

## Impact of loaded sit-to-stand exercises at different speeds on the physiological cost of walking in children with spastic diplegia: A single-blind randomized clinical trial (脳性麻痺直型両麻痺児における速度の異なる負荷立ち上がり運動が歩行時エネルギー効率に及ぼす影響：単盲法無作為化臨床試験)

### 【はじめに】

Liao らは重りを背負った状態での立ち上がり運動(負荷立ち上がり運動)による介入で立ち上がり動作時の最大筋力や歩行時のエネルギー効率が向上したと報告している。脳性麻痺児はゆっくりとした動作が困難であり、健常児と比べ歩行時エネルギー効率が悪い。脳性麻痺児の立ち上がり運動(sit to stand ; STS)は、健常児と比べて骨盤前傾や股関節屈曲が増加し、早期に膝関節伸展が起こる。Liao らの先行研究のように1回の最大挙上量(1 Repetition Maximum; 1 RM)の50%の負荷量の運動は、脳性麻痺児が運動を継続するには高負荷であり、運動の後半には骨盤の前傾を強めるなど代償動作が出現することがある。また、本人の立ち上がりやすい動作速度では脳性麻痺の特徴的な動作を強化させる可能性がある。このような運動を長期間続けると腰痛や関節拘縮等の二次障害を助長する可能性がある。そのため、低負荷で効果的なトレーニングが求められている。

通常、STS では離臀までの体幹屈曲動作における前方への加速度を、離臀後の上方への加速度に変換しており、ゆっくりとした STS は任意の速度の STS と比較して、総筋活動量が高いと言われている。低負荷でもゆっくりとした動作によって効果的なトレーニング効果を得られる可能性があり、脳性麻痺患者に対する理学療法では、動作速度を考慮した運動介入の効果は検証されていない。

そこで本研究の目的は、直型脳性麻痺児における速度の異なる負荷 STS が歩行時エネルギー効率に及ぼす影響を検証することとした。

### 【対象と方法】

#### 1) 対象

対象は東京、神奈川の5施設にて募集した。取り込み基準は1.男性、2.12歳～18歳、3.脳性麻痺直型両麻痺、4.粗大運動能力分類システムレベルⅠ～Ⅲ、5.1人で立ち上がり可能な者とした。除外基準は1.半年以内に整形外科手術やボトックス注射を受けた者、2.整形外科的問題のある者とした。基準を満たした26名の内、同意の得られた16名をゆっくりな速度の立ち座り群(低速群、8名)と任意の速度の立ち座り群(任意群、8名)にランダムに割り付けた(表1)。本研究の研究デザインは randomized clinical trial とし、割り付けは4名を1つの組み合わせとした置換ブロック法にて実施した。なお、本研究は東京工科大学倫理委員会(第E14HS-004号)、首都大学東京荒川キャンパス研究安全倫理委員会(14052)の承認を得て行った。

#### 2) 研究手順と測定項目

介入期間は6週間とし、初回と最終の測定を東京工科大学で行った。初回の測定時に負荷量の測定と運動指導を行った。自宅にて負荷 STS を6週間実施し、3週目に負荷量の再測定をリハビリ施設か自宅にて行った。

測定項目は最大等尺性膝伸展筋力、下肢随意性の検査である Selective Control Assessment of the Lower Extremity (SCALE)、6分間歩行距離(6 minutes walk distance; 6MWD)、歩行時エネルギー効率を示す Physiological cost index (PCI) とし、十分に練習した blind された評価者が実施した。

膝伸展筋力は徒手筋力計を用いて端座位にて測定し、各施行間の休憩を1分とり3回測定し、下肢随意性の高い下肢の最大値を採用した。SCALEは、股・膝・足・距骨下関節・足趾の単関節ごとに3秒間の往復運動を行い、0~2点の計20点で採点した。6MWDは30mの歩行路を裸足にて最大速度で6分間歩行した距離を計測した。PCIは5分間の安静座位後、65mの歩行路を裸足にて最大速度で6分間歩行し、安静時心拍数(HR)と歩行時の最大HR、歩行速度より算出した。

### 3) 運動介入方法

負荷量の設定のために立ち上がりの1RM STSを測定した。1RM STSは背負ったリュックに重りを入れて測定した。5分間のウォーミングアップ後、検査者によるデモを行い、快適速度にて上肢はフリーの状態ですら2回試行し、裸足にて足踏みすることなく立てた最大挙上量を測定した。試行間は2分間休憩し、負荷は体重の30%から開始し、1~4kg単位で増減させ測定した。

運動介入はリュックに重りを入れての負荷STSとした。椅子の高さは膝関節90度屈曲位となる高さとし、負荷量は30%1RM STSとした。低速群は5秒で立ち上がり5秒で着座し、任意群は任意の速度(1~2秒)で実施した。10回×4セットの運動を3~4回/週、6週間実施した。

### 4) 統計処理

対象者の属性は対応のないt検定、 $\chi^2$ 検定を行った。Shapilo wilk検定で正規性を確認後、介入方法の異なる2群を対応のない要因、介入前後を対応のある要因とし、各パラメーターごとに反復測定二元配置分散分析、および単純主効果の検定にて検討した。有意水準を5%とした。

## 【結果】

対象者の属性の比較を表1に、各パラメーターの分散分析結果を表2に、各パラメーターの介入前後の値を表3に示した。2群間で立ち上がり速度と着座速度に差があった。6MWDは介入前後に主効果を認め、PCIは速度の違いと介入前後との間に交互作用が確認された。

6MWDは低速群で介入前が406±113m(平均値±標準偏差)、介入後が461±139m、任意群で介入前が413±139m、介入後が446±114mと低速群で介入後に有意に増加した。PCIは低速群で介入前が0.68±0.28拍/m、介入後が0.46±0.17拍/m、任意群で介入前が0.71±0.27拍/m、介入後が0.76±0.41拍/mと低速群で介入後に有意に減少した。

表1 対象者の属性

	低速群 (n=8)	任意群 (n=8)	p値
年齢(歳)	16.3±2.1	15.0±2.0	0.25
幅	13-18	12-18	
身長(cm)	157.4±7.6	150.4±6.7	0.07
体重(kg)	51.1±10.6	42.2±11.6	0.13
GMFCS(I, II, III;名)	3,3,2	1,4,3	0.51
初回負荷量(kg)	6.5±3.2	4.4±1.8	0.12
中間負荷量(kg)	7.8±3.5	5.1±2.0	0.08
立ち上がり速度(秒)	5.7±0.7	2.9±0.6	0.00 *
着座速度(秒)	5.5±0.7	2.9±0.6	0.00 *
介入期間(日)	47.6±3.8	47.0±4.9	0.78
試行回数(回)	20.0±2.1	19.3±3.0	0.58

\*: 低速群 vs 任意群, \*: p < .05.

表2 各パラメーターの分散分析表

		F値	自由度	p値
膝伸展筋力	速度の違い	0.06	1.00	0.82
	前後	1.62	1.00	0.22
	速度の違い×前後	0.75	1.00	0.40
SCALE	速度の違い	1.24	1.00	0.28
	前後	0.83	1.00	0.38
	速度の違い×前後	0.00	1.00	1.00
6MWD	速度の違い	0.00	1.00	0.96
	前後	13.51	1.00	0.00 *
	速度の違い×前後	0.80	1.00	0.39
PCI	速度の違い	1.45	1.00	0.25
	前後	3.33	1.00	0.09
	速度の違い×前後	8.38	1.00	0.01 *

\*: p < .05.

表3 各パラメーターの介入前後の値

		介入前	介入後
膝伸展筋力 (Nm/kg)	低速群	1.44±0.39	1.47±0.52
	任意群	1.32±0.39	1.49±0.43
SCALE (点)	低速群	12.8±3.9	13.1±3.5
	任意群	10.9±3.5	11.3±2.9
6MWD (m)	低速群	406±113	461±139 *
	任意群	413±139	446±114
PCI (拍/m)	低速群	0.68±0.28	0.46±0.17 *
	任意群	0.71±0.27	0.76±0.41

\*:介入前 vs 介入後, \*:p &lt;.05.

### 【考察】

STS は下肢筋の協調性や筋力、姿勢制御が求められる動作のため、負荷 STS は下肢筋の協調性や筋力強化に焦点を当てた多関節の複合運動である。今回、両群で膝伸展筋力は改善しなかった。動作課題時の筋収縮形態が等張性筋収縮だったのに対し、測定時は等尺性筋収縮だった。運動時と測定時の筋収縮形態の違いからも、筋力強化における課題特異性の重要性が示唆された。また、両群で SCALE は改善しなかった。随意性は、「随意運動の要求に反応する選択的なパターンにおいて筋の独立した活動能力」と定義されている。負荷 STS は下肢筋の協調性や筋力強化に焦点を当てた多関節の複合運動であることから、下肢随意性を改善させるには負荷 STS の課題としての限界があったと考えられる。

低速群では介入前後で、多関節運動で筋力や持久性が求められる 6MWD と PCI が改善した。古くから下肢筋力と歩行機能は関係性があるといわれているが、本研究では単関節運動の膝伸展筋力、SCALE は介入前後で変化がなかった。PCI の改善は、歩行時の循環機能が上がった可能性や酸素利用能が改善した可能性が考えられる。本研究における 2 群間の違いは、動作をゆっくり行うかどうかであった。任意群では 30%1RM では十分な負荷量が得られなかったが、低速群ではゆっくりとした求心性収縮、遠心性収縮を繰り返し行ったことで、下肢筋の協調性や動作時筋力が改善し、歩行時のエネルギー効率が改善したと考えられる。

### 【まとめ】

脳性麻痺児へのゆっくりとした速度での低負荷 STS は、任意の速度の低負荷 STS より 6 分間歩行距離と歩行時のエネルギー効率が向上した。脳性麻痺児へのゆっくりとした速度での負荷 STS は、歩行時エネルギー効率を改善させる可能性が示唆された。