

# 脳性麻痺児の歩行における痙縮の特性は速度増加によって明らかにできるか？

Anja VanCampenhout <sup>a, \*</sup>, Lynn Bar-On <sup>b</sup>, Erwin Aertbelieën <sup>c</sup>, Catherine Huenaerts <sup>b</sup>, Guy Molenaers <sup>a,d</sup>, Kaat Desloovere <sup>b,e</sup>

<sup>a</sup> Department of Orthopaedics, University Hospital Leuven, Belgium

<sup>b</sup> Clinical Motion Analysis Laboratory, University Hospital Leuven, Belgium

<sup>c</sup> KU Leuven, Department of Mechanical Engineering, Leuven, Belgium

<sup>d</sup> KU Leuven, Department of Development and Regeneration, Leuven, Belgium

<sup>e</sup> KU Leuven, Department of Rehabilitation Sciences, Leuven, Belgium

Can we unmask features of spasticity during gait in children with cerebral palsy by increasing their walking velocity? *Gait and Posture* (2014)

PMID: 24444653

翻訳担当者：東京大学大学院教育学研究科身体教育学コース 小林佳雄

## 【抄録】

### 緒言

脳性麻痺児には、神経障害や異常歩行を伴った様々な運動障害が存在する。痙縮は身体に影響を与える神経障害で最も著明に出現する。Lance[1]によれば、痙縮は伸張反射や筋緊張の亢進をともなった速度依存性の上位運動ニューロン障害と定義される。痙縮は主に受動的状態下において、Modified Ashworth Scale(以下MAS) [2]やTardieu scale[3]などの臨床評価や、バイオメカニクス手法や筋電図などで評価される。後者の評価は、より客観的尺度情報を与えてくれるが、機能面の理解がいまだに乏しい。特に、痙縮と歩行における関連性については未だわかっていない事が多い。痙縮が速度依存性を持ち合わせるという定義に沿えば、歩行速度の増加は、歩行と痙縮の関係性をより明確にさせるかもしれない。速い速度での歩行は正常発達児や脳性麻痺児などの双方において歩行パターンを変化させる[4-8]。正常発達児や脳性麻痺児の歩行速度を増加させ、速度上昇に伴う影響の違いを検討することで、痙縮が歩行に与える影響についてその間接的見識が得られるかもしれない。本研究の目的は、速度増加に伴う歩行の変化を正常発達児と脳性麻痺児の間で比較する事で、歩行における痙縮の特性を捉える事である。特に本研究では、下腿三頭筋とハムストリングスについて焦点を当てる。

### 方法

<対象>

---

## Can we unmask features of spasticity during gait in children with cerebral palsy by increasing their walking velocity?

---

53 人の痙直型脳性麻痺児および 17 人の正常発達児が本研究に参加した。対象基準は、1) 痙直型脳性麻痺児、2) 歩行可能である事、3) 同一下肢において下腿三頭筋およびハムストリングスの Tardieu scale が評価されている事、である。除外基準は、ジストニア、アテトーゼ、重度の認知障害、整形手術の既往歴、バクロフェンならびにボトックス注射を 6 ヶ月以内に施注した児である。痙直型脳性麻痺児の観測下肢として、MAS scores に基づき、両側下肢間でより痙縮が強い下肢が判定された。10 人の痙直型脳性麻痺児は MAS scores が同等であったため、Tardieu scale によって選別した。MAS scores および Tardieu scale が同等であった際は、右下肢を選択した。正常発達児は基本的には右下肢を観測下肢とし、筋電図など計測不良がある場合は左下肢を観測下肢とした。

### <研究デザイン>

評価は臨床評価と 3 次元動作解析による歩行分析を実施した。臨床評価は、ROM、骨アライメント、MAS、Tardieu scale、両下肢における下肢長および選択性[9]の評価を行った。使用機器は、3 次元動作解析装置(サンプリング周波数 100hz)、床反力計、筋電図計(サンプリング周波数 1500hz)である。3 次元動作解析によるマーカーセットは、plug in gait モデルに従い、両下肢合わせて 15 個のマーカーを貼付した。表面筋電図は左右合わせて 8 つの筋を記録後、バンドパスフィルター処理(20-500hz)を行った。左右合わせて 8 つの筋を記録したが、本研究では下腿三頭筋及び内側ハムストリングスについて報告する。全ての子供は裸足歩行を行った(10m 歩行路)。まず自由歩行を行い、次に よりやや速く、最後に本人の最大歩行速度で歩くよう指示した。各速度条件において、最低 3 回分の試行がとれるよう計測をおこなった。

### データ解析

観察対象は以下である。運動学データは、矢状面、前額面、水平面における骨盤および両側下肢股関節、膝関節、足関節である。運動力学データは、股関節、膝関節、足関節に関する(内部)モーメントである。筋電図データは、筋電波形から、歩行周期における相ごと(0-100%、0-20%、立脚期、遊脚期、80-100%)に二乗平均平方根(root mean square: rms)を算出後、快適歩行速度時の最大 rms によって正規化した値である。筋長の推定は、Delp[10]による筋骨格系モデルを用いた。すべての筋長は、解剖学的正位に対する比率(%)で示された。推定された筋長を微分する事で、筋収縮に伴う筋長速度を求めた。上述した観察対象(運動学データ、運動力学的データ、筋電図データ)について、歩行周期毎(0-20%、立脚期、遊脚期、80-100%)ならび歩行周期全体(0-100%)を通して、最大値、最小値、平均値、最大および最小値になる歩行周期中のタイミングについて求めた。

### ○歩行における速度効果

歩行における速度効果を群間で比較するため、脚長と重力加速度によって定義される無次元速度を用いた。無次元速度における約 0.48 は快適歩行速度、約 0.7 は歩行から走行への相転移速度に相当する[11]。まず、被験者毎に、自由歩行速度、自由歩行よりやや速い速度、最大歩行速度の各速度で得られた変数をプロットし、変数と速度との回帰直線を求めた。この回帰直線から無次元速度が 0.3(低速度歩行に相当)および 0.6(高速度歩行に相当)になる

---

## Can we unmask features of spasticity during gait in children with cerebral palsy by increasing their walking velocity?

---

ときの変数の値を、それぞれ低速度下および高速度下の変数として求めた。また、速度増加の効果をみるため、各変数の低速度下および高速度下の差(different score: DS)を求めた。

### 統計

被験者の各速度から求められたそれぞれの変数と速度との回帰直線において決定係数 R2 を求めた。R2 が 0.1 以下の被験者の変数は除外した。続いて、各変数と速度の回帰直線から求められた (0.1 より大きい) R2 を群ごとに平均し、平均の R2 が 0.4 以下の変数は両群から除外した。この手順を終え、残った変数について、データの正規分布を確認後、回帰直線の低速度(0.3)、高速度(0.6)下に相当するそれぞれの値、および低速度、高速度から求められる DS の値について群間比較 (Mann-Whitney 検定) を行った。

### 結果

決定係数が 0.4 以上の変数は 75 あった。そのうち、16 の変数において正常発達児と脳性麻痺児間で有意な違いがあった。

#### <速度増加に伴う時空間因子の変化>

- ・速度増加に伴う歩行率の増加は、正常発達児より痙直型脳性麻痺児で顕著であった。
- ・速度増加に伴う片脚支持時間の減少は、正常発達児より痙直型脳性麻痺児で顕著であった。
- ・速度増加に伴う両脚支持時間の減少は、正常発達児より痙直型脳性麻痺児でわずかにみられた。

#### <下腿三頭筋に関連する変数>

- ・踵接地期から立脚中期における足関節の角速度は、低速度、高速度の両速度下において痙直型脳性麻痺児は正常発達児より大きかった。
- ・歩行周期における 0-20%において、速度増加に伴う下腿三頭筋の増加は正常発達児より痙直型脳性麻痺児で顕著であった。
- ・立脚期を通して、痙直型脳性麻痺児は低速度下においても下腿三頭筋の活動が顕著であった。
- ・遊脚期における下腿三頭筋長の速度は、正常発達児は痙直型脳性麻痺児より低速度、高速度の両速度で大きかった。速度増加に伴う遊脚終期の下腿三頭筋長の速度は、正常発達児の方が痙直型脳性麻痺児より大きくなった。

#### <内側ハムストリングス に関連する変数>

- ・立脚中期における膝関節の最大伸展モーメントのタイミングは、速度増加に伴い、痙直型脳性麻痺児は正常発達児より遅れる変化が観察された。
- ・立脚期における股関節最大伸展モーメントおよび股関節パワーは、速度増加に伴い、痙直型脳性麻痺児は正常発達児より大きくなった。

---

Can we unmask features of spasticity during gait in children with cerebral palsy by increasing their walking velocity?

---

・遊脚期における内側ハムストリングスの筋長速度は、痙直型脳性麻痺児は低速度、高速度ともに正常発達児より低い値を示しており、速度増加に伴い、その傾向はより顕著であった。

### 考察

低速度、高速度下それぞれの速度の変数について、正常発達児、痙直型脳性麻痺児間で多くの違いが観察された。速度増加の影響を示すDSについては、正常発達児、痙直型脳性麻痺児間では75個中49個で違いが観察されなかった。違いが観察された16の変数中、下腿三頭筋、内側ハムストリングスのDSで群間の違いが多く観察された。特に本研究では、速度増加に伴って変化する数多くの変数の内、内側ハムストリングスよりも下腿三頭筋に関連する変数で多くの違いが観察された。痙縮を伴う下腿三頭筋は、立脚期および遊脚期における運動学、運動力学、筋電図それぞれのデータで観察された。痙縮を伴う内側ハムストリングスは、高速度下における筋長速度の低下、という現象で観察された。高速度下では、痙直型脳性麻痺児は正常発達児よりも歩行率の増加および股関節伸展モーメントの増加という異なるストラテジーを用いている事が観察された。

本研究には限界がいくつかある。筋長速度を求める際に用いる筋骨格系モデルは、運動に伴う筋および腱状態を考慮されたモデルではないため、さらなる正確な計測が必要である。また、今回の計測基準よりも幅広い痙縮の状態の児達の計測や、他の筋部位についての観察も行わなければいけないだろう。

### 結語

歩行速度の増加によって、歩行に対して痙縮が影響を与える可能性があるかもしれない。特に、歩行速度の増加と痙縮の関係性を示す特徴は、下腿三頭筋では歩行周期全体を通して観察され、ハムストリングスでは遊脚期でより観察された。

### 総評

本論文は、痙縮が機能的側面に与える影響について、歩行を通して、観察対象部位およびタイミングについて参考になる結果を示している。通常、痙直型脳性麻痺児は、遠心性収縮や主動作筋と拮抗筋の分離運動、および筋活動の切り替えが得意とはいええない。それらの特性が本論文の結果においても明確に観察されている。例えば、通常立脚期において前脛骨筋は遠心性収縮が行われるが、その運動が行われない事によって痙直型脳性麻痺児では足関節の角速度は正常発達児より大きい。また遊脚期においても、大腿の振りを遠心性運動によって制御するハムストリングスの活動が脳性麻痺児ではあまり見られない。

痙縮が日常生活における機能的側面についてどのような影響を及ぼしているか明確にする事は重要である。身体運動を観察する上で、数多くある着眼点から照準が絞られていることは、時として適切かつ迅速な評価や治療アプローチの選択につながるため、本論文の結果はその一助となりうるだろう。本論文では観察対象として骨盤、下肢などに焦点を当てているが、痙直型脳性麻痺児の代償動作は上肢、体幹など全身の身体部位に観察される。こうした身体部位や、今回注目した下腿三頭筋、内側ハムストリングス以外の下肢筋活動についても、速度増加に伴う影響に関する報告が待たれる。

## 参考文献

1. Lance JW. In: Feldman RG, Young RR, Koela WP, editors. Spasticity: disorder motor control. Chicago: Year Book Med Publ.; 1980: 485–494.
2. Bohannon RW, Smith MB. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Phys Ther* 1987; 67: 206–207.
3. Haugh AB, Pandyan AD, Johnson GR. A systematic review of the Tardieu Scale for the measurement of spasticity. *Disabil Rehabil* 2006; 15: 899–907.
4. van der Krogt MM, Doorenbosch CA, Harlaar J. The effect of walking speed on hamstrings length and lengthening velocity in children with spastic cerebral palsy. *Gait Posture* 2009; 29: 640–644.
5. van der Krogt MM, Doorenbosch CA, Becher JG, Harlaar J. Walking speed modifies spasticity effects in gastrocnemius and soleus in cerebral palsy gait. *Clin Biomech* 2009; 24: 422–428.
6. Schwartz MH, Rozumalski A, Trost JP. The effect of walking speed on the gait of typically developing children. *J Biomech* 2008; 41:1639–1650.
7. van der Linden ML, Kerr AM, Hazlewood ME, Hillman SJ, Robb JE. Kinematic and kinetic gait characteristics of normal children walking at a range of clinically relevant speeds. *J Pediatr Orthop* 2002; 22: 800–806.
8. Stansfield BW, Hillman SJ, Hazlewood ME, Lawson AA, Mann AM, Loudon IR, Robb JE. Sagittal joint kinematics, moments, and powers are predominantly characterized by speed of progression, not age, in normal children. *J Pediatr Orthop* 2001; 21: 403–411.
9. Boyd RN, Graham HK. Objective measurement of clinical findings in the use of botulinum toxin type A for the management of children with cerebral palsy. *Euro J Neurol* 1999; 6: 23–35.
10. Delp SL, Loan JP, Hoy MG, Zajac FE, Topp EL, Rosen JM. An interactive graphics based model of the lower-extremity to study orthopaedic surgical procedures. *IEE Trans Biomed Eng* 1990; 37: 57–67.
11. Hof AL. Scaling gait data to body size. *Gait Posture* 1996; 4: 222–223.