development of a screening tool for risk of locomotive syndrome in the elderly

星地亜都司・星野 雄一・岩谷 力・赤居 正美・飛松 好子・土肥 徳秀

Atsushi Seichi(准教授), Yuichi Hoshino(教授)/自治医科大学整形外科

Tsutomu Iwaya(総長), Masami Akai(病院長), Yoshiko Tobimatsu(診療部長)/国立障害者リハビリテーションセンター

Tokuhide Doi/福岡クリニック

key words

高齢社会

(super-aged society)

スクリーニングツール

(screening tool)

ロコモティブシンドローム

(locomotive syndrome)

「運動器機能不全の早期発見, 診断ツールの開発」研究班によるコンセンサス会議により, 危険因子を有する運動器機能不全高齢者をスクリーニングする簡便な早期診断ツール(質問票)試案の検討を重ね, 25項目の質問票を策定した(仮称: 足腰指数25). 足腰指数25は0点から100点(最重症)の得点範囲からなる. 信頼性, 妥当性の検証を行い, 16点以上でロコモティブシンドロームと判定することが妥当であるとの結論を得た.

はじめに

本特集号においてロコモティブシンドローム提唱の意義については別稿で記載されている. 日本整形外科学会, 日本運動器リハビリテーション学会, 日本臨床整形外科学会は2006年4月に「運動器不安定症」の概念を定めた. 3学会は, 「高齢化により, バランス能力および移動歩行能力の低下が生じ, 閉じこもり, 転倒リスクが高まった状態」をもって運動器不安定症と定義している. 運動機能低下をきたす疾患の主な原因疾患は, 骨粗鬆症, 変形性関節症, 変形性脊椎症, 下肢骨折などであり, これらに伴う廃用性の運動機能低下が重症化の要因となる. 運動器不安定症の高齢者は, 転倒への恐怖, 移

動能力の低下により家庭内に引きこもりがちとなり, ますます歩行能力が低下するという悪循環に陥る. 運動器不安定症患者の増加は, 介護面からみると要支援・要介護者の増加へとつながる. それは個々人の健康寿命を損ない, さらには医療費のひっ迫をも招くために, 運動器不安定症予防の重要性が認識されるようになってきた. 運動器疾患患者の疾患管理・障害発生予防・機能回復・機能代償を含んだ総合的治療戦略を確立することが, 介護予防対策を進める上からも求められるようになった. 運動器不安定症となつて要支援・要介護状態になる前に, あらかじめその予備群(ハイリスク群)を軽症のうちに検出して介入を加えることにより, 要支援要介護者の増加を抑えよう

という戦略である.

日本整形外科学会(中村耕三理事長)は, 2008年に「運動器の障害によって要介護になるリスクの高い状態」をロコモティブシンドロームと称することを提唱した¹⁾²⁾. すでに要介護状態になった運動器不安定症患者は重度のロコモティブシンドローム(ロコモ)ということになるが, どちらかというと運動器不安定症に至っていない軽症群, 予備群を意識した概念といえる.

介護予防の成果を上げるためには, ハイリスクアプローチのみならずポピュレーションアプローチが必要といわれており, 介護リスクが高い者とともに, あまりリスクは高くないが境界域のリスクをもつ者を効率よく抽出し, 確実に保健指導, 予防医療に結びつけ

5. 高齢者運動器障害のリスクと早期発見ツールの開発

ることも重要である。以上のような背景のもと、厚生労働省は長寿科学総合研究事業の一環として「運動器機能不全の早期発見、診断ツールの開発」研究班(主任研究者：自治医科大学 星野雄一)の立ち上げを2008年春に認定した。

研究班の目的

本研究班の目的は、ロコモティブシンドロームが原因で要介護になる高齢者を早期発見する簡便な診断ツールを開発することである。具体的には、科学的な根拠のあるツールを作成することにより保健所レベルでの早期発見を可能とするものを策定することであり、これによって医療機関受診を薦めるべき対象を選別するのである。ハイリスク群と一見健常に見える者とを対象とした調査を通じて要介護リスクを抽出し、ロコモティブシンドロームの簡便な診断法(診断ツール)を作成し、次の段階としてのポピュレーションアプローチ(保健指導、治療)に結びつけることを意図している。なお、日本整形外科学会はロコチェックという5~7つの質問項目をすでに発表しているが、

学術的な手順を踏んで作成されたチェック項目ではなく、あくまで広報用のものといえる。

方法1. 質問票の策定

先述の研究班によるコンセンサス会議により、危険因子を有する運動器機能不全高齢者をスクリーニングする簡便な早期診断ツール(質問票)の試案の検討を重ね、内容的妥当性の検証とした。1つの質問において複数の内容を問いかけないこと、反応性が鈍くならないよう選択肢は5つとすること、疼痛、日常動作、移動能力、ADL(日常生活動作)、社会的活動、転倒に対する不安、など運動機能に関連する可能性の高い項目をすべてカバーできるものであることに策定の主眼を置いた(表1)。一方で質問数が多すぎることが高齢者を対象とする場合に問題となるため、30問を超えないよう絞りこみを行うことも念頭においた。

結果1. 質問票試案

上記のように検討を重ね、我々は25問の質問票試案を完成させた(表2：仮称 足腰指数25)。

方法2. 多施設調査

日本臨床整形外科学会と自治医科大学関連の整形外科診療施設および併設された介護施設において、約800名を目標対象数として、足腰指数25による調査を行うこととした。なお今回の医師調査票として、視力、聴力、その他の基本情報、診断結果のほか、調査対象群分けの外的基準として、介護度、支援度を医師が評価し記入することとした(表3、4)。この分類は2008年の時点で介護保険認定に使用されている評価法に基づき作成した。実際に介護認定を受けているかどうかではなく、日本整形外科学会専門医による判定を“真実に近い実態”つまり重症度判定のゴールドスタンダードとみなすこととした。

基準関連妥当性検証のため、よく知られたQOL(quality of life)尺度であるEURO-QOL(EQ-5D)を同時調査することとした³⁾。

完成した質問票試案を日本臨床整形外科学会会員の診療機関46施設および自治医科大学関連病院11施設に発送することとした。調査の目標症例数約800名は、下肢や体幹の運動機能障害度が

表1 質問票がカバーする項目

疼痛	動作	歩行	ADL	社会性	不安
上肢痛			上着着脱	身だしなみ	
体幹痛	起き上がる		下着着脱	近所外出	近いつきあい
下肢痛	立ち上がる		洗身	買い物外出	イベント参加
運動痛	歩く	階段		バス外出	
		急ぎ足		軽い仕事	転ぶ不安
		休まずに歩く		やや重い仕事	歩けなくなる不安
				スポーツ	

表2 足腰指数25 質問用紙

「運動器疾患と日常生活での困難さについての調査」

「お体の状態」と「ふだんの生活」について、手足や背骨のことで困難なことがあるかどうかをおたずねします。この1ヵ月の状態を思い出して以下の質問にお答え下さい。それぞれの質問に、もっとも近い回答を1つ選んで、☐に/をつけて下さい。

この1ヵ月のからだの痛みなどについてお聞きます。

1. 頸・肩・腕・手のどこかに痛み（しびれも含む）がありますか。
☐ 痛くない ☐ 少し痛い ☐ 中程度痛い ☐ かなり痛い ☐ ひどく痛い
2. 背中・腰・お尻のどこかに痛みがありますか。
☐ 痛くない ☐ 少し痛い ☐ 中程度痛い ☐ かなり痛い ☐ ひどく痛い
3. 下肢（脚のつけね、太もも、膝、ふくらはぎ、すね、足首、足）のどこかに痛み（しびれも含む）がありますか。
☐ 痛くない ☐ 少し痛い ☐ 中程度痛い ☐ かなり痛い ☐ ひどく痛い
4. ふだんの生活でからだを動かすのはどの程度つらいと感じますか。
☐ つらくない ☐ 少しつらい ☐ 中程度つらい ☐ かなりつらい ☐ ひどくつらい

この1ヵ月のふだんの生活についてお聞きます。

5. ベッドや寝床から起きたり、横になったりするのはどの程度困難ですか。
☐ 困難でない ☐ 少し困難 ☐ 中程度困難 ☐ かなり困難 ☐ ひどく困難
6. 腰掛けから立ち上がるのはどの程度困難ですか。
☐ 困難でない ☐ 少し困難 ☐ 中程度困難 ☐ かなり困難 ☐ ひどく困難
7. 家の中を歩くのはどの程度困難ですか。
☐ 困難でない ☐ 少し困難 ☐ 中程度困難 ☐ かなり困難 ☐ ひどく困難
8. シャツを着たり脱いだりするのはどの程度困難ですか。
☐ 困難でない ☐ 少し困難 ☐ 中程度困難 ☐ かなり困難 ☐ ひどく困難
9. ズボンやパンツを着たり脱いだりするのはどの程度困難ですか。
☐ 困難でない ☐ 少し困難 ☐ 中程度困難 ☐ かなり困難 ☐ ひどく困難
10. トイレで用足しをするのはどの程度困難ですか。
☐ 困難でない ☐ 少し困難 ☐ 中程度困難 ☐ かなり困難 ☐ ひどく困難
11. お風呂で身体を洗うのはどの程度困難ですか。
☐ 困難でない ☐ 少し困難 ☐ 中程度困難 ☐ かなり困難 ☐ ひどく困難
12. 階段の昇り降りはどの程度困難ですか。
☐ 困難でない ☐ 少し困難 ☐ 中程度困難 ☐ かなり困難 ☐ ひどく困難
13. 急ぎ足で歩くのはどの程度困難ですか。
☐ 困難でない ☐ 少し困難 ☐ 中程度困難 ☐ かなり困難 ☐ ひどく困難
14. 外に出かけるとき、身だしなみを整えるのはどの程度困難ですか。
☐ 困難でない ☐ 少し困難 ☐ 中程度困難 ☐ かなり困難 ☐ ひどく困難
15. 休まずにどれくらい歩き続けることができますか（もっとも近いものを選んで下さい）。
☐ 2～3km 以上 ☐ 1km 程度 ☐ 300m 程度 ☐ 100m 程度 ☐ 10m 程度

5. 高齢者運動器障害のリスクと早期発見ツールの開発

16. 隣・近所に外出するのはどの程度困難ですか。
☐ 困難でない ☐ 少し困難 ☐ 中程度困難 ☐ かなり困難 ☐ ひどく困難
17. 2 kg 程度の買い物（1 リットルの牛乳パック2個程度）をして持ち帰ることはどの程度困難ですか。
☐ 困難でない ☐ 少し困難 ☐ 中程度困難 ☐ かなり困難 ☐ ひどく困難
18. 電車やバスを利用して外出するのはどの程度困難ですか。
☐ 困難でない ☐ 少し困難 ☐ 中程度困難 ☐ かなり困難 ☐ ひどく困難
19. 家の軽い仕事（食事の準備や後始末、簡単なかたづけなど）は、どの程度困難ですか。
☐ 困難でない ☐ 少し困難 ☐ 中程度困難 ☐ かなり困難 ☐ ひどく困難
20. 家のやや重い仕事（掃除機の使用、ふとんの上げ下ろしなど）は、どの程度困難ですか。
☐ 困難でない ☐ 少し困難 ☐ 中程度困難 ☐ かなり困難 ☐ ひどく困難
21. スポーツや踊り（ジョギング、水泳、ゲートボール、ダンスなど）は、どの程度困難ですか。
☐ 困難でない ☐ 少し困難 ☐ 中程度困難 ☐ かなり困難 ☐ ひどく困難
22. 親しい人や友人とおつき合いを控えていますか。
☐ 控えていない ☐ 少し控えている ☐ 中程度控えている ☐ かなり控えている
☐ 全く控えている
23. 地域での活動やイベント、行事への参加を控えていますか。
☐ 控えていない ☐ 少し控えている ☐ 中程度控えている ☐ かなり控えている
☐ 全く控えている
24. 家の中で転ぶのではないかと不安ですか。
☐ 不安はない ☐ 少し不安 ☐ 中程度不安 ☐ かなり不安 ☐ ひどく不安
25. 先行き歩けなくなるのではないかと不安ですか。
☐ 不安はない ☐ 少し不安 ☐ 中程度不安 ☐ かなり不安 ☐ ひどく不安
- (足腰指数25 ©2009 自治医大整形外科教室 All rights reserved : 複写 可, 改変 禁, 学術的な使用, 公的な使用以外の無断使用 禁)

さまざまな程度の階層から構成されることとした。

対象

65歳以上を対象とするが、運動器に特化したツール作成を念頭に置くこととしたので、認知症や重篤な脳疾患などを除外することとし、視力、聴力障害や痴呆のために質問票に回答困難な者も除外対象とした。ロコモティブシンドロームを念頭に置いたものであるため介護度3以上の者、自力で立ち上

がることのできない者も除外した。同意日6ヵ月以内に下肢または脊椎骨折を起こした者、急性外傷治療中の者も状態が安定していないため除外した。

データ解析

多施設調査の結果から、足腰指数25の信頼性、妥当性を計量心理学的手法にて検証した。専門医が判定する介護度(表3)を基準として、足腰指数25でロコモティブシンドロームと判定するためのカットオフ値を算出することと

した。統計解析には SPSS ver.17, R2.8を用いた。構成概念妥当性の検証には、赤池情報量規準 (Akaike information criterion : AIC)を用いた。従来、構成概念妥当性の検証には因子分析が、カットオフ値の決定には ROC (receiver-operating-characteristic curve) 分析が慣習的に用いられてきたが、AIC はこれらを凌駕する優れた方法である。AIC は質問項目間の関連の度合いを定量化する方法であり、最適な

表3 医師によるロコモティブシンドローム重症度判定

1. 無症状
2. 整形外科的愁訴を有するが歩行・移動に支障のないもの
3. 特定高齢者相当
4. 要支援相当
5. 要介護1相当
6. 要介護2相当

表4 各階層の定義

1	無症状・障害なし	運動器に関する症状がなく、日常生活にも制限がない者
2	有症状・歩行移動に支障ない者	運動器に関する愁訴・症状はあるが、歩行・移動に制限がない者
3	特定高齢者相当者	運動器に関する症状があつて、歩行・移動に支障があるが、日常生活は自立しており、要支援・要介護に該当しない者
4	要支援相当者	日常生活上の基本的動作については、ほぼ自分で行うことが可能であるが、日常生活動作の介助や現在の状態の防止により要介護状態となることの予防に資するよう手段的日常生活動作について何らかの支援を要する状態
5	要介護(1,2)相当者	日常生活上の基本的動作についても、自分で行うことが困難であり、何らかの介護を要する状態

要介護1, 2

5-1. 要介護1	要支援状態から、手段的日常生活動作を行う能力がさらに低下して、部分的な介護が必要となる状態
5-2. 要介護2	要介護1の状態に加え、日常生活動作についても部分的な介護が必要となる状態

注：日常生活上の基本的動作：食事、排泄、起き上がり、歩行、階段の昇降、入浴などの動作
手段的日常生活動作：薬の内服、電話の利用、炊事、部屋の片付け、日用品の買い物、金銭管理など

モデル選択や複雑な事象の予測に使用される¹⁾、整形外科領域でもアウトカム測定法の開発に寄与しており²⁾、縦断的調査が困難な状況において横断的調査から危険因子を抽出することにも使用できる。

結果2. 足腰指数25の信頼性、妥当性

回収できた症例数は781名であった。そのうちデータに欠損のあるものを除外した731名を解析の対象とした。専門医による診断名(複数回答あり)は、変形性膝関節症304名、変形性脊椎症

253名、骨粗鬆症208名、腰部脊柱管狭窄症121名、健常者82名などとなっていた。医師判定による重症度は、無症状82名、整形外科的愁訴を有するが歩行・移動に支障のないもの219名、特定高齢者相当138名、要支援相当165名、要介護1相当83名、要介護2相当45名という内訳であった。足腰指数25の各質問に対する回答には、どれも大きな偏り(天井―床効果)はなかった。信頼性分析ではクロンバック α 係数0.961とすべての質問間に強い相関があり、不要な質問がないことが判明した。折半法による再現性分析では信頼係数0.899ときわめて良好であった。基準関連妥当性の検討において、EQ-5Dの効用値と強い相関があった(スピアマンの順位相関係数： $P < 0.001$)。

構成概念妥当性

各質問についてAICの値が小さい、すなわち関連度が高い2つを選び、Graph-Layout (Sun Microsystem I, Graph java 1.9, 1999)により質問項目間の関連を視覚化したものを図に示す³⁾。この結果から、痛み、屋内動作、身の回りのこと、不安、活動・参加と名付けるべき5つのドメインが浮かびあがり、さらにいずれのドメインとも関連の深い5項目(質問12：階段昇降、質問13：急ぎ足、質問15：休まず歩ける距離、質問17：2kg 買い物持ち帰り、質問20：やや重い家事)が全体の中心的役割をもっていることがわかった。25の質問数をさらに絞りたい場合にはこの5問、もしくは質問16：近所外出

5. 高齢者運動器障害のリスクと早期発見ツールの開発

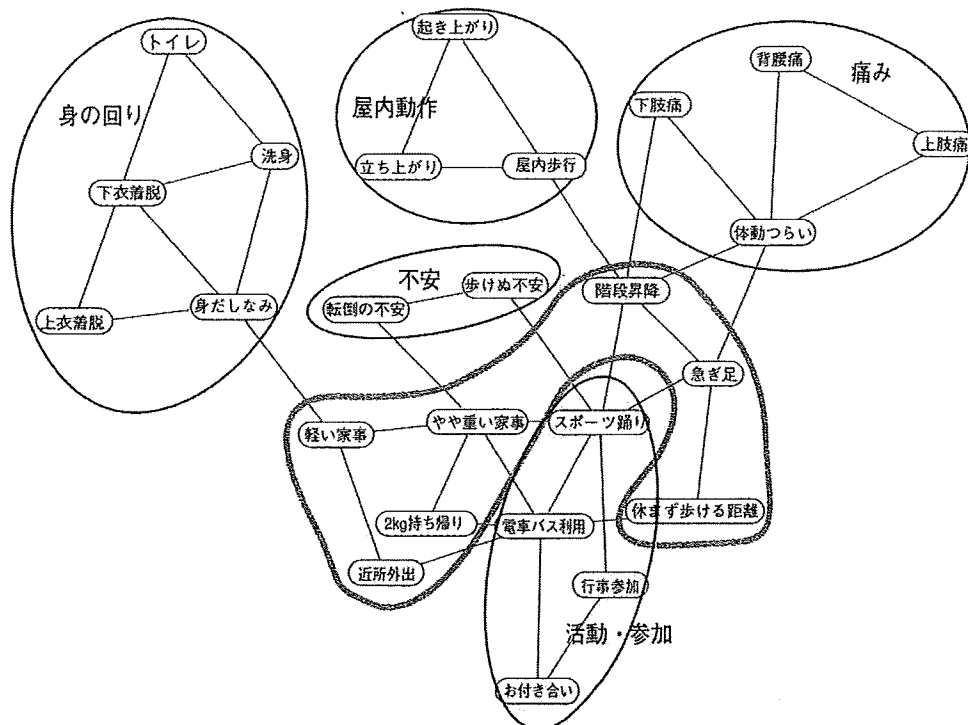


図 赤池情報量規準により構成概念妥当性検証結果を視覚化した図

項目名に対応する質問番号は以下の通りである。

質問1：上肢痛，質問2：背腰痛，質問3：下肢痛，質問4：体動つらい，
質問5：起き上がり，質問6：立ち上がり，質問7：屋内歩行，質問8：上衣着脱，質問9：下衣着脱，質問10：ト
イレ，質問11：洗身，質問12：階段昇降，質問13：急ぎ足，質問14：身だしなみ，質問15：休まず歩ける距離，
質問16：近所外出，質問17：2kg 買い物持ち帰り，質問18：電車バス利用，質問19：軽い家事，質問20：やや
重い家事，質問21：スポーツ踊り，質問22：お付き合い，質問23：行事参加，質問24：転倒の不安，質問25：
歩けぬ不安

と質問19：軽い家事を加えた7問を
もって簡易版とすることができる。

カットオフ値の設定

各質問には同じような選択肢が5つ
あり，あえて得点の重み付けを行う必
要性はなく単純加算尺度構成法を用い
た。各質問に正常0点から最重症4点を
割り振り最重症100点満点のスコアと

した。要支援以上の重症群を除いた軽
症者429名において足腰指数25特定高
齢者への移行リスクのカットオフ値を，
AIC による最適区分法で求めた結果，
16点以上でロコモティブシンドローム
と判定することが最適モデルであるこ
とを明確に算出できた。

今後の展望

再現性および反応性の検証など，つ
めるべき部分が残ってはいるものの，
足腰指数25がロコモティブシンドローム
早期発見ツールとして有望な方法で
あることを科学的に分析できた。この
ツールの反応性については，前向きコ
ホートに組み入れて5年後，10年後の
結果を待たざるを得ないが，急速な高

齢化が進むわが国の現状を鑑みるとこの結果を待ってから政府が動くのでは遅すぎる。一方、このようなツールが健康診査に採用された場合、受診者が結果を生かせなければ健診としての意義がない。転倒予防を目的とした運動療法が提示されてきてはいるが⁸⁾、高齢者にとって長続きする手段を開発することは容易ではない。ロコモティブシンドローム対策としても効果的なものを提供することが医療サイドにとって急務である。そうでなければ運動器健診に膨大な資金をかけることへの説得力が乏しいものとなる。

付 記

本研究成果は、厚生労働科学研究費補助金 長寿科学総合研究事業「運動器機能不全の早期発見、診断ツールの開発」の助成による。同研究班(主任

研究者：星野雄一)の研究組織は、分担研究者：赤居正美、伊藤博元、川口浩、北 潔、星地亜都司、高杉紳一郎、飛松好子、芳賀信彦、林 邦彦、藤野圭司、アドバイザー：岩谷 力、中村耕三、研究協力者：土肥徳秀から構成されている。

文 献

- 1) Nakamura K : A "super-aged" society and the "locomotive syndrome". J Orthop Sci 13 : 1-2, 2008
- 2) Nakamura K : Locomotive syndrome ; disability-free life expectancy and locomotive organ health in a "super-aged" society. J Orthop Sci 14 : 1-2, 2009
- 3) 池田俊也, 池上直己 : 選好に基づく尺度(EQ-5D)を中心に、臨床医のためのQOL 評価ハンドブック。東京、医学書院, 45-49, 2001
- 4) 赤池弘次, 甘利俊一, 北川源四郎, 他 : 赤池情報量規準 AIC—モデリン

グ・予測・知識発見。東京、共立出版, 2007

- 5) Akai M, Doi T : Methodological topics to develop a new outcome measure. in Psychological tests and testing research trends, ed by Goldfarb MP. NY, Nova Science Publishers, 265-281, 2007
- 6) Shirado O, Doi T, Akai M, et al : An outcome measure for Japanese people with chronic low back pain ; an introduction and validation study of Japan Low Back Pain Evaluation Questionnaire. Spine 32 : 3052-3059, 2007
- 7) Akai M, Doi T, Fujino K, et al : An outcome measure for Japanese people with knee osteoarthritis. J Rheumatol 32 : 1524-1532, 2005
- 8) Kita K, Fujino K, Nasu T, et al : A simple protocol for preventing falls and fractures in elderly individuals with musculoskeletal disease. Osteoporos Int 18 : 611-619, 2007

星地亜都司(Atsushi Seichi)

1984年 東京大学卒業
同大学整形外科入局
1991年 東京大学整形外科助手
1993年 東京都立駒込病院整形外科
1997年 国立障害者リハビリテーションセンター整形外科
医長
1999年 東京大学整形外科講師
2008年 自治医科大学整形外科准教授





Biomechanical characteristics of the knee joint in female athletes during tasks associated with anterior cruciate ligament injury

Yasuharu Nagano ^{a,*}, Hirofumi Ida ^b, Masami Akai ^c, Toru Fukubayashi ^d

^a Waseda University Graduate School of Sports Sciences, Saitama, Japan

^b Kanagawa Institute of Technology, Kanagawa, Japan

^c National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities, Saitama, Japan

^d Waseda University Faculty of Sports Sciences, Saitama, Japan

ARTICLE INFO

Article history:

Received 22 May 2008

Received in revised form 20 October 2008

Accepted 26 October 2008

Keywords:

ACL injury

Risk factor

Knee kinematics

Injury mechanism

Prevention

ABSTRACT

This study was designed to compare biomechanical characteristics of the knee joint for several athletic tasks to elucidate their effects and to examine what tasks pose a risk for ACL injury.

Three athletic tasks were performed by 24 female athletes: single-limb landing, plant and cutting, and both-limb jump landing. Angular displacements of flexion/extension, abduction/adduction, and external/internal tibial rotation were calculated. Angular excursion and the rate of excursion of abduction and internal tibial rotation were also calculated.

During plant and cutting, from foot contact, subjects rotated the tibia more rapidly and to a greater degree toward internal tibial rotation. Moreover, excursion of knee abduction is greater than that during single-limb landing. During both-limb jump landing, the knee flexion at foot contact was greater than for either single-limb landing or plant and cutting; peak knee abduction was greater than for either single-limb landing or plant and cutting.

In plant and cutting, the risk of ACL injury is increased by greater excursion and more rapid knee abduction than that which occurs in single-limb landing, in addition to greater internal tibial rotation. Although single-limb tasks apparently pose a greater risk for ACL injury than bilateral landings, both-limb landing with greater knee abduction might also risk ACL injury.

© 2008 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Anterior cruciate ligament (ACL) injury is a serious injury in sports activities. After ACL injury, most athletes must undergo ligament reconstruction and continue rehabilitation for 6 months to a year before returning to sports activities [1]. The rate of ACL injury is reportedly much higher for female athletes than for males [2,3]. Additionally, almost 70% of situations causing ACL injury are noncontact situations: landing from a jump, stopping after fast running, and cutting to a different direction [2,4].

Understanding the mechanisms of ACL injury is important for its prevention. Olsen et al. [5] described ACL injury mechanisms from viewing videotapes of ACL injuries. They concluded that the main injury mechanism for ACL injuries is a forceful valgus collapse with the knee close to full extension, combined with external or internal rotation of the tibia. However, ACL injuries occur rapidly during games and practice sessions. In most cases, it is difficult to determine the mechanisms of ACL injury from videotapes or pictures recording the

injury situation because of the image quality. Therefore, many researchers have examined injury mechanisms from motion capture images taken in laboratory conditions.

Numerous studies using motion capture systems have examined the mechanism and risk factors of ACL injury during athletic tasks according to gender differences. As described previously, female athletes are more prone to sustaining ACL injury than male athletes. Therefore, female characteristic kinematics and kinetics are thought to be risk factors related to ACL injury mechanisms. Earlier studies have shown that female athletes demonstrate larger knee valgus than male athletes during landing or many other athletic tasks [6–12]. Hewett et al. [13] measured kinematics and joint loads using kinetics during a jump-landing task prospectively; results showed that female athletes with increased dynamic valgus and high abduction loads are at increased risk of anterior cruciate ligament injury. Therefore, knee valgus has been recognized as a risk factor and one mechanism of ACL injury. Tibial rotation during athletic tasks has been examined recently; we examined gender differences of tibial rotation during single-limb drop landing and estimated that the risk factor and mechanism of ACL injury would be greater for tibial internal rotation combined with knee valgus [14].

Another approach to examination of the mechanism of ACL injury using motion capture systems is analysis of biomechanical characteristics during tasks that pose a high injury risk for ACL injury. In fact, ACL

* Corresponding author. Yasuharu Nagano, Waseda University Graduate School of Sports Sciences, Sports Orthopedic Lab Mikajima 2-579-15, Tokorozawa, Saitama 359-1192, Japan. Tel.: +81 4 2947 7031; fax: +81 4 2947 6879.

E-mail address: ynama@f2.dion.ne.jp (Y. Nagano).

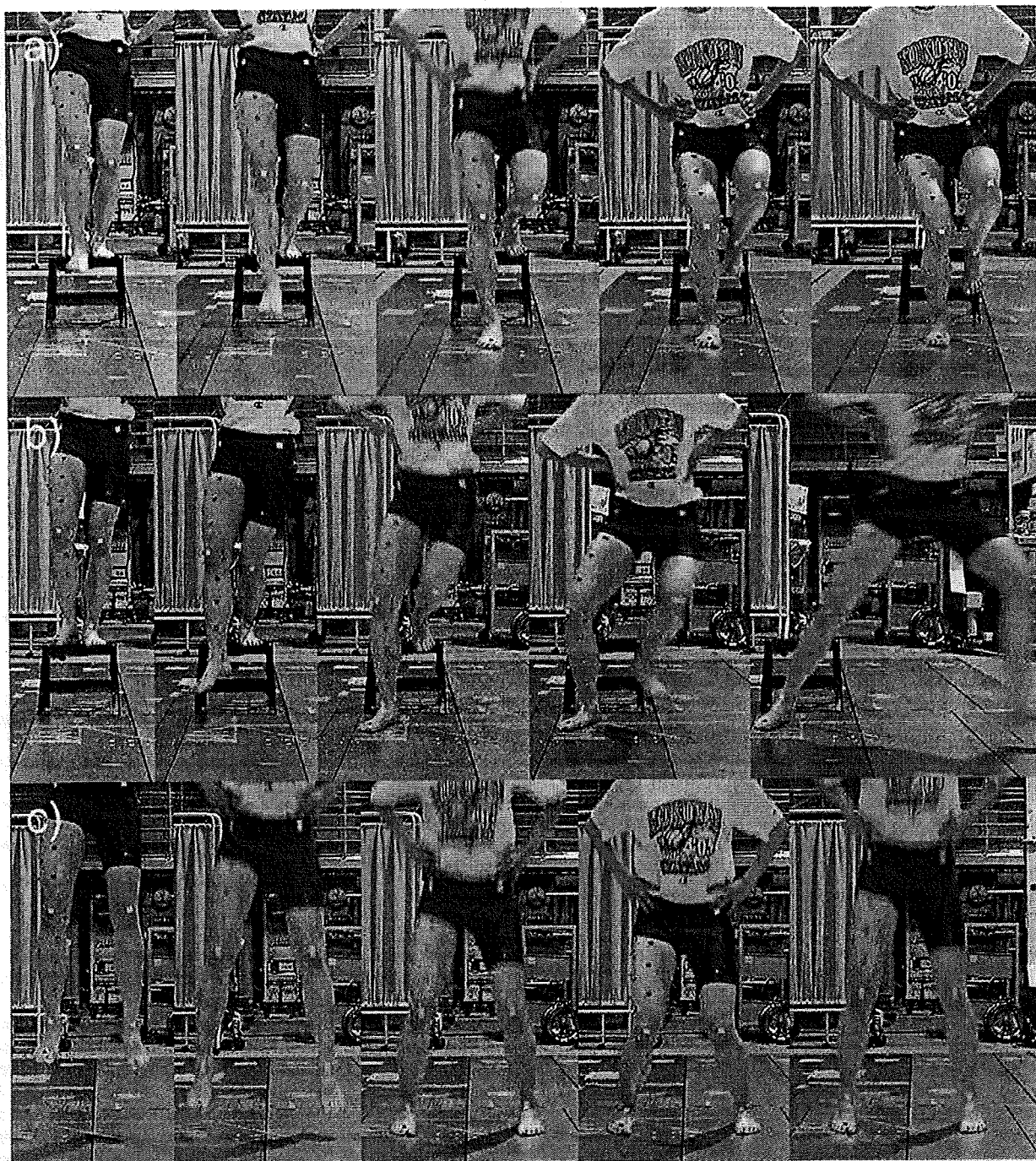


Fig. 1. Sequential photographs of experimental tasks: Single-limb landing (a), plant and cutting (b), and both-limb jump landing.

injuries often occur in plant and cutting movements while leaning on one leg and forcing a knee valgus [4,5]. Sell et al. [15] examined the effects of direction during a two-legged stop-jump task and concluded that lateral jumps are the most risky manoeuvres for ACL injury. Pappas et al. [16] compared bilateral and unilateral landings and found that, in unilateral landings, subjects performed high-risk kinematics with increased knee valgus, decreased knee flexion, and decreased relative hip adduction. However, they only analyzed knee valgus at initial contact during landings and did not examine the plant and cutting manoeuvre, which is thought to pose greater risk for ACL injuries. The characteristics of plant and cutting and several athletic tasks have never been well established.

This study was intended to compare biomechanical characteristics of the knee joint between plant and cutting tasks and normal single-limb landing, and to compare characteristics between both-limb jump landing and single-limb tasks. Comparison of kinematics among tasks can elucidate the characteristics of these tasks, and enable examination of what tasks pose a risk for ACL injury. Understanding risky tasks and movements can help prevent ACL injury because team trainers and coaches might thereby be better able to instruct their athletes to avoid such movements. Our hypotheses were two. During a plant and cutting manoeuvre, subjects demonstrate riskier kinematics for ACL injury than during normal single-limb landing because of greater knee valgus and greater internal tibial rotation. In addition, during single-

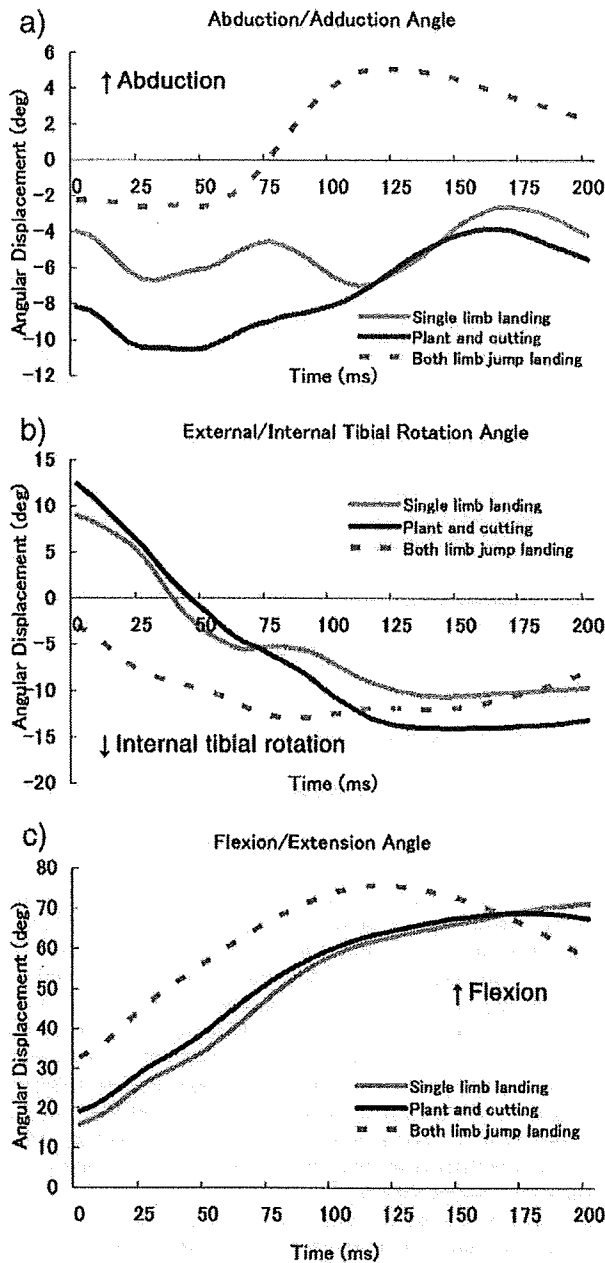


Fig. 2. Comparisons of joint motion. Data are presented for knee abduction/adduction (a), external/internal tibial rotation (b), and knee flexion/extension (c).

limb tasks, subjects demonstrate riskier kinematics than during both-limb tasks.

2. Materials and methods

2.1. Subjects

A power analysis conducted during a pilot study revealed that at least 24 subjects were necessary to achieve 80% statistical power with an α level of 0.05. In all, 24 female athletes were recruited for the experiment. Half were basketball players; others were lacrosse players. Subjects were excluded from the study if they had a history of serious musculoskeletal injury, any musculoskeletal injury within the past 6 months, or any disorder that interfered with sensory input, musculoskeletal function, or motor function. Before participation, all subjects provided written informed consent in accordance with approval by the Institutional

Table 1

Mean (SD) for tasks observed power of joint angle at the time of foot contact

	Knee abduction	External tibial rotation	Knee flexion
Single limb landing	-4.0 (2.6)	9.0 (3.4)	15.8 (5.0)
Plant and cutting	-8.2 (3.1)**	2.4 (4.3)**	19.2 (7.0)**
Both limb jump landing	-2.2 (3.4)**	-3.0 (5.2)**	32.8 (7.1)**
Observed power	1.0	1.0	1.0

*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$.

Review Board of National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities. The average age of subjects was 21.1 (1.3) yr (Mean (SD)); their average height was 166.1 (8.3) cm and their average weight was 59.3 (8.2) kg. All subjects were right-leg dominant. The dominant leg was determined as the leg used to kick a ball.

2.2. Experimental task

All subjects were measured in a static standing position and during performance of three athletic tasks: single-limb landing, plant and cutting, and both-limb jump landing. For the single-limb landing, subjects stood on a 30-cm-high platform with the left limb, and landed on a platform 30 cm away with the right limb (Fig. 1a). They were required to unyoke their left foot from a platform, and, when they start a landing motion, not to land the right limb along with their left limb on a platform. A trial was considered successful if they retained the landing position. For the plant and cutting, subjects stood on a platform, as in the single-limb landing. They were required to land with their right foot 45° abducted from the original direction and to push off their foot perpendicularly (to the left) with the right foot to make a cut (Fig. 1b). They also were required to make three steps after the cut. A trial was considered successful if they landed with their foot at the prescribed angle and made a cut to the prescribed direction. For both-limb jump landing, subjects performed vertical jumps five times using both legs with maximum effort [17] (Fig. 1c). They were instructed to stand with their feet shoulder-width apart and face the frontal plane during testing. The subjects were given verbal instruction to shorten their foot contact time as much as they were able and to jump as high as they were able. The landings from the second to fourth time of their dominant limb were measured for analysis. Throughout the experiment, the subjects were barefoot and kept their hands on their lower torso. The subjects were allowed to perform several preparation trials. Measurements were continued for three successful trials: each was conducted consecutively.

2.3. Data collection

All experiments were performed at the National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities in Saitama, Japan. A seven-camera high-speed motion analysis system (Hawk; Motion Analysis Corp., Santa Rosa, CA) was used to record the lower-limb movements three-dimensionally. The motion and force data were recorded at 200 Hz. The laboratory was equipped with six force plates (9287A; Kistler Japan Co., Ltd., Tokyo, Japan). Vertical ground-reaction force was used to signal the initial contact to determine the data capture period.

Table 2

Mean (SD) for tasks observed power of peak joint angle

	Knee abduction	Internal tibial rotation	Knee flexion
Single limb landing	-1.2 (5.2)	12.3 (5.5)	72.5 (6.7)
Plant and cutting	-2.6 (6.1)	14.4 (6.0)*	70.4 (8.5)
Both limb jump landing	7.1 (5.5)**	14.9 (5.5)	80.3 (16.4)
Observed power	1.0	0.96	0.88

*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$.

Table 3
Mean (SD) for angular excursion (deg) and rate of excursion (deg/ms)

	Knee abduction		Internal tibial rotation	
	Excursion	Rate	Excursion	Rate
Single limb landing	6.6 (3.6)	0.12 (0.05)	21.4 (6.4)	0.15 (0.06)
Plant and cutting	9.8 (3.8)**	0.13 (0.04)	26.8 (6.8)**	0.22 (0.07)
Both limb jump landing	11.2 (3.6)	0.14 (0.05)	12.1 (4.9)**	0.14 (0.05)

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$.

To each subject, 25 reflective markers of 9 mm diameter were secured to the lower limb using double-sided adhesive tape, as described in a previous study [14]. The markers were used to implement the Point Cluster Technique (PCT) [18]. We calculated knee kinematics using the joint coordinate system proposed by Grood and Suntay [19]. For PCT, the skin markers are classified into two groups: a cluster of points representing a segment and points representing bony landmarks. For a cluster of points, 10 and 6 markers were attached respectively to the thigh and shank segments. The bony landmarks were the great trochanter, the lateral and medial epicondyles of the femur, the lateral and medial edges of the tibia plateau, the lateral (fibula) and medial malleoli, and the fifth metatarsophalangeal joint.

2.4. Data analysis

The coordinate data obtained from the markers were not smoothed because of the expected noise-cancelling property of the PCT. In each trial, we calculated the angular displacements of flexion/extension, abduction/adduction, and external/internal tibial rotation using the PCT. The reference position for these measurements was obtained during the static trial. We analyzed each variable at the time of foot contact and the peak value from the foot contact to 200 ms thereafter. Additionally, angular excursion for knee abduction and internal tibial rotation was calculated. A rate of excursion for knee abduction and internal tibial rotation was also calculated.

All dependent variables were calculated for each trial, then averaged across the three trials. A repeated measures one-way ANOVA was used to test for task differences in joint angle at the foot contact and peak joint angle. The alpha level was set at $p < 0.05$. A post hoc Bonferroni multiple comparison test was performed for each variable to determine differences among tasks. Intraclass correlation coefficients (ICC (1, 3)) were calculated to determine the measurement consistency.

3. Results

Acceptable ICC (1, 3) values at the time of foot contact and a peak value were established for knee abduction/adduction (0.98, 0.97), external/internal tibial rotation (0.93, 0.98), and flexion/extension (0.96, 0.89). Fig. 2 portrays mean time course comparisons across tasks for the three angular displacements of the knee (abduction/adduction, external/internal tibial rotation, and flexion/extension).

Means, standard deviations and observed power for all variables at the time of foot contact are presented in Table 1. The adduction angle in plant and cutting was significantly larger than that for either single-limb landing or both-limb jump landing ($p < 0.01$, respectively); that in single-limb landing was significantly larger than that of both-limb jump landing ($p < 0.05$). The external tibial rotation angle in plant and cutting was significantly larger than for either single-limb landing or both-limb jump landing ($p < 0.01$); that in single-limb landing was significantly larger than that of both-limb jump landing ($p < 0.01$). The flexion angle in both-limb jump landing was significantly larger than that of either single-limb landing or plant and cutting ($p < 0.01$); that in plant and cutting was significantly larger than that of single-limb landing ($p < 0.01$).

Means and standard deviations of peak values for all variables are presented in Table 2. The peak abduction angle in both-limb jump landing was significantly larger than that of either single-limb landing or plant and cutting ($p < 0.01$ and $p < 0.05$, respectively). During single-limb landing or plant and cutting, their knee was abducted from foot contact with time. However, even at their peak, it is adducted. The peak internal tibial rotation angles in plant and cutting and both-limb jump landing were significantly larger than that of single-limb landing ($p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively). The peak flexion angle in plant and cutting was significantly smaller than both-limb jump landing ($p < 0.05$).

The angular excursion and velocity for knee abduction and internal tibial rotation are presented in Table 3. The excursion for knee abduction in plant and cutting and

both-limb jump landing was significantly larger than that for either single-limb landing ($p < 0.01$, respectively). The rates of excursion for knee abduction among three tasks were not significantly different. The excursion for internal tibial rotation in plant and cutting was significantly larger than for either single-limb landing or both-limb jump landing ($p < 0.01$, respectively), whereas that in single-limb landing was significantly larger than that of both-limb jump landing ($p < 0.01$). The rate of excursion for internal tibial rotation in plant and cutting was significantly faster than that for either single-limb landing or both-limb jump landing ($p < 0.01$, respectively).

4. Discussion

The primary purpose of this study was to analyze the biomechanical characteristics of the knee joint during several athletic tasks, and to examine what tasks present a risk for ACL injury. A plant and cutting manoeuvre is a movement that commonly causes ACL injury, of which most situations were single-foot push-offs [5]. However, biomechanical characteristics of plant and cutting and several athletic tasks are unknown. Therefore, to compare a plant and cutting and normal single-limb landing as well as both limb landing, we can understand these athletic tasks and examine what tasks are risky for ACL injury. The results of this study showed that greater excursion and more rapid knee abduction occur in plant and cutting than that which occurs in single-limb landing, in addition to greater internal tibial rotation. Furthermore, compared to similar single-limb tasks, both-limb jump landing knee flexion and knee abduction were greater; external tibial rotation at the foot contact was smaller.

4.1. Plant and cutting versus single-limb landing

Some recent studies have compared biomechanical characteristics across different athletic tasks [8,15,20]. Nevertheless, these studies present some limitations. Although Chappell et al. [8] compared knee kinematics of forward, vertical, and backward stop-jump tasks, they did not examine lateral movement. Sell et al. [15] compared two-legged stop-jump tasks in three different directions. Although their results indicate that lateral jumps are the most dangerous of the stop-jumps, all tasks were two-legged tasks, not single-leg tasks. Besier et al. [20] compared the joint load during running, sidestep cutting, and crossover cutting. They inferred that external moments applied to the knee joint during the stance phase of the cutting tasks place the ACL and collateral ligaments at risk of injury, but they did not analyze joint kinematics and the frequency of the motion analysis system was too slow to support examination of high-speed athletic tasks. Therefore, the results of this study, along with those of the prior study, provide some implications of mechanisms causing ACL injury.

The results of this study showed that, during plant and cutting, external tibial rotation at the foot contact and peak internal tibial rotation were greater than during single-limb landing. During plant and cutting, from foot contact, subjects rotated the tibia more rapidly and to a greater degree toward internal tibial rotation than during single-limb landing. Previous studies [8,15,16] that examined the mechanism of ACL injury have not analyzed tibial rotation during high-risk movement, probably because of technical issues. In this study, we analyzed tibial rotation using PCT. An anatomical study has demonstrated that internal tibial rotation increases the strain of ACL [21]. Therefore, biomechanically and anatomically, plant and cutting presents a high risk for ACL injury.

During plant and cutting, subjects demonstrated more increased knee abduction at foot contact than during single-limb landing. After foot contact, during single-limb landing, subjects showed twin peaks of knee abduction. During plant and cutting, subjects moved toward knee abduction with time, although subjects did not exhibit a great magnitude of knee abduction. Consequently, during plant and cutting, excursion of knee abduction was greater than during single-limb landing. Therefore, during plant and cutting, greater excursion of knee abduction occurred than during single-limb landing combined with greater internal tibial rotation to push off their body to the other side and change direction.

4.2. Both-limb jump landing versus single-limb tasks

Some studies have analyzed kinematics or kinetics during bilateral landing to examine ACL injury mechanisms [11,12,22]; other studies have screened risks for ACL injury [13] or lower limb injury [23,24]. However, few studies have examined the characteristics of bilateral landing in comparison to single-limb landing. Only Pappas et al. [16] compared bilateral and unilateral landings. Their results indicated that, in unilateral landings, subjects performed high-risk kinematics with increased knee valgus, decreased knee flexion, and decreased relative hip adduction. However, they showed no peak knee valgus or tibial rotation during landing.

The results of this study demonstrated that, during both-limb jump landing, knee flexion at foot contact was greater than for single-limb landing and plant and cutting, and that peak knee flexion was greater than plant and cutting. These results were consistent with those of a previous study [16]. Pappas et al. [16] speculated that subjects might attempt to prevent falls by limiting excessive knee flexion during unilateral landing compared to bilateral landing, while simultaneously increasing the forces in ACL. Additionally, in slight knee flexion, i.e. less than 30°, contraction of the quadriceps strains the ACL [21,25,26]. For that reason, slight knee flexion is inferred as a risk factor of ACL injury. During a process of prevention training leading athletes to increased knee flexion can decrease the incidence of ACL injury. On the other hand, during both-limb landing, external tibial rotation at the foot contact was less than that during single-limb landing and plant and cutting, while peak internal tibial rotation was not significantly different with plant and cutting. Unilateral landing has a greater excursion of tibial internal rotation than bilateral landing. As described above, an anatomical study has demonstrated that internal tibial rotation increases the ACL strain [21]. Consequently, characteristics of unilateral landing that have less knee flexion and greater internal tibial rotation present a higher risk for ACL injury than bilateral landings.

During both-limb jump landing, peak knee abduction was greater than for either single-limb landing or plant and cutting, while knee adduction at foot contact was smaller. These results did not support our hypothesis. We speculate that knee abduction was limited compensatory for greater internal tibial rotation and smaller knee flexion to prevent ACL injury during single-limb tasks. The possibility of ACL injury arose when subjects allowed greater knee abduction during single-limb tasks. Another reason might be that, because ACL injury occurs not only in single-limb situations but also in both-limb jump landing, the latter also poses a risk for ACL injury. Krosshaug et al. [27] analyzed videos of ACL injury situations and reported that ACL injury occurred during two-legged landing in 9 of 22 cases of female player situations, although it occurred in only four cases of one-legged landing. Therefore, it is thought that both-limb landing with greater knee abduction might also pose a risk for ACL injury.

Greater knee abduction was apparent during a both-limb jump landing task. For screening of ACL injuries, we detected knee abduction well in this task. It is difficult to detect a risk demonstrating greater knee abduction during single-limb tasks because of these characteristics, which demonstrate limited knee abduction. Moreover, knee abduction during both-limb landing can be evaluated using a two-dimensional approach, which uses a video recorder and analyzes a frontal projected knee valgus angle [17]. Some studies have been conducted using comparable methods [23,28]. Consequently, considering convenience and efficiency, both-limb jump landing is thought to be valuable for screening the risk of ACL injury.

4.3. Limitations

This study has important limitations. Influences of the hip and ankle have recently been suggested [9,29]. However, the present study analyzed the kinematics of the knee only. Additionally, although joint kinetics holds great importance for analyses of athletic tasks and for examination of the mechanisms of injuries, we only analyzed knee kinematics because we have not developed a joint-moment calculation

system corresponding to PCT. Future studies should examine the relation between kinematic data and kinetics data to assess the ACL injury mechanism.

5. Conclusion

We compare the biomechanical characteristics of the knee joint for several athletic tasks to elucidate the characteristics of single-limb landing, plant and cutting and both-limb landing, and to examine what tasks present a risk for ACL injury. The results indicate that, in plant and cutting, knee abduction combined with internal tibial rotation poses a risk of causing ACL injury. Both-limb landing with greater knee abduction might also pose risks for ACL injury.

6. Conflict of Interest

No author of this manuscript has any conflict of interest.

Acknowledgements

This work was supported by Grants-in-Aid for Scientific Research (B) (18300219) in 2006, 2007, and 2008.

References

- [1] Kvist J. Rehabilitation following anterior cruciate ligament injury: current recommendations for sports participation. *Sports Med* 2004;34:269–80.
- [2] Agel J, Arendt EA, Bershadsky B. Anterior cruciate ligament injury in national collegiate athletic association basketball and soccer: a 13-year review. *Am J Sports Med* 2005;33:524–30.
- [3] Arendt EA. Anterior cruciate ligament injury patterns among collegiate men and women. *J Athl Train* 1999;34:86–92.
- [4] Boden BP, Dean GS, Feagin Jr JA, Garrett Jr WE. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics* 2000;23:573–8.
- [5] Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, Bahr R. Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *Am J Sports Med* 2004;32:1002–12.
- [6] McLean SG, Huang X, van den Bogert AJ. Association between lower extremity posture at contact and peak knee valgus moment during sidestepping: implications for ACL injury. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2005;20:863–70.
- [7] Malinzak RA, Colby SM, Kirkendall DT, Yu B, Garrett WE. A comparison of knee joint motion patterns between men and women in selected athletic tasks. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2001;16:438–45.
- [8] Chappell JD, Yu B, Kirkendall DT, Garrett WE. A comparison of knee kinetics between male and female recreational athletes in stop-jump tasks. *Am J Sports Med* 2002;30:261–7.
- [9] McLean SG, Lipfert SW, van den Bogert AJ. Effect of gender and defensive opponent on the biomechanics of sidestep cutting. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:1008–16.
- [10] Ford KR, Myer GD, Toms HE, Hewett TE. Gender differences in the kinematics of unanticipated cutting in young athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:124–9.
- [11] McLean SG, Felin RE, Suedekum N, Calabrese G, Passerallo A, Joy S. Impact of fatigue on gender-based high-risk landing strategies. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:502–14.
- [12] Ford KR, Myer GD, Hewett TE. Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:1745–50.
- [13] Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt Jr RS, Colosimo AJ, McLean SG, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes. *Am J Sports Med* 2005;33:492–501.
- [14] Nagano Y, Ida H, Akai M, Fukubayashi T. Gender differences in knee kinematics and muscle activity during single limb drop landing. *Knee* 2007;14:218–23.
- [15] Sell TC, Ferris CM, Abt JP, Tsai YS, Myers JB, Fu FH, et al. The effect of direction and reaction on the neuromuscular and biomechanical characteristics of the knee during tasks that simulate the noncontact anterior cruciate ligament injury mechanism. *Am J Sports Med* 2006;34:43–54.
- [16] Pappas E, Hagins M, Sheikhzadeh A, Nordin M, Rose D. Biomechanical differences between unilateral and bilateral landings from a jump: gender differences. *Clin J Sport Med* 2007;17:263–8.
- [17] Nagano Y, Ida H, Akai M, Fukubayashi T. Statistical modeling of knee valgus during a continuous jump test. *Sports Biomech* 2008;7:342–50.
- [18] Andriacchi TP, Alexander EJ, Toney MK, Dyrby C, Sum J. A point cluster method for in vivo motion analysis: applied to a study of knee kinematics. *J Biomech Eng* 1998;120:743–9.
- [19] Grood ES, Suntay WJ. A joint coordinate system for the clinical description of three-dimensional motions: application to the knee. *J Biomech Eng* 1983;105:136–44.
- [20] Besier TF, Lloyd DG, Cochrane JL, Ackland TR. External loading of the knee joint during running and cutting maneuvers. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:1168–75.
- [21] Arms SW, Pope MH, Johnson RJ, Fischer RA, Arvidsson I, Eriksson E. The biomechanics of anterior cruciate ligament rehabilitation and reconstruction. *Am J Sports Med* 1984;12:8–18.