

3 次元 Video 画像解析によるリハビリテーション医学への応用 (2)

Study for Medical Rehabilitation Science using 3-D Video Image Analysis (2)

鶴 岡 政 子*・森 英 二**・柴 崎 亮 介*・村 井 俊 治*

Masako TURUOKA, Eiji MORI, Ryosuke SIBASAKI and Shunji MURAI

1. は じ め に

リハビリテーション医学の展開を考えると、麻痺疾患を持つ患者の身体運動機能の評価を行うには、外科学、神経学、生理学に加えて、運動学、運動力学を身体の動きに応用したバイオメカニクス解析が重要である^{1)~3)}。

平衡を保ちながら姿勢を保持する能力⁴⁾、椅子から立ち上がる動作、階段の昇降、歩行等日常生活における基本動作の運動障害の程度、機能回復過程の客観的理解を促し、運動療法のメニュー作成を容易にし、回復への希望指標を明示する。

本報告では、患者が椅子から立ち上がる動作を2台の非測定用 CCD Video Camera (60コマ/秒) で撮影した Stereo Video 画像を使用し、3次元解析写真測量 BirdMan System (Bundle Adjustment 法, Self Calibration) を応用させ、身体関節計測点の動きの3-D値を求めた。画像より得られた時系列データより、次の4視点から動きの3次元バイオメカニクス解析による麻痺疾患の軽症、重症者の比較を行った。

- 1) Stick Model Picture
- 2) 膝関節角度変化, 角速度変化
- 3) 慣性モーメント変化
- 4) 運動エネルギー変化

2. 片麻痺患者の椅子から立ち上がる動作の Stereo Video 画像解析

病院内のリハビリテーションセンターでの撮影方法および、左右の Video Tape から3次元解析値を求める方法、経過はすでに報告した¹⁾。

写真1は入院中の重症片麻痺患者(女性56歳, 身長148cm, 体重52.8kg, 自立歩行不可能, 車椅子使用)で、写真2は、軽症片麻痺患者(男性56歳, 身長166cm, 体重66.5kg, 自立歩行不可能, 車椅子使用)である。

Video 画像解析の基本ポイントは次に示す。

- 1) 画像 A/D 変換後、図1のように画面全体の輝度値のシフト量を up し、0の輝度値を排除した輝度値分布を作成、次に関節点の計測箇所の輝度値を0(黒色)とする。結果、計測点のみ黒色で、背景は白色とする2値化画像を得て、計測が可能となる。患者に負担をかけない方法で、



写真1 重症片麻痺患者 Video 画像



写真2 軽症片麻痺患者 Video 画像

* 東京大学生産技術研究所 第5部

** 国立療養所東埼玉療院 理学診療科

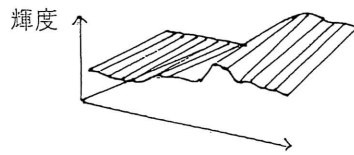


図1 輝度値分布

白色球の計測点とのコンストラクトが衣服着用, 撮影背景を黒色にし, ノイズをあらかじめ避けた画像撮影ができる撮影用の部屋が病院内に常設されていることが望まれる.

2) 立ち上がる動作までの2.5秒間に, 各関節の計測点は移動するので, 計測点を囲むウインドウの領域は他の関節計測点が重ならないことを考慮した広さをとる.

3. 片麻痺患者の立ち上がり動作の3次元バイオメカニクス解析—軽症者と重症者の動きの比較

運動力学を重視したバイオメカニクス解析では, 図2のように身体の運動は, 矢状面, 前額面, 水平面の3次元空間を考えた解析を行う. 立位姿勢の時, 体重心は, 骨盤内で, 仙骨の少し前方に位置する. 図3のように重心線が耳垂, 肩峰, 大転子, 膝関節前部, 外果の約2 cm 前部を通り, 同一前額面にある時, 前後方向の平衡は良好に保たれる²⁾.

片麻痺患者の軽症, 重症者の比較を行うと画像解析データより次のような結果が得られた.

図4は, Computer Graphics による重症患者の立ち上がり動作の経過を分かりやすくするため, 側面から見た矢状面での下脚と体幹の動きのシミュレーションを示す. 足, 下脚, 上脚, 腰, 体幹, 頭部の剛体セグメントから構成されており, 各セグメントは3Dの角度を持つことができる. 人体のカーブに近い3Dスプライン曲線で描いた.

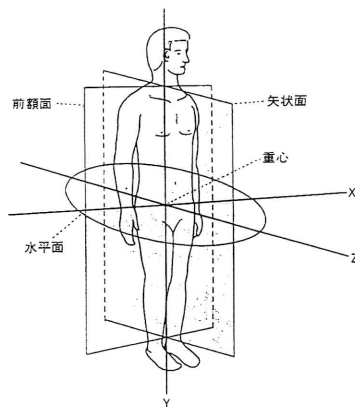


図2 身体運動の3平面 (リハビリテーション看護より)

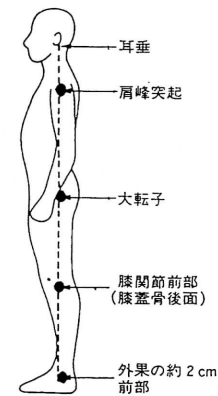


図3 立位姿勢平衡 (基礎運動学より)

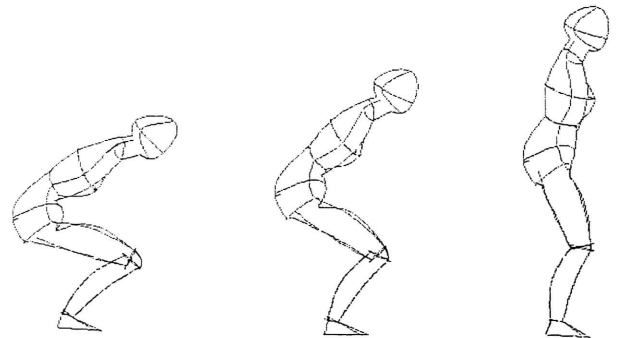


図4 立ち上がり動作シミュレーション (重症患者)

1) Stick Model Picture による立ち上がるまでの form 比較

動きのform比較をさらに容易にするため, 肩峰, 大転子, 膝, 外果の各計測点をStickでリンクさせたComputer Graphics によるStick Model Pictureを作成, 体の左側の麻痺疾患側 (図の点線, 白丸) と右側の健常側 (図の実線, 黒丸) を区別し示す. 身長が異なり, 比較の正規化のため, 重症者の身長に重みづけをし, 軽症者と同じ値として比較した. 図5は, 軽症者の立ち上がり動作の経過で,

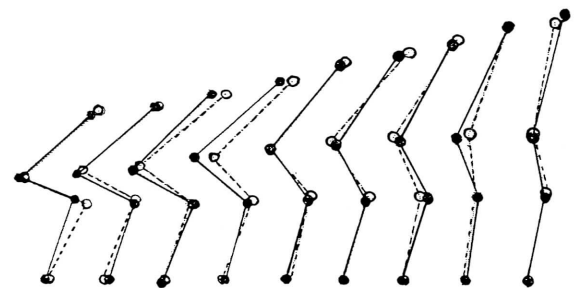


図5 立ち上がり動作シミュレーション (軽症患者)

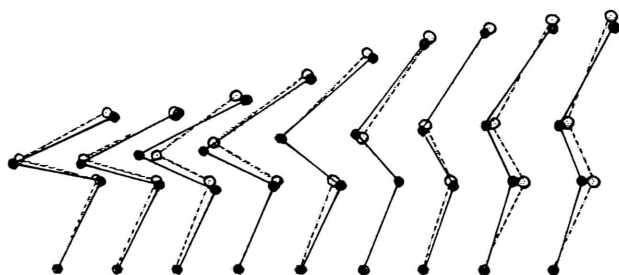


図6 立ち上がり動作シミュレーション (重症患者)

図6は重症者を示した。2.5秒間の40formを5form毎に示している。始めの1秒間の腰を上部に移動させ、膝に負担がかかる麻痺患者にとって困難な部分では、両者ともに、麻痺側の脚、体幹の屈曲が健常側と比較すると少ない。2秒間を過ぎると起立の状態は重症者の方の脚、体幹の伸展は軽症者と比較して十分ではない。図3の矢状面での平衡を保つ姿勢と比較するとより明確となる。

2) 膝関節角度変化, 角速度変化

身体の動きは複数の関節が互いに協調し合って行われる。椅子からの立ち上がり動作では、足、膝、腰の3関節が互いの位置から作り出す角度を求めて、軽症、重症者の麻痺側の矢状面での膝関節角度変化比較を行った。

図7のように足、膝、股関節計測点の座標値をそれぞれA(Za, Ya), K(Zk, Yk), H(Zh, Yh) とすると膝関節の変化を θ の変化で観察できる。

$$\begin{aligned}\tan \alpha &= (Y_k - Y_a) / (Z_a - Z_k) \\ \tan \beta &= (Y_h - Y_k) / (Z_k - Z_h) \\ \theta &= \alpha - \beta\end{aligned}$$

図8より、重症者の膝関節変化は軽症者と比較して、角度が大きいまま変化していることが分かる。このことは、体

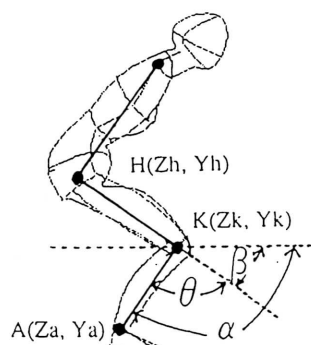
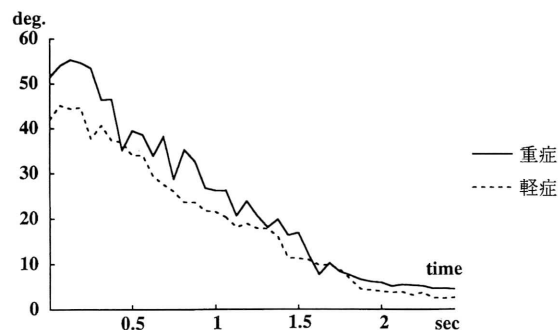
図7 膝角度 θ , α , β 

図8 膝角度変化

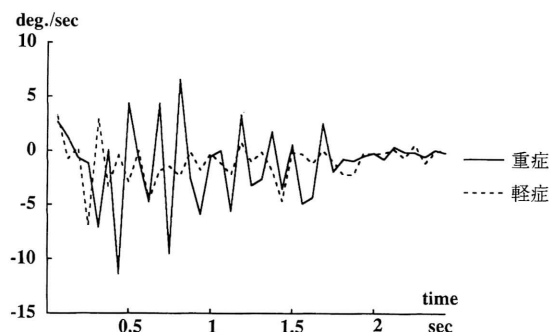


図9 膝角速度変化

幹、下脚の屈曲が十分でないことを示している。図9の角速度変化の比較からは、軽症者は、速度変化が少なく、重症者より滑らかな変化となっている。

3) 慣性モーメント

力により軸から r の距離にある物体の回転運動を考えるとき慣性モーメント I は、物体の質量を m とすると次式で表すことができる。

$$I = mr^2$$

椅子から立ち上がる動作において膝関節から上体が回転したと考え、慣性モーメントを求める場合、距離を膝関節K点から股関節H点までとし、

$$r = (Z_h - Z_k)$$

質量は膝から上の身体部分の体重とし、全体重と M とすると次式で求められる。

$$m = M(1 - 0.08)$$

立ち上がるまでの慣性モーメントの変化を図10に示す。重症患者の慣性モーメントが大きく、膝の矢状面での回転

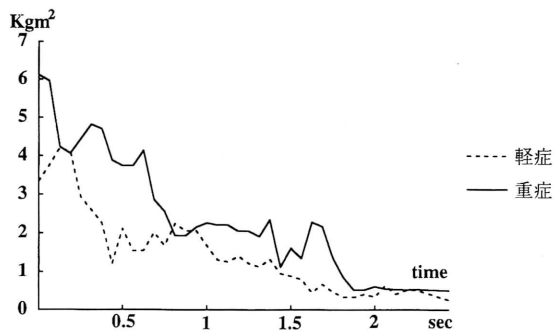


図10 慣性モーメント変化

運動は軽症者より困難である。慣性モーメントが小さいと回転運動は容易である。

4) 運動エネルギー

運動エネルギー E を角速度 ω と慣性モーメント I を使うと次の式で表せる。

$$E = I\omega^2$$

スキーで回転をしようとする時、運動量を一定と考えると最初は腰を低くした姿勢をとれば慣性モーメントは増加する。次に腕を開いて立ち上がると減少し、結果回転速度は大きくなる。さらに回転方向を変更する時は、腰を低くして、回転モーメントを増加、速度を減少させ、回転が容易になることは、よく経験することである。

図11は椅子から立ち上がる時の運動エネルギーの変化の比較を示す。重症患者の運動エネルギー量の方が大きく、特に立ち上がり始めの身体上部部分を椅子から持ち上げる際の0.5秒間の負担が大きいことが示された。

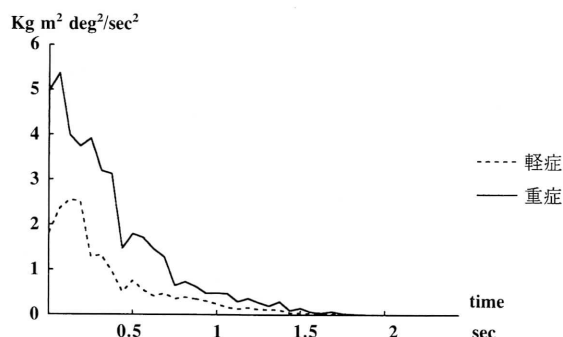


図11 運動エネルギー変化

4. 考 察

Video 画像から直接得られる情報は計測点のピクセル座標値であるが、3次元写真測量学と運動力学の原理を応用させることにより、人の連続した動きの時系列解析を行うことができた。

リハビリテーション医学においてバイオメカニクス解析の重要性は、特に運動力学を考えたダイナミクス解析にあり、軽症、重症の麻痺疾患の運動機能評価に有効な情報を得る結果となった。歩行におけるダイナミクス解析およびフィードバック、フィードフォワードシステム解析を次の課題としている。

5. 謝 辞

建設省国土地理院小井土今朝巳氏、東京大学生産技術研究所2部前田研究室宮島省吾氏、同研究所映像室中村英俊氏に懇切なるご指導、ご協力をいただきましたことを深く感謝致します。
(1994年10月7日受理)

参 考 文 献

- 1) 鶴岡政子, 森 英二, 柴崎亮介, 村井俊治: 3次元Video画像解析によるリハビリテーション医学への応用, 生産研究 Vol 46, No 7, pp. 33-36, 1994.
- 2) Kathryn Luttgens, Katharine F. Wells: Kinesiology, 7th edition, Saunders College Publishing, 1982.
- 3) Masako Tsuruoka, Ryosuke Sibasaki, Elgene O. Box, Shnji Murai et al.: Biomechanical and Mathematical analysis of Human Movement in Rehabilitation Science using Stereo Video Cameras and a Forceplate Sensor System, Third International Symposium on 3-D Analysis of Human Movement, Stockholm, Sweden, pp. 71-64, 1994.
- 4) 鶴岡政子, 柴崎亮介, エルジーンオーボックス, 村井俊治: 人の立位平衡時におけるフィードバック制御解析(2) 多変量自己回帰モデルの利用, 生産研究 Vol 46, No 1, pp. 37-40, 1994.