

厚生労働科学研究研究費補助金

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

平成18年度 総括研究報告書

主任研究者 禊 史明

平成19(2007)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 袴 史明	

II. 分担研究報告

1. 加速度計を用いた変形性股関節症患者の歩行評価に関する研究	-----	9
	分担研究者 岩城 啓好	

2. 加速度計を用いた人工股関節全置換術患者の歩行評価	-----	12
	分担研究者 中土 保	

III. 研究成果の刊行に関する一覧表	-----	18
---------------------	-------	----

IV. 研究成果の刊行物・別刷	-----	19
-----------------	-------	----

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 梶 史明

研究要旨

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、マーカークの装着が必要で、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す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

マーカー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3つの研究を行い、検討を加えている。

1. 本装置を健常者8名および変股症患者15名に固定し10m歩行させ得られた前後方向、左右方向、上下方向スペクトラム総和を比較したところ低周波領域、高周波領域ともに健常女性と比べて左右方向と前後方向で有意に大きく、変股症患者の歩行動揺の評価への有用性を証明した。
2. 本装置を装着させたTHA患者22名で術前後経時的にデータ収集を行った10m歩行させ得られた前後方向、左右方向、上下方向の各加速度波形を高速フーリエ変換し、スペクトラム総和を比較することにより歩行自立への評価への有用性を示した。
3. 人工股関節患者の女性22人に本システムを装着させ、10mの自由歩行を行い、左右、前後、上下方向の加速度のRoot Mean Square値を算出し術前の値に対する比率(%)を算出し経時的な変化を記録したところ歩行自立に大きく影響していた。
4. 以上で述べたRoot Mean Square値の術前に対する比率(%)の平均値にSD値を足した値を指標としてリハビリメニューを個別化して行い、従来よりも患者個人個人にあったメニューを行い、入院期間を短縮することができ有用であった。

主任研究者
 禔 史明
 四天王寺病院 医師

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
 歓喜会辻外科病院リハビリ科 科長

A. 研究目的

下肢の人工関節手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、また手術により疼痛が改善する効果も大きい。当大学付属病院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。

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、術後約3週間で退院、社会復帰を標準とすることが可能となった。

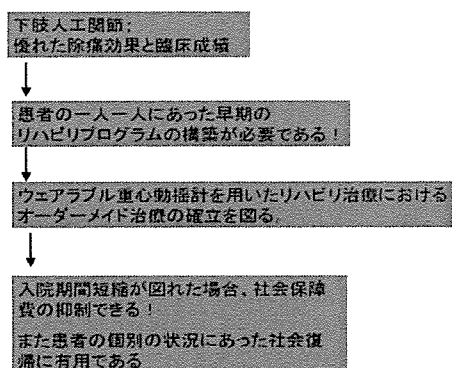
しかしながら、医療はそもそも個別のものであり、強引に標準化を行うことは望ましいことではなく、現在のパスメニューにおいてはもちろんバリエーションを設定し、個別に評価して術後のリハビリテーションを行っているが、十分なエビデンスをもって行っているわけではない。

たとえば、術後数日で歩行器歩行から杖歩行へ進めるが、その際には十分に患側（手術側）に荷重がかかることが必要となる。しかし、その判断は現状では医師、理学療

法士の経験的な判断にゆだねるしかないのである。

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、計測を行うにはマーカーを装着するなどの準備が必要な上、訓練室に行けることが最低条件となる。これは術後早期の計測には適していない。さらに訓練室の限られた空間内で計測を行うため、どうしても自然な歩行にならず、評価方法として望ましいとはいえない。

そこで我々は、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、個別に対応できるシステムを構築することが目的である。



研究方法、結果、考察

研究1. 加速度計を用いた変形性股関節症患者の歩行評価

(方法) 本装置を健常者8名および変股症患者15名に固定し10m歩行させ得られた前後方向、左右方向、上下方向の各加速度波形を高速フーリエ変換し、0~5Hzの低周波領域と5~20Hzの高周波領域におけるそれぞれのスペクトラム総和を比較した。

(結果、考察) 変股症患者のスペクトラム総和は低周波領域、高周波領域ともに健常女性と比べて左右方向と前後方向で有意に大きかった ($P < 0.05$)。上下方向に関して有意差は認めなかった。前後方向および左右方向の加速度波形を高速フーリエ変換して、スペクトラム総和を求める解析方法は、加速度計を用いた変股症患者の歩行動揺の評価として有用性があるといえる。

研究2. 加速度計のスペクトラム値の総和を用いた人工股関節患者の歩行評価

(方法) 本装置を装着させ、THA患者22名で術前後経時的にデータ収集を行った10m歩行させ得られた前後方向、左右方向、上下方向の各加速度波形を高速フーリエ変換し、0~5Hzの低周波領域と5~20Hzの高周波領域におけるそれぞれのスペクトラム総和を比較した。

(結果、考察) %スペクトラム値は独歩では杖歩行に比べて前後方向で有意に大きく ($p < 0.05$)、左右・上下方向も大きい傾向を示した。各指標は股関節外転筋力1.11N/kg、回復率69%、伸展筋力1.25N/kg、回復率77%、疼痛2.8であった。2. 大殿筋筋力と左右、前後、上下方向の%スペクトラム値の間に相関する傾向が認められた。また、

BMI、年齢と左右、前後、上下方向の%スペクトラム値との間にも相関する傾向が認められた。杖歩行では独歩に比べて各方向の%スペクトラム値の減少が顕著であり、杖の使用による歩行動揺の軽減を客観的に示す事ができた。加速度波形に与える影響因子として、股関節伸展筋力、BMI、年齢が認められ、今回用いた各指標が歩行自立判定基準となる事が確認できた。

研究3. 加速度計のRoot Mean Square値を用いた人工股関節患者の歩行評価

片側罹患あるいは両側罹患であるが、反体側に股関節痛がない人工股関節患者の女性22人(平均56.8歳)に本システムを装着させ、10mの自由歩行を行い、左右、前後、上下方向の加速度のRoot Mean Square値を算出し術前の値に対する比率(%)を算出し経時的な変化を記録した。同時に、%スペクトラム値(研究6.参照)、年齢、BMI、疼痛スコア(100点満点)、外転筋力、伸展筋力を測定した。

(結果、考察) 歩行器自立、一本杖自立、独歩自立にもっとも大きい影響を与えていた因子は左右、前後、上下方向の加速度のRoot Mean Square値と年齢であった。左右、前後、上下方向の全てがRoot Mean Square値の術前比率の値が、その平均値+SD値を下回ったところでリハビリ段階を引き上げるとすると、約90%の患者が当てはまることがわかった。また、もっともリハビリ後の動揺性に影響を与えている因子は年齢であることがわかった。

研究4. 加速度計のRoot Mean Square値を指標とした人工股関節患者リハビリメニューの有用性

(方法) 人工股関節患者15名に対し、研

究3で得られたデータより歩行器、杖、自由歩行自立の各時点でのRMS値+SD値を下回ったところでリハビリを次の段階へすすめるという個別メニューでリハビリを行った。

(結果、考察) 退院可能と思われる一歩杖での100歩行の自立は平均9.2±4.6日(3~17)と従来のパスの目標である21日よりも大幅な短縮が可能であった。その一方で高齢者では、パスメニューに遅れを生じる例も観察され画一的にクリニカルパスによるリハビリを行うことの問題点があると思われた。

全体的結論；体に装着することができ、歩行時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歩行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。その結果、THA術後患者を経験に基づいた主観的評価ではなく、歩行のなめらかさや、動揺性を客観的に評価することが可能であり、特に加速度のRoot mean square値は術後リハビリ自立の指標になることが示された。現在、加速度のRoot mean square値に基づいたリハビリメニューを実践評価したところ、大幅な退院可能になる日数が短縮できた。今後の展開としては、THA患者のみならずその他の疾患の評価に本装置を応用していきたいと考えている。

【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

[禰史明]

学会発表

高度骨欠損を有するTKAに対し、3次元造型モデルによる術前計画が有用であった1例
渭川徹秀, 岩城啓好, 小林章郎, 禰史明, 高岡邦夫
中部日本整形外科学会災害外科学会雑誌49巻6号 P1149-1150(2006.11)

臨床使用を目的としたテイクプラニン含有骨セメントの基礎的研究 -バンコマイシンとの比較

禰史明, 小林章郎, 岩城啓好, 橋本祐介, 岩切健太郎, 大田陽一, 高岡邦夫, 田村隆, 田邊裕治, 堤武彦
日本骨・関節感染症学会プログラム・抄録集29回 P60(2006.06)

Patellar Clunk Syndromeの発生要因についての検討

福永健治, 小林章郎, 間中智哉, 洲鎌亮, 岩城啓好, 門口竜司, 岩切健太郎, 大田陽一, 禰史明, 高岡邦夫
日本整形外科学会雑誌80巻4号 PS477(2006.04)

人工股関節におけるナビゲーション(NAVI)を用いた臼蓋カップ設置角度の検討

禰史明, 岩城啓好, 小林章郎, 岩切健太郎, 大田陽一, 高岡邦夫
日本整形外科学会雑誌80巻4号 PS466(2006.04)

高齢女性の下肢アライメントの検討

洲鎌亮, 小林章郎, 箕田行秀, 岩城啓好, 禰史明, 多田昌弘, 岩切健太郎, 大田陽一, 中川滋, 格谷義徳, 高岡邦夫
Source : 日本整形外科学会雑誌80巻3号 PS

97(2006. 03)

雑誌

臨床使用を目的としたテイコプラニン含有骨セメントの基礎的研究 バンコマイシンとの比較

禰史明, 小林章郎, 岩城啓好, 岩切健太郎, 高岡邦夫, 田村隆, 田邊裕治, 堤武彦
日本骨・関節感染症学会雑誌20巻 P97-100 (2006. 11)

ナビゲーションTHA CT-based Measurement Systemを用いてのTHA術後カップ設置角の検討

禰史明, 岩城啓好, 小林章郎, 岩切健太郎, 大田陽一, 福永健治, 渭川徹秀, 高岡邦夫, 大橋弘嗣
日本人工関節学会誌36巻 P314-315 (2006. 12)

TKA TKA後のPatellar clunk syndromeの発生要因

福永健治, 小林章郎, 間中智哉, 洲鎌亮, 岩城啓好, 岩切健太郎, 大田陽一, 禰史明, 高岡邦夫
日本人工関節学会誌36巻 P268-269 (2006. 12)

高齢女性において下肢Mechanical Axisはどこを通過するか

洲鎌亮, 小林章郎, 箕田行秀, 岩城啓好, 禰史明, 多田昌弘, 岩切健太郎, 大田陽一, 高岡邦夫, 中川滋, 格谷義徳
日本人工関節学会誌36巻 P264-265 (2006. 12)

CT-free Fluoro-based Navigation Systemを用いたTHAにおける臼蓋カップ設置角度の検討

禰史明, 岩城啓好, 小林章郎, 岩切健太郎, 大田陽一, 福永健治, 渭川徹秀, 高岡邦夫, 大橋弘嗣
日本人工関節学会誌36巻 P250-251 (2006. 12)

Well-functioning THA患者におけるHighly cross-linked PE摩耗粉の特徴

洲鎌亮, 岩城啓好, 小林章郎, 禰史明, 多

田昌弘, 岩切健太郎, 高岡邦夫
Hip Joint (0389-3634) 32巻 P509-512 (2006. 10)

[岩城啓好]

解説

特発性大腿骨頭壊死の診断と治療のガイドライン

岩城啓好, 高岡邦夫
リウマチ科36巻2号 P226-233 (2006. 08)

雑誌

TKA後のPatellar clunk syndromeの発生要因

福永健治, 小林章郎, 間中智哉, 洲鎌亮, 岩城啓好, 岩切健太郎, 大田陽一, 禰史明, 高岡邦夫
Source : 日本人工関節学会誌36巻 P268-269 (2006. 12)

RisedronateによりTHA後の大腿骨骨量減少は抑制されるか

渭川徹秀, 岩城啓好, 大橋弘嗣, 小池達也, 高岡邦夫
日本人工関節学会誌36巻 P126-127 (2006. 12)

3DテンプレティングシステムHip-opの有用性の検討

間中智哉, 岩城啓好, 小林章郎, 高岡邦夫
Source : 日本人工関節学会誌36巻 P100-101 (2006. 12)

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
日本臨床バイオメカニクス学会誌27巻 P343-346 (2006. 10)

人工関節の術前計画における3DテンプレティングシステムHip-opの有用性に関する検討

間中智哉, 岩城啓好, 小林章郎, 高岡邦夫
Source : Hip Joint 32巻 P456-459 (2006. 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, 村西壽洋, 岩城啓好,
高岡邦夫
Hip Joint32巻Suppl. P97-100(2006. 10)

人工股関節再置換術における臼蓋側骨欠損
に対する対策
大橋弘嗣, 松浦正典, 榎原恒之, 高浩範,
岩城啓好, 高岡邦夫
中部日本整形外科災害外科学会雑誌49巻4
号 P649-650(2006. 07)

学会発表
ステロイド誘発特発性大腿骨頭壊死症の発
生素因 家兔での高脂血症治療薬予防投与
とステロイド誘発骨壊死発生との相関
岩切健太郎, 金城養典, 政田俊明, 岩城啓
好, 高岡邦夫
日本整形外科学会雑誌80巻8号 PS1023(200
6. 08)

ステロイド代謝能の個体差と骨壊死
金城養典, 小田裕, 岩切健太郎, 政田俊明,
岩城啓好, 高岡邦夫
日本整形外科学会雑誌80巻8号 PS893(2006.
08)

全人工膝関節置換術における大腿骨前方皮
質Notching ナビゲーションシステムでの
検討
箕田行秀, 小林章郎, 岩城啓好, 格谷義徳,
洲鎌亮, 岩切健太郎, 高岡邦夫
日本整形外科学会雑誌80巻4号 PS482(2006.
04)

肝薬物代謝酵素(CYP3A)活性低下はステロ
イド性大腿骨頭壊死症発生の主要な原因で
ある
金城養典, 小田裕, 岩切健太郎, 政田俊明,
岩城啓好, 廣田良夫, 高岡邦夫
日本整形外科学会雑誌80巻3号 PS89(2006.
03)

加速度計を用いた人工股関節置換術後患者
における段差降下動作の評価の検討
加藤良一, 今久保伸二, 赤松波子, 中土保,
岩城啓好
理学療法学33巻Suppl. 2 P327(2006. 04)

人工股関節再置換術における臼蓋側骨欠損
に対する対策
大橋弘嗣, 松浦正典, 榎原恒之, 高浩範,
岩城啓好, 高岡邦夫
中部日本整形外科災害外科学会雑誌49巻春
季学会 P25(2006. 03)

[小林章郎]
雑誌
【スポーツ医学の最近の話題と展望】身体
障害者のスポーツ 冬季競技
大久保衛, 小林章郎
関節外科25巻10月増刊 P195-202(2006. 10)

Alumina製Medial Pivot型人工膝関節
小林章郎(大阪市立大学 整形), 格谷義徳,
箕田行秀, 岩切健太郎, 岩城啓好, 大田
陽一, 徳原善雄, 禰史明, 橋本祐介, 高岡
邦夫
日本リウマチ・関節外科学会雑誌25巻3号
P322(2006. 10)

人工膝関節の進歩とバイオメカニクス 人
工膝関節置換術におけるSagittal Planeで
の至適コンポーネント設置位置について
小林章郎, 箕田行秀, 洲鎌亮, 岩城啓好,
岩切健太郎, 大田陽一, 禰史明, 格谷義徳,
高岡邦夫
日本整形外科学会雑誌80巻3号 PS62(2006.
03)

[中土保]
雑誌
脳血管障害片麻痺患者における肩関節麻痺
性亜脱臼の病態(筋電図学的検討)
島津晃, 中村幹男, 久保井広志, 吉川智加
男, 八木敬子, 中土保
大阪医学40巻1号 P5-10(2006. 07)

【知的財産権の出願・登録状況】
なし

加速度計を用いた変形性股関節症患者の歩行評価

分担研究者 大阪市立大学医学研究科整形外科 岩城啓好

はじめに

変形性股関節症(以下HIP OA)患者は様々な要因によりトレンデレンブルグ歩行に代表される跛行を示す。その歩行評価は医師や理学療法士の経験に基づいて主観的に行われている側面がある。従来の定量的な歩行解析方法としては、三次元動作解析装置や床反力計などが使用されてきた⁹⁾。しかし、これらは詳細な動作解析は可能であるが、高価、煩雑、大型、測定条件が限定されるといった問題点を抱えており、臨床応用に適していない面を持つ。最近新たな歩行解析方法として、測定において自由度の高い加速度計を用いた歩行評価に関する報告を目にする^{1,2,3)}。そこで、我々は屋外にも携帯が可能であらゆる日常生活動作が測定可能な小型ウェアラブル加速度センサー内蔵ポータブル動作解析器を開発した。今回は加速度波形を周波数解析して求めたスペクトラムを歩行動揺性の指標として用いHIP OA患者と健常者を比較した。結果、客観的な歩行評価の有用性を確認したので報告する。

対象

対象は本研究に対して同意を得られた健常女性8名および女性片側HIP OA患者16名。健常女性の平均年齢は40.4±11.5歳。平均身長は157.5±4.3cm。平均体重は51.3±3.6kg。HIP OA患者の平均年齢は59.9±9.3歳。

平均身長は152.1±7.4cm。平均体重は53.3±7.0kgであった。

方法

ウェアラブル加速度センサー内蔵ポータブル動作解析器(松下電器産業株式会社製)は2軸の加速度センサーを2つ直交するように設置して3軸を成し、箱型の加速度センサーユニットを構成している。それは7cm、150gと小型化されており、Bluetoothを用いホスト端末に逐次無線収集され、システムソフトウェア上に前後・左右・上下方向の加速度波形を表示することが可能である。ホスト端末にはノート型パソコンを使用した。以上より、我々のポータブル動作解析器は携帯が非常に簡便であらゆる動作の測定を可能にした。またサンプリング周波数は62Hzである(図1)。

加速度センサーユニットは専用ベルトに固定され、対象者のL2-3付近に装着して、10mの自由歩行を測定した(図2)。

図1 ウェアラブル加速度センサー内蔵ポータブル動作解析器

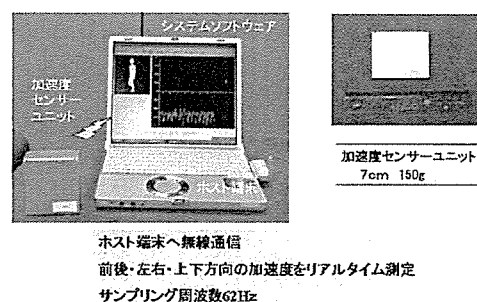
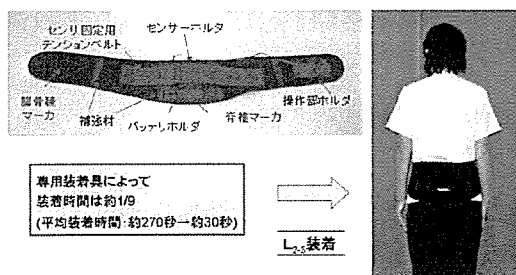


図2 専用装着具および装着方法



得られた各方向の加速度波形うち定常状態にある 512 ポイントを選択して、高速フーリエ変換を行った (図3)。0~5Hz の低周波領域と 5~20Hz の高周波領域におけるそれぞれのスペクトラム総和を求め、10m 歩行速度で補正したものを歩行動揺の指標にした。そして健常女性と HIP OA 患者のスペクトラム総和の比較を行なった。

図3 歩行時の加速度データ

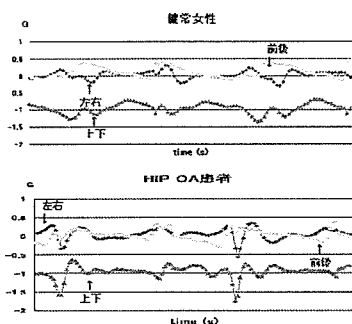
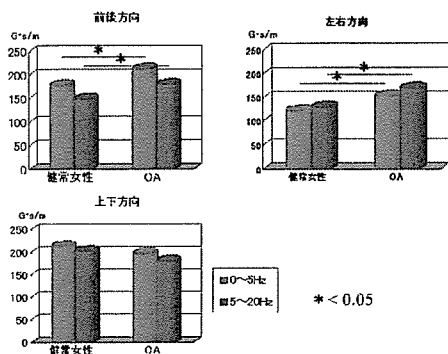


図4 スペクトラム総和



結果

低周波領域スペクトラム総和は前後方向において健常女性は 177.4 ± 34.8 (G·s/m)、HIP OA患者は 213.3 ± 42.1 (G·s/m)。左右方向において健常女性は 121.8 ± 32.4 (G·s/m)、HIP OA患者は 152.8 ± 34.6 (G·s/m)。上下方向において健常女性は 213.4 ± 42.9 (G·s/m)、HIP OA患者は 197.4 ± 51.7 (G·s/m)であった。

高周波領域スペクトラム総和は前後方向において健常女性は 149.1 ± 19.5 (G·s/m)、HIP OA患者は 181.1 ± 50.5 (G·s/m)。左右方向において健常女性は 130.0 ± 23.0 (G·s/m)、HIP OA患者は 170.1 ± 53.7 (G·s/m)。上下方向において健常女性は $203. \pm 60.0$ (G·s/m)、HIP OA患者は 181.0 ± 71.8 (G·s/m)であった。

低周波領域および高周波領域ともにHIP OA患者は健常女性と比べて左右方向と前後方向で有意に大きかった ($P < 0.05$)。上下方向に関して有意差は認めなかった (図4)。

考察

臨床において歩行不安定性や歩容異常を呈す患者に対する歩行評価は医療従事者の観察による主観的な評価が一般的である。従来の定量的な動作解析装置として三次元動作解析装置や床反力計があるが、詳細な分析では優れているものの、高価で測定条件が限定されるため臨床応用には問題点を抱えている⁵⁾。

本研究の目的は我々が開発したウェアラブル加速度センサー内蔵ポータブル動作解析器がそれら問題点を解決する新たな歩行評価として有用性を持つことを確認することであった。測定は従来の動作解析装置と

比べ、簡便で計測時間も非常に短縮できた。加速度データの解析方法は実際の波形は複雑であり解析は困難であった。したがってスペクトラム解析を高速フーリエ変換にて行った。このスペクトラム解析はJan H Waarsingらによって加速度計による歩行安定性評価として有用性が示されている²⁾。また歩行円滑性の低下は5Hz以上のスペクトラムの増加として現れるために⁴⁾、0~5Hzの低周波領域と5~20Hzの高周波領域それぞれの比較を行った。HIP OA患者は低周波領域、高周波領域ともに健常女性と比べて左右方向と前後方向で有意に大きいという結果を得た。以上よりウェアラブル加速度センサー内蔵ポータブル動作解析器は歩行動揺性の評価として有用であることが確認できた。

今後は小型かつポータブル可能であり測定環境を選ばないメリットを生かして、屋外や不安定な路面での歩行評価、杖や歩行器を使用しての歩行、あるいは階段昇降といったあらゆる日常生活動作を対象にした臨床応用を探っていきたい。

新たな定量的な評価方法として、医療従事者が客観的に評価できれば高いエビデンスの裏付けが困難なリハビリテーション医療分野において、EBMの観点から見ても非常に有益であると思われる。またリハビリテーションプログラムを安全かつ効率的に進めることができ、患者個々に合わせたオーダーメイドリハビリテーションを展開することも可能であると考えられる。

結語

今回、我々が開発した小型ウェアラブル加速度センサー内蔵ポータブル動作解析器を用いてHIP OA患者の歩行動揺性を評価した。解析方法は高速フーリエ変換によるスペクトラム解析を用いた結果、歩行動揺性評価として有用性がある事が確認できた。今後は本解析器のメリットを生かしてあらゆる日常生活動作を対象とした臨床的応用を検討していきたい。

引用文献

- 1) Bernard AUVINET et al : Accelerometric Gait Analysis for Use in Hospital Outpatients . REVUE DU RHUMATISME [Engl. Ed.] : 389-397, 1999.
- 2) Jan H. Waarsing et al : Quantifying the Stability of walking Using Accelerometers . 18th Annual International Conference of the IEEE Engineering and Biology Society, Amsterdam : 469-479, 1996.
- 3) M Majewski et al : Improvement in balance after total hip replacement. Journal of Bone and Joint Surgery, 87 : 1337-1343, 2005.
- 4) 鈴木三夫ほか: 脊椎疾患診療の床反力周波数分析. 医療, 53 : 307-323, 1999.
- 5) 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, 199

加速度計を用いた人工股関節全置換術患者の歩行評価

分担研究者 歓喜会社外科病院 リハビリテーション科 中土保

はじめに

歩行評価は医師や理学療法士の経験に基づいて主観的に行われている側面があり様々な客観的な評価方法が検討されている。従来の定量的な歩行解析方法として三次元動作解析装置や床反力計などが用いられており、人工股関節全置換術（以下THA）後患者においても歩行中の股関節伸展角度の減少⁶⁾、外転モーメント⁸⁾の減少など様々な歩行解析結果が報告されている。このように詳細な解析は可能であるが高価、煩雑、大型、測定条件が限定され、杖や歩行器を使用すると計測が困難になるといった問題点を抱えており、臨床応用に適していない面を持つ。最近新たな歩行解析方法として、測定において自由度の高い加速度計を用いた歩行評価に関する報告を目にする^{1,2,5,7,11)}。そこで我々は屋外にも携帯が可能であらゆる日常生活動作が測定可能な小型ウェアラブル加速度センサー内蔵ポータブル動作解析器を開発した⁴⁾。そして既に変形性股関節症（以下HIP OA）患者において客観的な評価の有用性を確認している³⁾。

本研究の目的は

- 1) THA 患者における術後の歩行能力を客観的に評価すること
- 2) 歩行安定性に与える影響因子を検討することである。

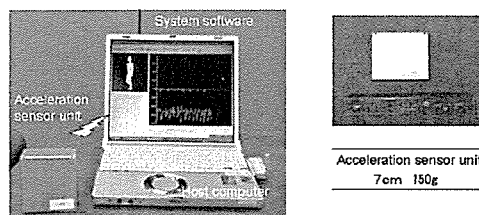
対象

対象は本研究に対して同意を得られた女性片側THA患者20名。平均年齢は56.9±10.3歳、平均身長は153.3±5.5cm、平均体重は53.5±6.2kg、平均BMIは22.4±2.8であった。再置換術、反体側股関節が疼痛など症状を有する者は除外した。

方法

ウェアラブル加速度センサー内蔵ポータブル動作解析器（松下電器産業株式会社製）は2軸の加速度センサーを2つ直交するように設置して3軸を成し、箱型の加速度センサーユニットを構成している。それは7cm、150gと小型化されており、Bluetoothを用いホスト端末に逐次無線収集され、システムソフトウェア上に前後・左右・上下方向の加速度波形を表示することが可能である。ホスト端末にはノート型パソコンを使用した。以上より本動作解析器は携帯が非常に簡便であらゆる動作の測定を可能にした。またサンプリング周波数は62Hzである（図1）。

Figure 1 portable motion analysis system with a built-in wearable accelerometer



Wireless communication to host computer
Acceleration in front-back, left-right, above-below
is measured by real-time monitor
Sampling frequency 62Hz

加速度センサーユニットは専用ベルトに固定され、対象者のL2-3付近に装着した(図2)。測定は10mの自由歩行を行い各方向の加速度波形を得た(図3)。測定時期は術前(独歩)、術後の歩行器自立時(歩行器使用)、一本杖開始時(一本杖使用)、一本杖自立時(一本杖使用)、退院時(独歩)とした。

Figure 2 Sensor fixation

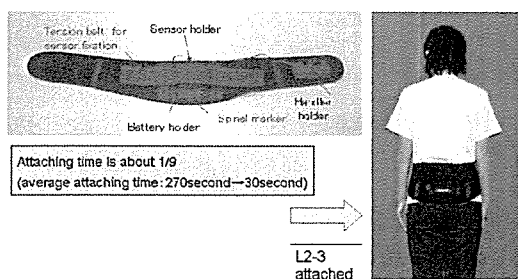


Figure 3 Acceleration data during gait

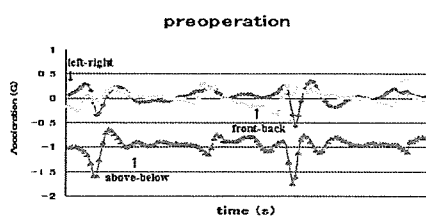
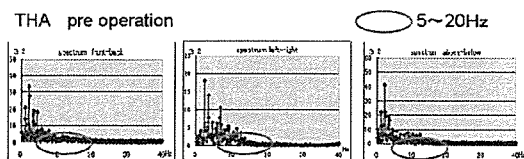


Figure 4 Power-spectrum analysis



Index for gait disturbance

$$S = G/V^2$$

$$\% \text{ spectrum} = S(\text{post operative}) / S(\text{pre operative})$$

G: 5~20Hz spectrum total sum

V: 10m gait velocity

加速度波形の解析方法

Jan H Waarsingらによってパワースペクトラム解析の歩行安定性評価としての有用性が示されている²⁾。定常状態にある加速度データのうち512ポイントを選択して、高速フーリエ変換にてパワースペクトラム解析を行った。また歩行円滑性の低下は5Hz以上のスペクトラムの増加として現れる⁹⁾のために5~20Hzの高周波領域におけるそれぞれのパワースペクトラム総和を求め、10m歩行速度の二乗で補正した。術前の独歩時のスペクトラム総和を分母にして、術後の各歩行時期のスペクトラム総和を分子としたその割合を%スペクトラムとして歩行動揺の指標にした(図4)。そして術後の各歩行時期の%スペクトラムを比較することで歩行能力向上を客観的に評価した。

計測項目

- ① 上記方法で求めた%スペクトラム
- ② ハンドヘルドダイナモメーターにて測定した股関節外転筋力及び伸展筋力
 - a. 体重で除した値(N/kg)
 - b. 術前に対する回復率(%)
- ③ Visual Analog Scale (VAS) で求めた疼痛 score
- ④ 年齢
- ⑤ BMI

また②~④のパラメーターについては各歩行時期の%スペクトラムとの相関関係を調べ、歩行動揺に与える影響因子を検討した。

結果

1. %スペクトラム (図5)

前後方向において歩行器自立時 $67.1 \pm 49.3\%$ 、一本杖開始時 $89.3 \pm 47.5\%$ 、一本杖自立時 $69.2 \pm 33.0\%$ 、退院時 $84.4 \pm 51.9\%$ であった。

左右方向において歩行器自立時 $87.0 \pm 47.0\%$ 、一本杖開始時 $126.9 \pm 68.2\%$ 、一本杖自立時 $99.0 \pm 77.9\%$ 、退院時 $75.1 \pm 34.0\%$ であった。

上下方向において歩行器自立時 $78.8 \pm 40.1\%$ 、一本杖開始時 $121.7 \pm 126.0\%$ 、一本杖自立時 $76.2 \pm 42.6\%$ 、退院時 $77.3 \pm 40.7\%$ であった。

3方向ともに一本杖自立時は開始時に比べて有意に低下しており ($P < 0.05$)、退院時は術前と比較して有意な低下を認めた ($P < 0.05$)。

3方向ともに歩行器自立時で低下し、一本杖開始時に増加するもののその後低下していく傾向を示した。

2. 股関節外転筋力および伸展筋力

a. 体重で除した値 (N/kg)

股関節外転筋力は歩行器自立時 0.75 ± 0.30 (N/kg)、一本杖開始時 0.90 ± 0.33 (N/kg)、一本杖自立時 1.16 ± 0.33 (N/kg)、退院時 1.56 ± 0.43 (N/kg) であった。

股関節伸展筋力は歩行器自立時 0.72 ± 0.36 (N/kg)、一本杖開始時 0.90 ± 0.34 (N/kg)、一本杖自立時 1.29 ± 0.41 (N/kg)、退院時 1.75 ± 0.53 (N/kg) であった。

b. 術前に対する回復率 (%)

股関節外転筋力は歩行器自立時 46.9 ± 17.1 (%)、一本杖開始時 56.4 ± 19.8 (%)、一本杖自立時 72.4 ± 22.5 (%)、退院時 100.6 ± 39.6 (%) であった。

股関節伸展筋力は歩行器自立時 44.8 ± 25.7 (%)、一本杖開始時 54.5 ± 23.6 (%)、一本杖自立時 78.7 ± 27.6 (%)、退院時 106.5 ± 36.4 (%) であった。

3. 疼痛

歩行器自立時 3.2 ± 2.5 、一本杖開始時 2.4 ± 2.1 、一本杖自立時 1.3 ± 1.5 、退院時 2.1 ± 2.7 であった。

4. %スペクトラムと各パラメーターの相関関係 (図6)

歩行器自立時において%スペクトラムの上下方向と疼痛の間にやや強い正の相関が認められた ($r=0.59$ $p < 0.05$)。前後 ($r=0.42$ $p < 0.1$) および左右方向 ($r=0.43$ $p < 0.1$) も相関する傾向が認められた。筋力、年齢、BMIに相関関係は認められなかった。

一本杖自立時において%スペクトラムの前後方向と股関節外転筋力回復率の間にやや強い負の相関が認められた ($r=-0.61$ $p < 0.05$)。

退院時においては%スペクトラムの前後方向と股関節外転筋力回復率の間にやや強い負の相関が認められた ($r=-0.54$ $p < 0.05$)。また上下方向にもやや強い負の相関を示した ($r=-0.59$ $p < 0.05$)。%スペクトラムの上下方向は股関節外転筋力 ($r=-0.64$ $p < 0.05$)、股関節伸展筋力 ($r=-0.44$ $p < 0.05$) に関しても相関を示した。

さらに年齢が%スペクトラム上下方向と正の相関を示し ($r=0.51$ $p < 0.05$)、BMIが%スペクトラム左右方向と正の相関を示した ($r=0.45$ $P < 0.05$)。

Figure 5 Process of % spectrum

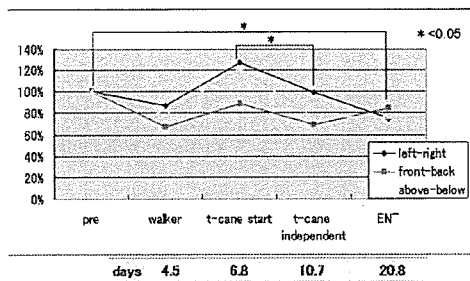
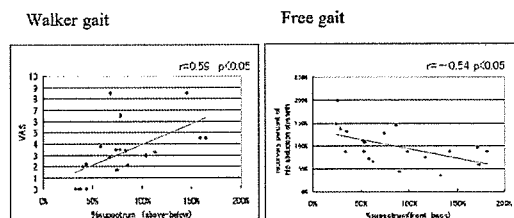


Figure 6 Correlation between % spectrum and other parameters



考察

従来から使用されてきた動作解析装置として三次元動作解析装置や床反力計があるが、高価かつ施設設置型のため臨床応用に問題点を抱えている^{6, 8, 9, 10)}。そこで最近、安価で小型化され測定環境が限定されない加速度計を用いた歩行評価が注目を浴びている。小椋らは健常若年者を対象に歩行時の骨盤加速度には対象者個人および対象者全体の平均値に共通した特徴的なパターンが存在することを明らかにしている⁷⁾。またBernard Aらは歩容異常のある膝・股関節疾患患者に対し加速度計を用いた歩行分析を行いその有効性を示している¹⁾。さらに歩行時の体幹加速度に波形解析を加え作成した歩行指標が変形性股関節患者の歩容異常の客観的評価に有用である¹²⁾との報告もあり、加速度計は新たな歩行解析方法としての可

能性を大いに秘めている。そこで我々はウェアラブル加速度センサー内蔵ポータブル動作解析器を開発し既にHIP OA患者において客観的な評価の有用性を確認している³⁾。

本研究で歩行動揺の指標とした%スペクトラムの術後経過は、歩行器自立時では動揺は非常に小さかった。しかし一本杖開始時には動揺は大きくなり、一本杖歩行が自立した段階になると観察によっても動揺は減少しており、%スペクトラムも減少していた。退院時には術前よりも%スペクトラムは小さくなった。したがって先行研究同様、我々の開発した加速度センサー内蔵ポータブル動作解析器はTHA患者において術後の歩行能力改善を客観的に評価できたと考えられる。

また術後の%スペクトラムの改善に比例して、股関節外転筋力、伸展筋力および疼痛も改善した。これらの相関関係を求め歩行安定性に与える影響因子を検討したところ、以下のような興味深い結果を得られた。つまり歩行器自立時は筋力に相関はなく疼痛に正の相関が得られ、歩行器を用いれば下肢の筋力低下を上肢で代償できるためと考えられる。よって術後超早期の段階では、筋力増強よりも疼痛コントロールに重点をおくべき事が示唆される。しかし一本杖歩行では股関節外転筋力が歩行安定性に影響するようになり、さらに独歩では外転筋のみならず伸展筋も相関関係が認められた。これは渡邊らによるTHA後の独歩で体幹垂直加速度と股関節外転筋力の間に正の相関関係が認められる¹¹⁾という報告と同じ結果を示している。疼痛は相関を示さず、この段階になると疼痛よりも筋力の要素が重要になってくる。以上より各歩行時期で歩行

動揺に与える影響因子は異なり、股関節外転筋力の低下が歩容異常にいかに関与しているかを再確認することができた。

他にも独歩では年齢やBMIといった身体的要因も歩行安定性に影響を及ぼしているという結果は非常に興味深く、全患者がクリニカルパスによって同一のリハビリテーションプログラムを施行する現状を再考すべきではないだろうか。

今後は小型かつポータブル可能であり測定環境を選ばないメリットを生かして、屋外や不安定な路面での歩行評価、あるいは階段昇降といったあらゆる日常生活動作を対象にした臨床応用を探っていきたい。

新たな定量的な評価方法としてエビデンスを高めることでリハビリテーションプログラムを安全かつ効率的に進めることができ、患者個々に合わせたオーダーメイドリハビリテーションを展開することも可能であると考えられる。

結語

我々は携帯可能であらゆる日動生活動作を測定できる加速度センサー内蔵動作解析器を開発し、THA患者における術後の歩行能力を客観的に評価することができた。また歩行器歩行時は疼痛、杖歩行および独歩時は股関節外転筋、年齢、BMIに%スペクトラムとの相関関係が認められ、術後の各歩行段階で歩行安定性に与える影響が異なることが示唆された。

今後は本動作解析器のメリットを生かしてさらなる臨床応用を探っていきたい。

引用文献

- 6) Bernard A, Denis C et al. : Accelerometric Gait Analysis for Use in Hospital Outpatients. REVUE DU RHUMATISME[Engl. Ed.] : 389-397, 1999.
- 7) Jan H. Waarsing, Ruth E. Mayagoitia et al. : Quantifying the Stability of walking Using Accelerometers. 18th Annual International Conference of the IEEE Engineering and Biology Society, Amsterdam : 469-479, 1996.
- 8) 加藤良一、岩城啓好他 : 加速度計を用いた変形性股関節患者の歩行評価. Hip Joint Supplement, 33 : 2006(投稿中)
- 9) 松下直史、大橋弘嗣他 : ポータブル動作解析機の人工股関節全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 : 431-436, 2005
- 10) M Majewski, H. A. Bischoff-Ferrari et al. : Improvement in balance after total hip replacement. Journal of Bone and Joint Surgery, 87:1337-1343, 2005.
- 11) 南角学、神先秀人他 : 術後早期における人工股関節置換術患者の歩行分析—歩行中の股関節伸展角度の減少が重心移動に及ぼす影響—. 理学療法科学 20 : 121-125, 2005
- 12) 小椋一也、大淵修一他 : 通常歩行時の骨盤加速度に注目した歩行分析—若年者における歩行時加速度の特徴的パターンの同定に関する検討—. 理学療法科学 20 : 171-177, 2005
- 13) 臨床歩行分析研究会編 : 関節モーメントによる歩行分析 : 135-144, 1997
- 14) 鈴木三夫、斉藤正史他 : 脊椎疾患診療の床反力周波数分析. 医療, 53 : 307-323, 1999.

- 15) 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.
- 16) 渡邊裕之、二見俊郎他:人工股関節全置換術後の下肢筋力と脚長差が歩行時体幹垂直加速度に与える影響. 日本人工関節会誌 35 : 261-262, 2005
- 17) 山田実、平田総一郎他:体幹加速度由来歩容指標による歩容異常の評価—歩容指標の変形性股関節患者と健常者との比較, および基準関連妥当性—. 理学療法学 33 : 14-21, 2006

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
今久保伸二、中土保、村西嘉祥、岩城啓好、高岡邦夫	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	日本臨床バイオメカニクス誌	Vo. 27 No. 2	343-346	2006
今久保伸治、中土保、村西嘉祥、岩城啓好、高岡邦夫	人工股関節患者の早期回復を可能とする要因は？	Hip Joint	32巻	97-100	2006

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^{※1} 中土 保^{※1} 村西 壽祥^{※2} 岩城 啓好^{※3} 高岡 邦夫^{※3}

Postoperative in the ground reaction force on standing up
in patients with THA.

Shinji IMAKUBO, PT., Tamotu NAKATUTI, MD., Hisayoshi MURANISHI, PT.,
Hiroyoshi IWAKI, MD., Kunio TAKAOKA, MD.

Abstract

We investigated the asymmetry of standing up, as well as muscular power change in 26 THA patients treated between October 2004-July 2005. All subjects were female and the average age was 63 years old. Recovery of the abductor muscle was obtained 11 days postoperatively, and recovery of the extensor muscle was obtained 19 days postoperatively. The difference in ground reaction force was noted in 70% or more of the patients at discharge from hospital. Postoperative exercises performed by the patient should attempt to achieve asymmetric improvement.

Key words : stand up, THA, muscle strength, floor reaction force.

※1 大阪市立大学医学部附属病院 リハビリテーション部

〒545-0051 大阪市阿倍野区旭町1-5-7

※2 関西医科専門学校

〒530-0053 大阪市北区末広町3-27

※3 大阪市立大学大学院 医学研究科整形外科

〒545-8585 大阪市阿倍野区旭町1-4-3

Corresponding Author : shinji IMAKUBO, PT.

Division of Rehabilitation Osaka City University Medical School

1-5-7 Asahimati, Abeno-ku, Osaka, Japan

Tel : 06-6645-2386 Fax : 06-6646-1730

E-mail address : sin@med.osaka-cu.ac.jp