

200500344A

厚生労働科学研究費補助金

長寿科学総合研究事業

ウェアラブル重心動揺測定装置を用いた人工関節置換術後早期リハビリ法の考案  
に関する研究  
(H17-長寿-035)

平成17年度 総括研究報告書

主任研究者 袴 史明

平成18(2006)年 4月

## 目 次

### I. 総括研究報告

ウェアラブル重心動揺測定装置を用いた人工関節置換術後早期リハビリ法の考案 に関する研究	-----	1
	主任研究者 禔 史明	

### II. 分担研究報告

1. ウェアラブルセンサを利用した運動機能評価技術に関する研究	-----	9
	分担研究者 岩城 啓好	
2. ポータブル動作解析機の人工股関節置換術前後の機能訓練への応用に関する研究	-----	12
	分担研究者 中土 保	

III. 研究成果の刊行に関する一覧表	-----	16
---------------------	-------	----

IV. 研究成果の刊行物・別刷	-----	17
-----------------	-------	----

ウェアラブル重心動揺測定装置を用いた人工関節置換術後早期リハビリ法の考案  
に関する研究

（分担）研究者 袴 史明

研究要旨

下肢の人工関節置換術は現在頻繁に行われており、必要としている患者も多く、手術により疼痛が改善する効果も大きい。また手術の効果をあげるだけでなく、現在は早期退院、早期社会復帰が求められている。

そこで、我々は数年前よりクリニカルパスを作製し、医療の標準化と質の向上に加え、早期社会復帰をめざした。その結果、現在人工膝関節置換術では術後約3週間、人工股関節置換術では術後約3～4週間で退院、社会復帰を標準とすることが可能となった。

しかしながら、医療はそもそも個別のものであり、強引に標準化を行うことは望ましいことではなく、現在のパスメニューにおいてはもちろんバリエーションを設定し、個別に評価して術後のリハビリテーションを行っているが、十分なエビデンスをもって行っているわけではない。これらのことを評価する新しい方法として、体に装着することができ、歩行路にまったく制限を加えないため病室でも計測が可能なウェアラブル重心動揺測定装置を用いてこの評価を行うことを考案し、術後人工関節リハビリテーションプログラムに応用する研究を行った。

1. 本装置を装着した健常者18名にたいし歩行実験を行い、歩行スタンス、歩行速度などについて運動機能の回復度との相関性を確認し、リハビリテーション治療成績の定量化において有効であることを実証した。
2. 42名の変形性股関節症の患者に対し、このセンサーと重心動揺計を同時に使い、30秒の閉眼立位検査を行うことにより、このセンサーの精度検証を行った結果、我々が開発したポータブル動作解析機は、従来の重心動揺計と同等の精度を持っていることが示された。
3. 片側人工股関節置換術前後の12例にポータブル動作解析機装着下で10m歩行検査を歩行訓練開始時、松葉杖開始時、機能訓練終了時に測定を行い、患側/健側支持率、歩行スタンス幅、歩行速度を計測した。患側/健側支持率は術前73.5%、歩行訓練開始時平行棒内79.0%、松葉杖開始時82.5%、機能訓練終了時では、ステッキで88.4%となった。歩行スタンス幅は訓練開始時と比較して松葉杖開始時・機能訓練終了時が共に改善した。歩行速度は訓練開始時と比較して松葉杖開始時・機能訓練終了時が共に改善した。患側/健側支持率は有意ではないが増加し、患側への荷重が増加傾向となった。歩行スタンス幅・歩行速度は共に有意な改善を認めた。
4. 人工股関節置換術を施行患者17例に、筋力測定を術前および術後において毎日実施した。測定は股関節外転および伸展の等尺性筋力を測定し、筋力は術前値の80%で回復とみなした。退院後は2週間、3ヶ月後、6ヶ月後の外来診察時に同測定を実施した。筋力変化において多くの症例が術後2週間後で術前値の80%程度まで回復を認め、その後数ヶ月にわたり徐々に増強する傾向を認めた。現在の術後プログラムは3週間で退院の設定であるが、退院時においては術前の筋力程度までほぼ回復しているといえる。BMI・体重といった身体要因が術後伸展筋力の回復を妨げ、加齢に伴い術後外転筋の回復が遅くなることも判明した。

主任研究者	
袴 史明	
大阪市立大学医学研究科整形外科	助手
分担研究者	
岩城 啓好	
大阪市立大学医学研究科整形外科	講師
小林 章郎	
大阪市立大学医学研究科整形外科	講師
中土 保	
大阪市立大学医学研究科整形外科	講師

#### A. 研究目的

人口の高齢化、医療技術の進展に伴い、高齢者のQuality of Life (QOL)が重要視されるようになってきている。特に、変形性関節症、大腿骨頸部骨折などの骨・関節疾患が原因で、「車椅子生活」や「寝たきり状態」になると、著しい高齢者のQOLの低下を招き、社会的、医療経済的に大きな問題となっている。これを防ぐ方法のひとつとして下肢の人工関節置換術は広く行われており、必要としている患者も多い。当施設においても人工膝関節置換術が年間約80例、人工股関節置換術が約100例施行され大きな効果をあげているが、手術の効果をあげるだけでなく、現在は早期退院、早期社会復帰が求められている。医療の標準化を目指しクリニカルパスが広く普及している。しかしながら、医療はそもそも個別のものであり、強引に標準化を行うことは望ましいことではない。現在のパスメニューにおいてはもちろんバリエーションを設定し、個別に評価して術後のリハビリテーションを行っているが、十分なエビデンスをもって行っているわけではない。客観的に評価し、医療の標準化とオーダーメイド治療を両立

するためには患者の術後の状態を客観的、総合的に判断する必要がある。

これらのことを評価する方法として、歩行分析の手法がある。当院でもリハビリテーション訓練室に設備は整っているが、マーカの装着が必要で、限られた歩行距離の評価しかできないことが、問題で、また術後早期の状態で歩行解析機器のある所まで患者を移動させることが必要となる。そこでわれわれは非常に簡易に体に装着することができ、歩行路にまったく制限を加えないため病室でも計測が可能なウェアラブル重心動揺測定装置を用いてこの評価を行うことを考案開発した。今回の研究は、術後早期患者の歩行を病室、病棟で評価し、現在の術後リハビリテーションメニューを再評価し、個別に対応できるオーダーメイド治療システムを構築することが目的である。今回の研究は、術後早期患者の歩行を病室、病棟で評価し、現在の術後リハビリテーションメニューを再評価し、個別に対応できるシステムを構築することが目的である。この研究により、現在行われている術後のリハビリテーションが、経験的、定性的なものから、エビデンスのある定量的なものに変えていくことができる。また今後他の下肢疾患術後や、急性期のリハビリテーションに応用でき、極めて意義のあるものと考えられる。現在歩行分析は、機器の発達により当院の設備でも下肢関節のモーメントやパワーを求めることが可能となっている。ところが、機器の設置してある特定の場所で、特定の歩行路を歩行しないと計測できない上、多数のマーカを装着するなどの手間が多く、術直後の患者に使用できないという制限が臨床に応用しにくい大き

な一因となっている。しかしながら、今回のシステムにより病室での使用や、階段などの特殊な状況などで計測が可能となり、より臨床に則した研究へと進めることが可能である。今回のシステムを構築するために現在、以下の4つの研究を行い、検討を加えている。

## 研究方法、結果、考察

### 研究1. ウェアラブルセンサを利用した運動機能評価技術

【方法】実証予備実験として、被験者として健康者18名にて、歩行実験を行った。

【結果】ウェアラブルセンサで計測される加速度データと歩行スタンス・ストライドなどの間に相関関係を見出し、これをもとに歩行スタンス・歩行ストライド・歩行速度・座立変換、の4指標におけるアルゴリズムを構築し得た。また、人間の重心における動きをウェアラブルセンサの出力により追従できることを、重心動揺計との出力値とを比較することによりあらかじめ確認した。

【考察、結論】

本研究開発において加速度センサを内蔵する小型のウェアラブルセンサを用いた歩行評価技術を開発した。本行動評価技術を検証するためにリハビリテーション現場において実験を行い、歩行スタンス、歩行速度等について運動機能の回復度との相関性を確認し、リハビリテーション治療成績の定量化において有効であることを実証した。

### 研究2. ウェアラブルセンサーを用いた重心動揺検査の精度と有用性

【方法】42名（平均46歳）の変形性股関節症の患者に対し、このセンサーと重心動揺計を同時に用い、30秒の閉眼立位検査を行うことにより、このセンサーの精度検証を行った。

【結果】閉眼立位検査の結果は、単位軌跡長が重心動揺計では2.98cm/sec、本システ

ムでは2.88cm/secとなり相関係数は0.76であり、精度は良好であった。歩行データでは、術後日数が経過するにしたがって、歩行スタンス幅の減少、歩行速度の上昇、左右支持率の均等化が認められ、治療効果が定量的に評価できた。

【考察】我々が開発したポータブル動作解析機は、従来の重心動揺計と同等の精度を持っていることが示された。本システムは、ポータブルであるため、検査室以外での計測も可能であり、今回は病棟の廊下で行った。更に階段昇降など様々な条件下での計測が可能であり、リハビリテーションの定量的な効果判定に有用であると考えている。

【結論】加速度センサーを内蔵する小型のウェアラブルセンサーは、十分な精度があり、人工股関節置換術後の運動機能回復の定量的測定法として有用であることが示された。

### 研究3. ポータブル動作解析機のTHA術後リハビリテーションでの使用経験

【方法及び症例】動作解析機はノート型PCと腰部装着型の無線による通信機能を有する3軸の加速度センサーで構成されている。12名（平均63歳）のTHA後の患者を病棟の廊下で約10m自由歩行させ、平行棒歩行・松葉杖歩行・ステッキ歩行へと術後移動方法の進行の段階毎に歩行速度、左右支持率を測定した。

【結果】歩行データでは、歩行速度が平行棒歩行では $0.39 \pm 0.31$  m/s、松葉杖歩行では $0.68 \pm 0.17$  m/s、ステッキ歩行では $0.79 \pm 0.13$  m/sと段階が進む毎に歩行速度は速くなった。また、左右支持率も徐々に均等化し、患側への荷重が増えていくことが定量的に評価できた。

【考察】我々が開発したポータブル動作解

析機は、場所を選ばず簡便に測定が行えるものである。今回の結果から、THA後のリハビリテーションの進行によって歩行速度や左右支持率が変化することが分かった。今後データを蓄積することにより歩行解析の結果がリハビリテーションの進行の目安になる可能性が示唆された。

【結語】加速度センサーを内蔵するポータブル動作解析機による歩行解析の結果、THA後の移動能力の回復に伴って歩行速度の上昇と左右支持率の均等化が認められた。

#### 研究4. 人工股関節術後患者の早期回復を可能とする要因は？

(方法) 入院中において筋力測定を術前および術後において毎日実施した。測定は股関節外転および伸展の等尺性筋力をJTECH社製Power Track IIにて行った。筋力は術前値の80%で回復とみなした。退院後は2週後、3ヶ月後、6ヶ月後の外来診察時に同測定を実施した。独歩可能日と筋力の回復、術前の筋力状態、罹病期間等の術後回復に影響を与えると予測される要因との関係を調査した。

(結果)

- 1、筋力的変化は、外転13例(平均12.7日)、伸展8例(平均20.4日)が術後14日以内で術前の80%程度の状態にまで回復が見られた。
- 2、独歩可能日(平均11.9日)と筋力回復日との関係は、伸展( $r = .53$ )外転( $r = .41$ )とやや相関を認めた。
- 3、伸展の筋力回復日に関連する要因との関係は、BMI( $r = .72$ )体重( $r = .69$ )であり強い相関を認めた。
- 4、外転の筋力回復日に関連する要因との関係は、年齢( $r = .44$ )疼痛初発年

齢( $r = .28$ )で年齢にのみやや相関を認めた。

(考察、結論)

筋力変化において多くの症例が術後2週前後で術前値の80%程度まで回復を認め、その後数ヶ月にわたり徐々に増強する傾向を認めた。現在の術後プログラムは3週間で退院の設定であるが、退院時においては術前の筋力程度までほぼ回復しているといえる。今回の結果が示すようにBMI・体重といった身体要因が術後伸展筋力の回復を妨げ、加齢に伴い術後外転筋の回復が遅くなるということから、術後のみならず術前からの減量や筋力維持を目的とした運動の実施、そして適切な退院後のホームエクササイズ指導の必要性があるといえる。

【倫理面への配慮】

これらの研究遂行にあたっては、ヘルシンキ宣言を遵守し、対象者の人権を尊重している。特に研究に協力を依頼する患者には研究の目的および研究の発展によってもたらされる利益、患者に求められる不利益、さらに研究への協力を拒否しても不利益がないことなどについて、十分にインフォームドコンセントを得ることを徹底している。患者の個人情報の管理を徹底して、プライバシーの保護に配慮している。

【健康危険情報】

なし

研究発表

[袴史明]

学会発表

TKAにおけるSurgical Epicondylar Axisの正確性 Image Free Navigation Systemを使用した計測

上村卓也, 小林章郎, 岩城啓好, 袴史明, 洲鎌亮, 岩切健太郎, 大田陽一, 高岡邦夫  
日本整形外科学会雑誌79巻3号 PageS108(2005.03)

人工膝関節置換術における骨切りの正確性について Navigation Systemを利用した術中計測

小林章郎, 岩城啓好, 榑史明, 洲鎌亮, 岩切健太郎, 太田陽一, 高岡邦夫  
日本整形外科学会雑誌79巻3号 PageS107(2005. 03)

Highly Cross-linked PEを用いたWell-functioning THA患者のPE摩耗粉分析

洲鎌亮, 岩城啓好, 箕田行秀, 榑史明, 小林章郎, 高岡邦夫  
日本整形外科学会雑誌79巻8号 PageS933(2005. 08)

ゆるみを生じたHylamerソケットにおけるポリエチレン摩耗粉の定量的解析

岩切健太郎, 岩城啓好, 小林章郎, 榑史明, 洲鎌亮, 大田陽一, 高岡邦夫, 箕田行秀  
日本整形外科学会雑誌79巻4号 PageS424(2005. 04)

Well-functioning THAにおける関節液中のHighly Cross-link PEの摩耗粉分析

洲鎌亮, 岩城啓好, 小林章郎, 榑史明, 多田昌弘, 岩切健太郎, 大田陽一, 高岡邦夫, 箕田行秀  
日本整形外科学会雑誌79巻4号 PageS423(2005. 04)

人工股関節手術における側臥位の骨盤傾斜に与える影響

高浩範, 岩城啓好, 小林章郎, 榑史明, 高岡邦夫  
中部日本整形外科災害外科学会雑誌48巻春季学会号 Page92(2005. 04)

[岩城啓好]

書籍

一過性大腿骨頭萎縮症、化膿性股関節炎、結核性股関節炎

岩城啓好、高岡邦夫

整形外科 Knack & Pitfalls 股関節外科の要点と盲点 スタンダード編 II-6

p80-2 文光堂 2005

セラミックオンセラミック人工股関節 整形外科 Knack & Pitfalls 股関節外科の要点と盲点

岩城啓好、高岡邦夫

応用編 III-6 p270-1 文光堂 2005

雑誌

Minoda Y. Kobayashi A. Iwaki H. Miyaguchi M. Kadoya Y. Ohashi H. Takaoka K.

Polyethylene wear particle generation in vivo in an alumina medial pivot total knee prosthesis.

*Biomaterials*. 26(30):6034-40, 2005 Oct.

【画像から痛みを撮る】 人工関節の使用による異所性骨化

岩城啓好, 高岡邦夫

痛みと臨床5巻3号 Page248-254(2005. 06)

股関節疾患患者の手術治療後の職場復帰について アンケート調査による検討

津田晃佑, 萩尾佳介, 中川滋, 岩城啓好, 格谷義徳, 大澤傑, 鎌山博士, 西塔進

大阪労災病院医学雑誌28巻1~2号 Page12-16(2005. 01)

骨盤傾斜と股関節症 THA術前・後での骨盤傾斜の変化とこれに関与する要因について

洲鎌亮, 岩城啓好, 岩切健太郎, 高岡邦夫, 大橋弘嗣

Hip Joint31巻 Page216-219(2005. 10)

学会発表

人工股関節置換術後患者における立ち上がり動作時床反力の経時的変化

今久保伸二、中土 保、村西壽祥、岩城啓好、高岡邦夫

第32回日本臨床バイオメカニクス学会 2005-10

人工股関節術後患者の早期回復を可能とする要因は？

今久保伸二、中土 保、村西壽祥、岩城啓好、高岡邦夫  
第30回股関節学会 (2005-11)

3次元造型モデルを用いて人工股関節再置換術を行った1症例

仲哲史、洲鎌亮、岩城啓好、米田昌弘、岩切健太郎、大田陽一、小林章郎、高岡邦夫  
中部日本整形外科災害外科学会雑誌48巻1号 Page193-194(2005. 01)

高齢女性のSagittal Planeにおける下肢Mechanical Axisの検討

洲鎌亮、小林章郎、箕田行秀、岩切健太郎、岩城啓好、高岡邦夫  
日本整形外科学会雑誌79巻8号 PageS936(2005. 08)

オールポリエチレンカップにおけるクロスリンク加工は有効であるか？ Prospective Randomized Trialでの検討

大田陽一、岩城啓好、小林章郎、洲鎌亮、岩切健太郎、高岡邦夫、大橋弘嗣  
日本整形外科学会雑誌79巻4号 PageS421(2005. 04)

人工股関節手術における側臥位の骨盤傾斜に与える影響

高浩範、岩城啓好、小林章郎、禰史明、高岡邦夫  
中部日本整形外科災害外科学会雑誌48巻春季学会号 Page92(2005. 04)

THA術前プランニングにおける3Dテンプレートニングの有用性

間中智哉、岩城啓好、小林章郎、高岡邦夫  
第30回股関節学会 (2005-11)

臼蓋部骨欠損に補填を要した人工股関節再置換術の成績

岩切健太郎、岩城啓好、小林章郎、禰史明、洲鎌亮、太田陽一、大橋弘嗣、高岡邦夫  
第30回股関節学会

[小林章郎]

雑誌

コンピュータナビゲーションを用いた人工膝関節置換術 整形外科最新技術—手技のポイントとコツ OS Now27 p100-6 2005

Sugama R. Kadoya Y. Kobayashi A. Takao ka K. Preparation of the flexion gap affects the extension gap in total knee arthroplasty. Journal of Arthroplasty. 20(5):602-7, 2005

Matsui Y. Kadoya Y. Uehara K. Kobayashi A. Takaoka K. Rotational deformity in varus osteoarthritis of the knee: analysis with computed tomography. Clinical Orthopaedics & Related Research. (433):147-51, 2005

[中土保]

雑誌

Nakatsuchi T. Otani M. Osugi H. Ito Y. Koike T. The necessity of chest physical therapy for thoracoscopic oesophagectomy. Journal of International Medical Research. 33(4):434-41, 2005

Ito Y. Sakai T. Tomo H. Nakao Y. Inui K. Koike T. Nakatsuchi T. Takaoka K. Computerized assessment of Bankart lesions under tension with magnetic resonance arthrography. Journal of Shoulder & Elbow Surgery. 14(3):247-51, 2005

特集 高齢者の転倒骨折予防 転倒予防のための住環境

中土保

Geriatric Medicine Vo.44 No.2 2006-2

高齢女性の転倒と重心動揺を含めた運動機能との関連について

中土保、村西壽祥、松下直史、高岡邦夫  
日本臨床バイオメカニクス学会誌26巻 Page419-424(2005. 10)

ポータブル動作解析機の人工股関節置換術前後の機能訓練への応用

松下直史、大橋弘嗣、今久保伸治、中土保、井上茂之、田中真司、山本浩司、高岡邦夫



夫  
日本臨床バイオメカニクス学会誌26巻 Page  
e431-436(2005. 10)

ポータブル動作解析機のTHA術後リハビリ  
テーションでの使用経験  
松下直史, 大橋弘嗣, 今久保伸治, 中土保,  
高岡邦夫, 井上茂之, 田中真司, 山本浩司  
Hip Joint31巻 Page486-489(2005. 10)

学会発表  
胃瘻管理におけるPEG造影検査の有用性  
ピットフォールとその対策  
小西英樹, 橋本務, 島田永和, 中土保  
リハビリテーション医学42巻11号 Page795  
(2005. 11)

視覚探索課題において計算による干渉が注  
意機能に与える影響について D-CATを用  
いた正常人の注意機能評価  
小西英樹, 橋本務, 島田永和, 中土保  
リハビリテーション医学42巻11号 Page792  
(2005. 11)

食道癌根治術における呼吸訓練プログラ  
ムの検討  
大谷真由美, 中土保, 大杉治司  
理学療法学32巻Suppl. 2号 Page337(2005. 0  
4)

食道癌術後患者における反回神経麻痺と嚥  
下障害との関係  
林久子, 三好隆志, 滝口准, 中土保  
作業療法24巻特別号 Page274(2005. 05)

ウェアラブルセンサーの人工股関節置換術  
後リハビリテーションへの応用  
松下直史, 大橋弘嗣, 中土保  
リハビリテーション医学42巻Suppl. 号 Pag  
eS285(2005. 05)

高齢女性の運動機能と体操指導の関連につ  
いて  
中土保, 松下直史, 伊藤陽一, 小池達也  
リハビリテーション医学42巻Suppl. 号 Pag  
eS180(2005. 05)

脊髄損傷者の車椅子スポーツ参加は下肢の

骨塩量低下に予防的に作用する  
松下直史, 中土保, 大澤傑, 高岡邦夫, 小  
池達也  
日本整形外科学会雑誌79巻4号 PageS501(2  
005. 04)

【知的財産権の出願・登録状況】  
なし

## ウェアラブルセンサを利用した運動機能評価技術に関する研究

分担研究者 大阪市立大学医学研究科整形外科 岩城啓好

### 1 ウェアラブルセンサの開発

人体の運動にともなう加速度の検知を長時間にわたり行うことができ、これらの情報の無拘束・非侵襲収集を実現することを目的に、コンパクトな形状で、無線による通信機能を有するウェアラブルセンサの開発を行った

(図1)。これらの機能を実現するためにウェアラブルセンサは、3軸の加速度センサブロック、およびセンサブロックからの出力に対して信号処理を行うCPUブロックと、通信制御を行うCPUブロックからなる通信制御ブロックを内部に備えることとした。なお、今回はデータの検証を行っていないが、ウェアラブルセンサには、加速度の検知と同時に心拍を検出するよう、心拍センサブロックをさらに備えた。

加速度センサブロックは、身体の運動に伴って生じる加速度を3次元に分解して検出するため、2軸型加速度センサを2個、直交させた基板に実装し、3軸方向の加速度取得を行うように構成した。なお、センサ素子として、人間の運動において発生する加速度領域において十分な解像度を有するよう $\pm 2G$  ( $2 \times 9.8 \text{ m/sec}^2$ )のダイナミックレンジの素子を用いた。さらに、A/D変換回路を備え、各軸毎に入力される加速度を16bitの解像度においてデジタル出力するよう構成した。加速度のサンプリング周期は62Hzとし、バッテリーによる駆動方式を採用することでウェアラブルな計測を可能とするようにした。ウェアラブルセンサを用いて計測をする際には、ベルトにより人体の腰背部に装着することとし、装着した際、人体の静止立位に対してX軸は左右方向、Y軸は前後方向、Z軸は上下方向に対応するよう構成した。また、サンプリングした加速度データは、bluetoothにより収集用PCに逐次無線収集するよう構成し、収集用PCには、加速度データの評価を行うシステムソフトをさらに実装した。

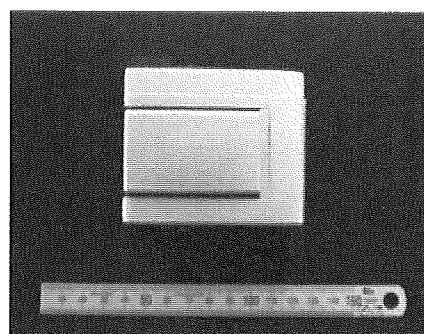


図1 ウェアラブルセンサ

### 2. 2 ウェアラブルセンサを用いた歩行解析

歩行機能評価の指標を検討するために上記したウェアラブルセンサを用いて予備実験を行った。

#### 1) 予備実験

まず、実証予備実験として、被験者として健常者18名(女10名、男8名、平均年齢 $21 \pm 1$ 歳)について歩行実験を(1step/sec)を行わせたところ、ウェアラブルセンサで計測される加速度データと歩行スタンス・ストライドなどの間に相関関係を見出し、これをもとに歩行スタンス・歩行ストライド・歩行速度・座立変換、の4指標におけるアルゴリズムを構築した。また、人間の重心における動きをウェアラブルセンサの出力により追従できることを、重心動揺計との出力値とを比較することによりあらかじめ確認した。

#### 2) スタンス評価アルゴリズム

予備実験により、スタンスの増加に伴い左右方向における歩行周期の加速度変動成分が増加することを確認したことから、歩行時における左右方向の加速度データに対して周波数分析を行い、歩行周期にあたる周波数のパワー(の対数)をスタンス評価の指標とする。

(図2)

#### 3) 歩速評価アルゴリズム

リハビリに伴い歩行速度が増加すると考えられる。歩行速度の指標としては、前後方向における歩行周期の加速度変動成分(ストライド評価指標)と1秒間の歩数との積により

算出することとした。

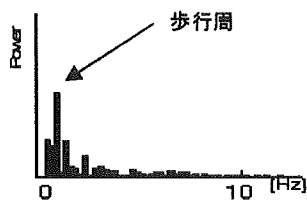


図2 歩行時における左右方向のパワースペクトル

#### 4) 左右支持率評価アルゴリズム

運動機能回復時の歩容の特徴として、左右の脚を交互に使うこと自体はできるが、負担が良い方の脚(健側)に負担が偏る傾向にあり、脚に掛る左右の負荷のバランスを指標とした。左右支持率評価指標としては、歩行中における左右方向の加速度変動成分を逐次積分し、歩行完了後での結果を算出した。

### 3 実証実験

現在、臨床の場において患者の障害の度合いや治療効果の判定は医師や理学療法士の目視に基づく定性的な評価が一般的である。特にリハビリテーションにおいては患者の運動機能障害や日常生活における障害を客観的に、かつ共通の指標により評価することが重要視されている<sup>1)</sup>。身体運動の定量的な評価法は、フォースプレートやモーションキャプチャを用いるものがあげられるが、これらの測定装置は大がかりで、かつ測定する空間、時間の制限が大きく高価であるために、一般の施設への導入は困難である。このような背景に基づき、リハビリ治療における治療成績の定量化に応用したシステムを構築し、リハビリ現場で実証した。

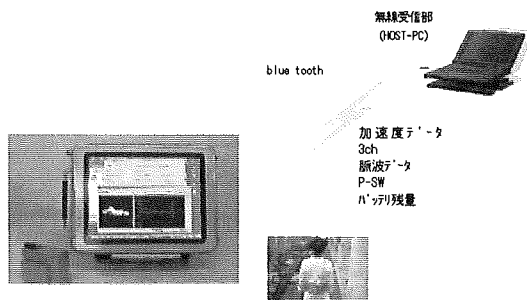


図3 実証実験用システム

#### 3. 1 実証実験の概要

実証実験は、大阪市立大学付属病院の整形外科のリハビリテーション科において行なった。また、加速度データを収集する被験者として、付属病院に入院している股関節症の入院患者を設定した。リハビリテーションの目

的は、人工股関節の置換手術によって一時的に低下した股関節周辺の筋機能の回復を担うことである。このことから、本実証実験における身体運動機能の回復とは、股関節周辺の筋群の機能回復を反映するものに相当する。

#### 3. 2 実験方法

機能回復過程における安静度のレベル毎に、入院患者が自由歩行動作および立ち座り動作を行うと同時に、ウェアラブルセンサによる加速度計測を実施した(図4)。

実証実験における被験者は、平均年齢65才(標準偏差 10才)で女性であった。これらの女性について入院期間を通じて追跡して実験を実施した。

#### 3. 3 実証実験の結果と考察

##### 1) スタンス評価アルゴリズムの検証

図6に患者の術後日数とスタンス変化との対応を示す。図6の横軸は患者の術後日数を示し、縦軸はスタンス評価指標を示している。理学療法士に対するヒアリングの結果として、下肢の運動機能回復が進むに従い歩行時のスタンスが縮小する、という仮説が事前に得られていたが、図6に示すスタンス評価の結果は6例中5例でその仮説を肯定する結果となり、この指標の有効性が示唆された。



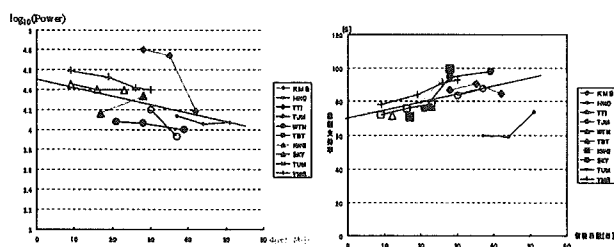
図4 実証実験風景

##### 2) 歩速評価アルゴリズムの検証

リハビリテーションの効果として、術後経過に伴って歩行速度が増加すると考えられていたが、実証実験の結果、リハビリテーションの回復過程との対応が得られることがわかり、この指標の有効性が示唆された。

##### 3) 左右支持率評価アルゴリズムの検証

図6に患者の術後日数と左右支持率との対応を示す。図6の横軸は患者の術後日数を示し、縦軸は左右支持率指標を示している。その結果、7例中6例でその仮説を肯定する結果となり、この指標の有効性が示唆された。



スタンス評価結果                      左右支持率評価結果

図6 実証実験での評価結果

#### 4 おわりに

本研究開発において加速度センサを内蔵する小型のウェアラブルセンサを用いた歩行評価技術を開発した。本行動評価技術を検証するためにリハビリテーション現場において実験を行い、歩行スタンス、歩行速度等について運動機能の回復度との相関性を確認し、リハビリテーション治療成績の定量化において有効であることを実証した。今後は、開発した人間行動計測技術の評価精度を向上し、これを応用した健康支援システムへの展開を検討していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 関根正樹、他5名(1999): 腓骨頭部加速度波形を用いた片麻痺患者の歩行評価の定量化に関する検討, 電学論C, 120(8/9), 1110-1117

## ポータブル動作解析機の人工股関節置換術前後の機能訓練への応用 分担研究者 大阪市立大学医学研究科整形外科 中土保

はじめに

現在機能訓練は、医療従事者の経験に基づき、進行していることが多く、EBM (Evidence Based Medicine) の観点からみると不合理な点が多々認められる。その理由として元来リハビリテーション医療分野は、バイオフィードバック・機能的電気刺激など患者条件・研究デザインを一定にしやすい分野以外は、患者の背景因子や治療条件が多種多様で実験室的条件下で得られた結果を適応しにくい点や無作為化比較試験を実施しにくい点があり、EBMを展開することが難しい分野である<sup>2)</sup>。最近では、FIMなどの国際的にも信頼性の高いADLの評価法を使用した研究分野や認知リハビリテーション分野でも、定量的評価が行われているが、機能訓練分野では、計測の簡易な測定機器の開発・普及が遅れており、定量的評価が不十分な点も認める。特に機能訓練の現場では、多種多様の疾患に対し、医療従事者の経験に基づき定量的評価を行わず、明確なゴール設定のないまま、慢性的に機能訓練を行っているケースを多々見受ける。

こうした中、動作解析技術は、機能訓練の効果を定量化し治療効果を明確にしていくためには必要不可欠な技術となっていくと考えられる。動作解析技術は以前より研究されてきた分野であるが、これまでの動作解析機は施設設置型であり、緻密な動作解析が可能であるが、一方非常に高価かつ広いスペースを要し、測定環境が動作解析機設置場所に限定されるという点で、臨床応用に大きな制約があり、特に屋外環境での機能評価が行えないという大きな欠点があり、技術普及の大きな障害ともなっていた。そこで我々は、操作・解析共に非常に簡便であり、かつ測定環境を選ばず、屋外環境でも測定をおこなうことが可能な小型のウェアラブルセンサーを用いたポータブル動作解析機を用いて人間の行動を比較的長時間計測・評価する技術の開発を行い、まず従

来より平衡機能検査時に使用されている重心動揺計と比較して閉眼立位検査での両測定機で測定した単位軌跡長の回帰分析を行い、標準回帰係数が、0.76となり、静止時の評価精度が高い事を確かめた<sup>6)</sup>。次に、歩行速度に関しては、本動作解析機とメトロノームの音に歩調を同調させた歩行実験にて標準回帰係数が、0.93となり、歩行時の評価精度が高いことを確かめた<sup>6)</sup>。今回、人工股関節置換術後の患者について自由歩行での歩行解析を行い、その有効性を実証したので報告する。

### ポータブル動作解析機

ポータブル動作解析機は箱型のウェアラブルセンサーであり、3軸の加速度センサーと、心拍センサーを内蔵し、Bluetoothを用い、支援端末に逐次無線収集するよう構成し、支援端末にて、運動機能評価・転倒検知・データ解析及び管理を容易に行える。ポータブル動作解析機を専用のセンサー固定用ベルトにて腰部に固定し、ノート型コンピューターを支援端末として使用し、無線で通信して動作解析を行った。ノート型コンピューターで加速度データ・原波形を解析することにより、運動機能情報を抽出し、リアルタイムモニターにて計測時間・3軸の波形・姿勢を同時に表示することが可能である。歩行時の加速度のデータ解析は、測定時には、ウェアラブルセンサーの検知した情報をノート型コンピューター上でXYZ軸の加速度の原波形として同時に表示する。歩行後ノート型コンピューター上で加速度データ・原波形を解析し、上下・前後・左右の3軸の加速度解析から、患側/健側支持率(%)・スタンス幅 (log Power)・歩行速度 (m/s) が評価可能であり、経時的に歩行能の変化を調査することが可能である。評価アルゴリズムは下記のようにになっている。

#### a. スタンス幅評価アルゴリズム

予備実験により、スタンス幅の増加に伴い左右方向における歩行周期の加速度変動成分が増加することを確認したことから、歩行時における左右方向の加速度データに対して周波数分析を行い、歩行周期にあたる周波数のパワー（の対数）をスタンス評価の指標とする。

#### b. 歩速評価アルゴリズム

機能訓練の進行に伴い歩行速度が増加すると考えられる。歩行速度の指標としては、前後方向における歩行周期の加速度変動成分（ストライド評価指標）と1秒間の歩数との積により算出することとした。

#### c. 左右支持率評価アルゴリズム

運動機能回復時の歩容の特徴として、左右の脚を交互に使うこと自体はできるが、負担が良い方の脚（健側）に負荷が偏る傾向にあり、脚に掛る左右の負荷のバランスを指標とした。左右支持率評価指標としては、歩行中における左右方向の加速度変動成分を逐次積分し、歩行完了後での結果を算出した。

#### 症例及び方法

片側人工股関節置換術前後の患者12名を対象とし、平均年齢63歳（32~84歳）、平均身長153cm（133~164cm）、平均体重61kg（50~70kg）であった。この症例に対し、ポータブル動作解析機装着下で10m歩行検査を歩行訓練開始時（平均術後9.1日）、松葉杖開始時（平均術後16.6日）、機能訓練終了時（平均術後29.3日）に行い、患側/健側支持率、歩行スタンス幅、歩行速度を計測し評価検討を行った。

#### 結果

患側/健側支持率は術前73.5%で、歩行訓練開始時平行棒内で79.0%、松葉杖開始時82.5%、機能訓練終了時では、ステッキで、88.4%となった。歩行スタンス幅は術前10.

9（log Power）で、歩行訓練開始時平行棒内で10.5 log Power、松葉杖開始時10.3 log Power、機能訓練終了時では、ステッキで、10.1 log Powerと訓練開始時と比較して松葉杖開始時・機能訓練終了時が共に改善を認めた（図5）。歩行速度は術前0.63m/sで、歩行訓練開始時平行棒内で0.39 m/s、松葉杖開始時0.68 m/s、機能訓練終了時では、ステッキで、0.79 m/sと訓練開始時と比較して松葉杖開始時・機能訓練終了時が共に改善を認めた。患側/健側支持率は有意ではないが増加し、患側への荷重が増加傾向となった。歩行スタンス幅・歩行速度は共に有意な改善を認めた。このように人工股関節置換術後の患側/健側支持率、スタンス幅、歩行速度の変化を評価できた。

#### 考察

我々が開発したポータブル動作解析機は、測定環境を選ばないため、今まで不可能であった屋外でも動作解析が可能となった。今回は普段歩く機会の多い病棟の廊下で行ったが、検査室以外での測定が可能になり、臨床上の制約がなくなることにより、維持期や日常生活下での動作解析も可能となる。更に松葉杖やステッキ、装具を装着したままでも解析が可能である。一方、従来の施設設置型動作解析機による動作解析は、人工股関節置換術後だけではなく、大腿切断者や頸髄症・脳血管疾患後の片麻痺患者など様々な疾病に応用されており<sup>1,5,9,10</sup>、歩行解析の結果から治療装具を作成する様な研究も行われている。また、人工股関節置換術後に対する動作解析技術は、歩行解析のみではなく、人工股関節の脱臼姿位の解析にも応用されている<sup>3,4,7,8</sup>。しかし、従来

の動作解析機は、緻密な動作解析は可能であるが、非常に高価かつ操作・解析共に困難であるため、導入できる施設が限定され、治療効果判定にも使用し難い。また施設設置型であり日常生活下での動作解析には使用できないため、動作解析の結果が実際の日常生活での動作を正確に反映しているとは考えにくい。その点このポータブル動作解析機は、操作・解析共に非常に簡便であり、かつ測定環境を選ばないため、転倒予防・スポーツの機能評価・条件の悪い悪路での歩行機能評価など様々な臨床応用が可能となると考えられ、屋内環境と屋外環境での機能比較もできるため、より厳密な安静度を設定することも可能となる。現在機能訓練は、医療従事者の経験に基づき行われていることが多く、EBMの観点からも、機能訓練の進行に不合理な点が多々認められた。操作・解析が簡便で測定環境を選ばないこの動作解析技術が普及することにより、医療従事者の経験に基づいていた機能訓練が根拠あるデータに基づいて進めていくことが可能になると考えられる。

#### 結語

加速度センサーを内蔵するポータブル動作解析機は人工股関節置換術後の運動機能回復の定量的測定法として有用であった。この動作解析技術は、今後様々な疾病での機能訓練の治療効果判定に利用できると考えられる。

#### 文献

- 1) 元田 英一、鈴木 康雄他：筋骨格コンピュータモデルと三次元剛体バネモデルによる股関節の解析。関節外科

Vol. 22. No2:19-30, 2003.

- 2) 木村彰男：リハビリテーション医学とEBM. 総合リハビリテーション. 29 (10):889-893, 2001.
- 3) Kristen A, Bowsher L et al.: Effect of foot-progression angle on hip joint moments during gait. J Biomech. 28:759-762, 1995.
- 4) Lai KA, Lin CJ et al.: Gait analysis after total hip arthroplasty with leg-length equalization in women with unilateral congenital complete dislocation of the hip -comparison with untreated patients. J Orthop Res. Nov;19 (6):1147-1152, 2001.
- 5) 前田 貴司、志波 直人他：大腿切断者の歩行解析。関節外科. 22 (2):86-93, 2003.
- 6) 松下 直史、大橋 弘嗣他：ウェアラブルセンサーを用いた重心動揺計の精度と有用性。日本整形外科学会雑誌. 78 (8):1059, 2004.
- 7) Mark E, Douglas R et al.: Kinematics, kinetics, and finite element analysis of commonplace maneuvers at risk for total hip dislocation. J Biomech. Apr;36 (4):577-591, 2003.
- 8) 田中 義孝：変形性股関節症および人工股関節置換術例の歩行分析。日整会誌. 67:1001-1013, 1993
- 9) 山田 博之、坂田 清他：頸髄症の歩行分析。関節外科. 22 (2): 94-100, 2003.
- 10) 山本 澄子：歩行分析に基づく片麻痺

者のための短下肢装具の開発. 関節外科. 22 (2): 101-108, 2003.



研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
中土保	特集 高齢者の転倒 骨折予防 転倒予防 のための住環境	Geriatric Medicine	Vo.44 No.2	195-199	2006
中土保, 村西壽 祥, 松下直史, 高岡邦夫	高齢女性の転倒と重 心動揺を含めた運動 機能との関連につい て	日本臨床バイオ メカニクス学会 誌	26巻	419-424	2005
松下直史, 大橋 弘嗣, 今久保伸 治, 中土保, 井 上茂之, 田中真 司, 山本浩司, 高岡邦夫	ポータブル動作解析 機の人工股関節置換 術前後の機能訓練へ の応用	日本臨床バイ オメカニクス 学会誌	26巻	431-436	2005
松下直史, 大橋 弘嗣, 今久保伸 治, 中土保, 高 岡邦夫, 井上茂 之, 田中真司, 山本浩司	ポータブル動作解析 機のTHA術後リハビ リテーションでの使 用経験	Hip Joint	31巻	486-489	2005

## 転倒予防のための住環境

中土 保\*

### KEY WORD

高齢者  
転倒予防  
住環境  
環境整備  
住宅改修

### POINT

- 高齢者の転倒予防には住環境を整備することが重要である。
- 住環境整備には整理整頓などの簡単なことから段階的に進める。
- すべてをバリアフリーにすることが望ましいわけではなく、個々の身体活動状況に適した環境を考える必要がある。

0387-1088/06/A500/論文/JCLS

### はじめに

高齢者の転倒は社会的に大きな問題であり、様々な対策が講じられているにもかかわらず、転倒に起因する骨折の件数は年々増加しつつある。転倒の原因としては高齢者本人の運動機能などの内的因子や、生活環境などの外的因子が考えられるが、ここでは住環境から転倒予防を考えてみたい。

### 高齢者に対する調査結果

平成13年に内閣府より報告された「高齢者の住宅と生活環境に関する意識調査」によると、60歳以上の男女で1年以内に転倒の経験のある人は、自宅内では12.4%、屋外では11.4%と自宅内の方が多かった。屋内での転倒場所では居間・茶の間・リビング(15.2%)、玄関・ホール・ポーチ(14.5%)、階段(9.8%)の順に多く、続いて廊下(8.7%)であり、寝室(5.8%)、

浴室(4.3%)、トイレ(2.5%)は比較的少ない結果となっていた。また、転倒によるけがの状況は、「けがはなかった」のは31.9%で、それ以外の約70%の人が何らかのけがを負っていた。

また、現在住んでいる住宅については、約半数で何らかの問題を抱えており、特に単身の高齢者においてその割合が高くなった。なかでも「構造や造りが高齢者には使いにくい」(13.2%)、「台所、トイレ、浴室などが使いにくい」(10.8%)となっており、単身者以外の生活形態に比べて高くなっていた。

将来改造したい構造・設備としては、「手すりを設置したい」(20.9%)、「住宅内の床の段差をなくしたい」(19.6%)、「浴槽を入りやすいものに取り替えたい」(11.0%)などの要望を抱えており、「特になし」としたのは54.1%であり、約半数近くで何らかの改造を希望していた。

われわれの施設でも、運動器に大きな疾患をもたない65歳以上の女性を集め、1年間の経過観察を行い、転倒についての記録を行ったところ<sup>2)</sup>、82名中29名(35.4%)に延べ66回の転倒を認めた。主に内科疾患で通院中の患者であ

\*なかつち たもつ：大阪市立大学大学院医学研究科リハビリテーション部

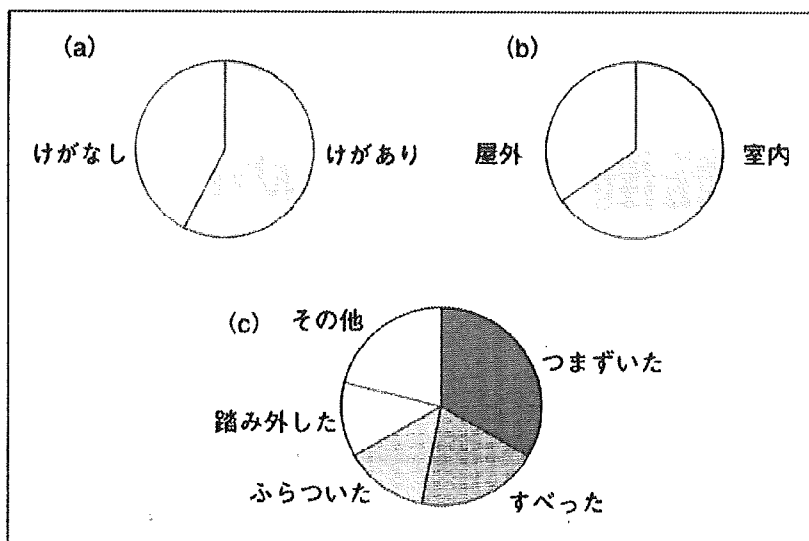


図1 大阪市立大学における高齢者の転倒調査結果  
(a: けがの有無, b: 転倒場所, c: 転倒原因)

り、そのため一般高齢者よりも頻度が高くなったと考えられる。転倒場所としては室内43回、屋外23回でやはり室内が多く、何らかのけがの有無については、あり38回、なし28回であった。転倒の機序としては、やはりつまずくことにより発生することが最も多かった(図1)。

これらの結果より、高齢者の転倒に関しては住環境がいかに重要であるかがわかる。

### ■ 転倒の起こりやすい住環境

それでは、高齢者にとって転倒の起こりやすい、危険な住環境とはいかなるものでしょうか。

そもそも、日本古来の住宅の特徴として、履物を脱いで家に上がることや湿潤な環境でも快適に過せるよう地盤面から床が上がっていることを筆頭に、各部屋と廊下の間にも段差があること、やはり水の流れを考慮してトイレ、炊事場などにも段差をつけてあることなど、いわゆるバリアが家中に多数存在する。

野久尾は、転倒の物理的環境要因として床材の滑り抵抗値に着目しており、同一平面で違う材料が隣り合っている部分を移動する際、滑り抵抗値の差が大きいほど転倒しやすいとしている。また、滑り抵抗値は0.45~0.7が最適値としている<sup>3)</sup>。

また、都会においては住宅面積が狭いために収納場所が確保できず、生活道具が溢れ返り、床、廊下のスペースを奪い、これらがバリアとなっている。また、土地が狭いために住宅が高層化する。最近の住宅であればエレベーターが装備されているが、古いものとなれば4、5階建てでありながら、狭い階段しかない住宅も存在する。

このような環境の中で日々生活を送る高齢者では、常に転倒の危険にさらされており、上記に述べたように何らかの改造を望むことは当然であろう。

それならば、いわゆるバリアフリーの住宅では転倒が起こらないかの問いに対する答えはノーである。あらゆるところに転倒の危険性は存在する。むしろ高齢者の転倒の結果起こる大腿骨頸部骨折は、老健施設などのバリアフリーが整備されている施設の方が多いとされている。高齢者の転倒予防のための住環境を考える上では、当然ながらそこに住む高齢者の運動機能などの内的因子も併せて考える必要があるのである。

### ■ 住環境のチェックポイント

住環境の改善を考える場合、まず出てくるの

表2 在宅高齢者の生活環境のチェックリスト(文献5より引用)

<p>家の出入り口 玄関・縁側が高い</p> <p>床 家具が歩行の妨げになる じゅうたん・こたつ布団などが引っかかりやすい 歩く場所に新聞・座布団などがいつも置いてある 歩く場所に電話線や電気のコードが引いてある 床が滑りやすい 部屋に敷居・段差あり</p> <p>台所 台所の日常用品を高い位置に収納 安定した踏み台を使用</p> <p>寝室 寝室の照明のスイッチが手の届く範囲にある 寝室からトイレまで十分な明かりがとれる</p>	<p>浴室・トイレ 浴室の床や浴槽の底が滑りやすい 浴室に手すりあり 浴室の出入口に段差あり トイレに手すりあり トイレの出入口に段差あり</p> <p>階段 階段に物が置いてある 階段が不安定 階段に十分な明るさがとれる 階段の照明が切れている 階段の上下で照明の操作ができる 階段に手すりあり 階段のじゅうたんが滑る・めくれる</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

表1 住環境整備のための段階別チェックポイント(文献4より引用)

1. 注意力を高める。
2. 家の中を整理する。
3. コード類をまとめる。
4. 履物を変える。
5. カーペット・マットを除去する。  
もしくは滑り止めを敷き、四方を固定する。
6. 間接照明器具を置く。
7. 段差・階段に目印をつける。
8. 手すりをつける。
9. 段差をなくす。

工事なし

工事あり

は住宅改修であるが、これには資金、手間、時間がかかる。その前にどこまで改善すべきかをチェックする必要がある。

安田は、住環境整備に段階別チェックポイントを設けており、注意力を高めるという全く住環境に変化を加えない段階から、工事を行い段差をなくすまで9段階に分けている。まずは「模様替え」程度の簡単なものから始め、必要に応じて福祉用具の活用や住宅改修を行うべき

としている(表1)<sup>1)</sup>。

また市川らは、アメリカ疾病予防センター(CDC)の全国事故防止センター(NCIPC)が開発した“Check for Safety—A home fall prevention checklist for older adults”を基に、生活環境についてのチェックリストを作成している(表2)。これを用いた調査の結果、転倒経験者と非経験者を比較したところ、転倒経験者に多くみられた生活環境は、①じゅうたんやこたつ布団などが引っかかりやすい、②家具が歩行の妨げになる、③玄関や縁側が高い、④浴室の床や浴槽の底が滑りやすいことで、転倒経験者に約3倍多くみられていた<sup>2)</sup>。このあたりの改善が、転倒予防のポイントとなりそうである。

## 住環境の改善方法

それでは、具体的に転倒を予防できる住環境造りはどのように進めていけばいいだろうか。

鈴木らは、高齢者の生活の場における転倒の好発部位のアセスメントと改善方法を、①完全二足歩行の高齢者、②杖使用・伝い歩きの高齢者、③車いす使用の高齢者、と3つの移動形態