

## 緩やかな傾斜における脳卒中患者の歩行特性

## Biomechanical characteristics of walking on a slope in hemiplegic stroke patients

○渡邊 翔, 細田 貴治, 山本 紳一郎 (芝浦工業大学大学院)

河島 則天 (国立障害者リハビリテーションセンター研究所)

Sho WATANABE, Shibaura Institute of Technology

Takaharu HOSODA, Shibaura Institute of Technology

Shin-ichiroh YAMAMOTO, Shibaura Institute of Technology

Noritaka KAWASHIMA, Research Institute, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities

**Abstract:** Previous studies demonstrated characteristics of the walking on slopes, for example, increase of stride length and hip range of motion, and systematic changes of the anterior-posterior ground reaction force due to the level of slope. We here aimed to examine adaptive changes of gait behaviour when the patients with stroke walked on a relatively shallow slope. Nine stroke patients were asked to walk on seven different of slopes (-2, -1, -0.5, 0, 0.5, 1, 2 degrees) at a comfortable speed on treadmill during 30 seconds. The results demonstrated systematic modulations of the spatiotemporal parameters and joint angular of lower limbs due to the level of slope. Changes of the cadence (temporal) and step length (spatial) due to slope angle showed tread-off manner which is identical to those in health individuals. These results indicated that gait behavior of stroke patients would suitably adjusted in accordance with the level of slope.

**Key Words:** Slope walking, Three-dimensional motion analysis, Stroke, Hemiparesis

## 1. 背景・目的

ヒトの歩行運動は、立脚時間などの時間的要素やストライド長などの空間的要素、床反力などの力学的要素によって構成され、歩行速度や環境に応じてこれら構成要素が系統的に変化する。たとえば傾斜のある路面を歩行する際には、上り坂を歩く時には前方への推進力生成やクリアランス確保が必要となり、下り坂を歩く時には対照的に重心の過剰な前方への移動を制動しながら歩くなどの変化が生じることが報告されている<sup>(1)</sup>。

脳卒中片麻痺患者の歩行は、片側性の運動麻痺によって歩幅や下肢の運動動作に左右非対称性が生じることが知られている。傾斜歩行の先行研究では、健常者を対象に幅広い知見が報告されているものの、脳卒中患者などの運動疾患の患者を対象とした研究は少ない。上り坂、下り坂を歩く時には、駆動/制動力の調節、関節可動域の変化、筋活動の変化など様々な変化が生じることが予想されるが、片側性運動麻痺を持つ脳卒中患者が傾斜を歩行した際に健側、麻痺側それぞれにどのような変化が生じるのか不明である。そこで本研究では、脳卒中片麻痺患者における傾斜歩行中の詳細な歩行解析の結果から、傾斜の向きや程度が麻痺側、非麻痺側にどのような影響を及ぼすのかを検討することを目的とした。

## 2. 動作解析実験

本研究では脳卒中片麻痺患者9名を対象とした。被験者は平地を含む7段階の傾斜条件下(-2, -1, -0.5, 0, 0.5, 1, 2deg)で30秒間の快適歩行速度( $2.03 \pm 0.17 \text{ km/h}$ )でのトレッドミル歩行を行った。被験者の身体29ヶ所(Helen Hayes Marker Set)に反射マーカを貼り付け、三次元動作解析システム(Motion Analysis 製, MAC3D)を用いて、サンプリング周波数200[Hz]にてマーカの空間座標を取得した(Fig. 1参照)。取得した動作データを基に、Cortex2ソフトウェア(Motion Analysis 社製)内の逆力学演算ツールにより推定床反力を算出した( $n=6$ )。同時に筋活動電位(EMG)を両脚の前脛骨筋(TA)、ヒラメ筋(Sol)、内側腓腹筋(mGas)、外側腓腹筋(lGas)、大腿直筋(RF)、大腿二頭筋(BF)から有線式筋電計測システム(Delsys 社製)を用いてサンプリング周波数1000[Hz]で記録した。

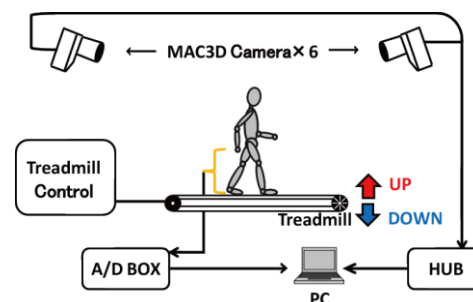


Figure 1 : Experimental set up

## 3. 実験結果

## 3-1 歩行パラメータ

Fig.2Aに各傾斜条件下でのストライド長とケイデンスの変化をいずれの脳卒中患者においても、上り傾斜ではストライド長が、下り傾斜ではケイデンスが増大する傾向が認められた。脳卒中患者の場合、左右のステップ長に非対称性が生じることが報告されているため、Fig.2B麻痺側と非麻痺側のステップ長の変化をそれぞれ示した。全被験者の平均値で見ると平地歩行においても両脚のステップ長に左右非対称性は認められず、両脚とも傾斜に伴う傾向は同様であった。

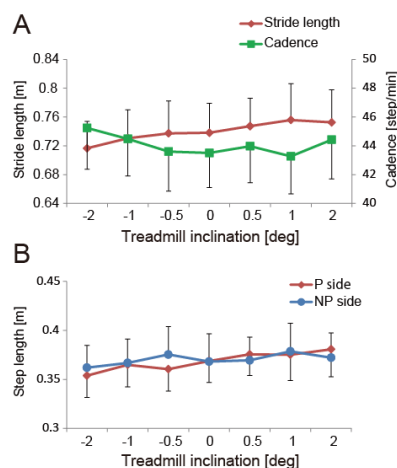


Figure 2: Changes of the stride length, cadence (A) and step length of each paretic and non-paretic side (B) during walking on various extent of slope.

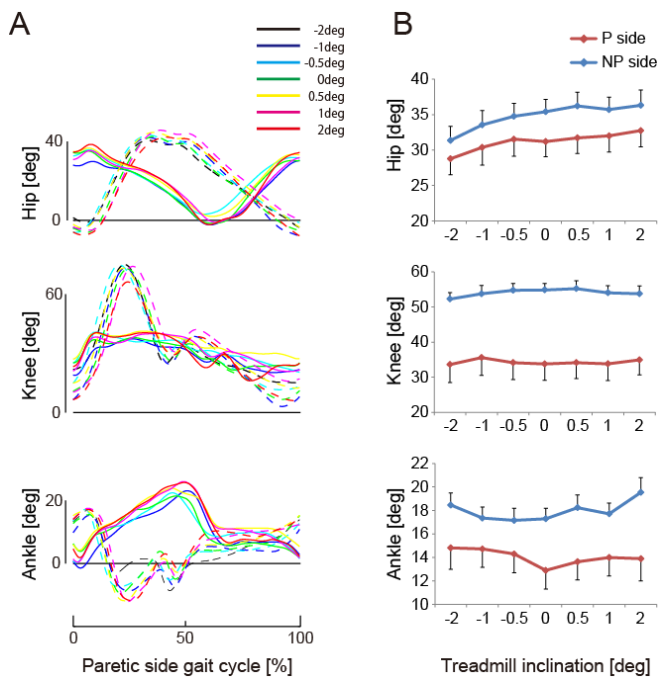


Figure 3 : Typical example of lower limb joint kinematics (A) and quantified range of motion (ROM) in hip, knee, and ankle joint (B).

### 3-2 関節角度

Fig.3A に各傾斜条件での股関節、膝関節、足関節角度の典型例を、Fig.3Bに各関節可動域を示す。Fig.3Aのように股関節、膝関節、足関節において、関節動作が健足と比べて小さいことが分かる。麻痺側・非麻痺側ともに傾斜が上りになると股関節角度が屈曲し、下りでは屈曲位が減少する傾向が見られ、これに伴って股関節可動域も上りでは増加し、下りでは減少した。

### 3-3 床反力

各傾斜条件での推定床反力鉛直成分の典型例と積分値の左右比を Fig.4A に示す。平地歩行では左右脚の荷重に非対称性があったが、傾斜をつけた際には上り下りのいずれにおいても荷重の左右非対称性が改善される傾向があった。

### 3-4 筋活動量

各傾斜条件での筋活動の典型例を Fig.4B に示す。筋活動においても非麻痺側と比べて麻痺側の活動レベルが全体的に小さい傾向を示した。Fig. 4Cにはヒラメ筋活動を歩行周期を両足の踵接地と爪先立地を基準として4分割し、平均2乗振幅値 (Root mean square: RMS) を算出した結果を示す。非麻痺側では特に立脚後期において傾斜に応じた筋活動の変化が認められる一方で、麻痺側には同様の变化は認められなかった。

## 4. 考察

健常者の場合、上り坂ではストライドを増加、下り坂ではケイデンスを増加させるような調節が行われる。本研究の結果は、脳卒中片麻痺患者においても同様の調節が行われていることを示している。麻痺側、非麻痺側のステップ長は左右非対称性を示さず、さらに歩行中の股関節可動域は麻痺側、非麻痺側ともに増加したことから、上りではステップ長を増加させるために股関節可動域を増加させ、下りではステップ長を短くし、ケイデンスを稼ぐために、可動域を小さくする調節が行われていると考えられる。これらの傾向は先行研究の結果と一致した<sup>(1),(2)</sup>。また、傾斜歩行の際の鉛直床反力成分の左右比は対称に近づく傾向があ

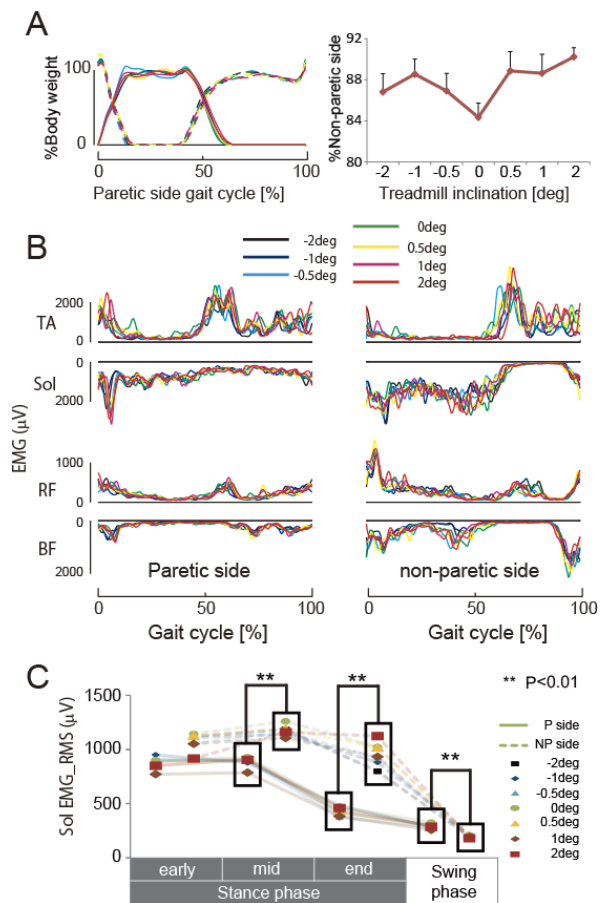


Figure 4 Typical example of the vertical ground reaction force (left) and quantified amount of body applied to paretic leg (right), waveform of lower limb muscle EMG (B), and RMS value in Sol (C).

ったが、これは傾斜歩行時での変化が麻痺側により多く荷重がかけられるようになったことを示唆している。

筋活動において、傾斜による筋活動の大きな変化は見られなかったものの、立脚期後期における下腿三頭筋において麻痺側の筋活動が有意に小さいことが示された。また、今回の実験に参加してもらった脳卒中片麻痺患者全員から下りの方が歩きやすいという内省が得られた。下りでは、平地と比べて下腿三頭筋による駆動力を必要とせず、かつ下り坂というクリアランス確保がしやすくなったことがこの結果に影響しているものと考えられる。

## 5. まとめ

脳卒中片麻痺患者が傾斜を歩行する際には非麻痺側だけではなく、麻痺側も変化させることで路面環境に適応していることが示唆された。特に、緩やかな下りの条件下では、被験者は平地との変化の差異を感じることなく歩行することができた。この傾斜歩行時の変化が、左右足動作の非対称性の改善や麻痺側への荷重の増加などであることから、この緩やかな傾斜での歩行が脳卒中片麻痺患者のための新たなリハビリテーションの一手法となることが考えられる。

## 6. 参考文献

- (1) Leroux et al; Postural adaptation to walking on inclined surfaces: I. Normal strategies; Gait & Posture; 15:64-74, 2002
- (2) Moreno et al; Effects of Treadmill Inclination on the Gait of Individuals With Chronic Hemiparesis; Arch Phys Med Rehabil; 92: 1675-80, 2011