

脳性麻痺児の下肢の一期的多関節レベル手術の短期成績

則竹 耕治¹⁾・杉浦 洋¹⁾・伊藤 忠²⁾
種村 香里¹⁾・神谷 庸成³⁾

1) 愛知県三河青い鳥医療療育センター 整形外科

2) 愛知県三河青い鳥医療療育センター 三次元動作解析室

3) 名古屋大学 整形外科

要旨 脳性麻痺児に対して歩行改善を目的に施行した一期的多関節レベル手術の歩容に関する短期成績を明らかにした。対象は、痙直型脳性麻痺児 25 例 47 肢で、両麻痺 22 例、片麻痺または単麻痺 3 例であった。Gross Motor Function Classification System (GMFCS) レベル I と II は、19 例、レベル III は 6 例であった。手術時平均年齢 7.8 歳、術後平均経過期間 1.7 年であった。歩容の評価には、三次元歩行分析のキネマティクスから求められる Gait Deviation Index (GDI) を用いた。術前後の GDI の平均値は、全例では 62.3 点が 77.5 点へ、GMFCS レベル I と II の児では、63.0 点が 80.4 点へ、GMFCS レベル III の児では、60.3 点が 68.9 点へ有意に改善された。また、手術により歩容が改善されたのは、47 肢中 39 肢 (83.0%)、変化なし 6 肢 (12.8%)、悪化したのは 2 肢のみ (4.3%) であった。一期的多関節レベル手術は、GMFCS レベル I ~ III の児の歩容を有意に改善し、歩容を悪化させることは非常にまれであった。しかし、GMFCS レベル III の児は、GMFCS レベル I と II の児より調査時の歩容は悪かった。

はじめに

かつて、脳性麻痺児の歩行改善の整形外科手術は、初回手術として、股関節、膝関節、足関節レベルのいずれかで腱延長術などを行い、その後の経過をみて他の関節レベルの手術を二期的、時に三期的に行う段階的手術が主流であった。しかし、段階的手術による脳性麻痺児の身体的負担などが問題視されるようになった⁶⁾。一方で、1980 年代に臨床応用され始めたコンピュータによる三次元歩行分析などにより脳性麻痺児の異常歩行のメカニズムの解明が進み、歩行に関する手術効果の評価も定量的に行うことが可能になった。その

結果、下肢の手術を同時に行う一期的多関節レベル手術が、段階的手術よりも有効であることが明らかになり、現在では世界的に標準的手術となっている⁴⁾。

脳性麻痺児の異常歩行を改善する目的は、歩容を改善し、歩行能力を最大限引き出し、生涯にわたり歩行障害を最小限にすることである。本邦でも、本手術が広く行われているが、これまで、本手術成績について、歩容の変化に関する報告がみられない。

本研究の目的は、脳性麻痺児の下肢の一期的多関節レベル手術の短期成績を特に歩容の改善に注目し明らかにすることである。

Key words : single event multilevel surgery (一期的多関節レベル手術), cerebral palsy (脳性麻痺), gait analysis (歩行分析), gait deviation index (歩行異常指数)

連絡先 : 〒 444-0002 愛知県岡崎市高隆寺町小屋場 9-3 愛知県三河青い鳥医療療育センター 整形外科 則竹耕治
電話 (0564) 64-7980

受付日 : 2020 年 3 月 8 日

対象と方法

当センターにて、2016年4月から2018年12月までに歩行改善の目的で下肢の一期的多関節レベル手術を施行した痙直型脳性麻痺児25例を本研究の対象とした。一期的多関節レベル手術の定義は、股関節、膝関節、足関節レベルのうち、2関節レベル以上にわたり、同時に行った手術とした。全例、過去に整形外科手術、選択的脊髄後根切断術歴はなく、術前6か月以内にはボトックス注射を受けていなかった。25例の内訳は、両麻痺22例、片麻痺または単麻痺3例。男13例、女12例。GMFCSレベルIとIIは、19例、レベルIIIは6例であった。手術時平均年齢7.8歳(4.8~12.8歳)、手術後平均経過期間1.7年(0.3~3.3年)、最終調査時平均年齢9.5歳(5.5~13.7歳)であった。25例47肢に行われた一期的多関節レベル手術の適応と内訳を、表1、表2に示す。またその後、最終調査時までに行われた追加手術は、大腿直筋腱移行術(4肢)、踵骨延長術、距舟関節固定術の併用(1肢)、Evans手術、足部内側解離術の併用(1肢)、大腿骨プレート抜去術(15肢)、脛骨

プレート抜去術(8肢)であった。また、手術後のリハビリテーションの頻度や内容は、GMFCSレベルに関係なく行われていた。

歩行分析は、8台の光学式赤外線カメラからなる三次元動作解析装置(VICON MX-T20)を用い、下肢の各関節の動きをPlug in Gait Modelで測定し、Polygonを用いて下肢の諸関節の角度などを計算した。本研究では、手術前3か月以内の歩行のデータと最終調査時のデータを用い歩容の評価を行った。検査時の歩行様式は、術前25例中17例は補助具なし歩行で、8例は歩行器またはつえ歩行であった。最終調査時では19例は補助具なし歩行で、6例は歩行器またはつえ歩行であった。また、短下肢装具を装着して検査したのは、術前1例のみで、裸足歩行が24例であった。最終調査時では、それぞれ7例、18例であった。

歩容の評価は、現在、世界的に普及している歩容の包括的な指標であるGDI(Gait Deviation Index)を用いた⁷⁾。GDIは、キネマティクスにおいて、以下の9項目から計算される。骨盤、股関節の3平面状の動き、膝関節、足関節の矢状面での動き、歩行中のつま先の向きである。なお、

表1. 手術適応

	理学所見	三次元歩行分析データ(kinematics)
大腰筋切離術	Thomas>10~15°	最大股関節伸展角度の減少, double bump pattern
長内転筋延長術	股関節開排角度<50°	SWでの股関節外転角度の減少
内側ハムストリング延長術	Popliteal angle>45°	IC, TSでの膝関節屈曲角度の増加
外側ハムストリング延長術	Popliteal angle>80°	骨盤前傾の増加がない, 重度のかがみ膝歩行
大腿直筋腱移行術	Ely test 陽性	こわばり膝歩行(歩行中の膝関節の可動域<40~45°)
腓腹筋後退術	ADF(KE)<0 ADF(KF)-ADF(KE)>10°	STでの足関節底屈, kinetics double bump pattern*
ヒラメ筋FL	腓腹筋後退術後, 5~10°>ADF(KF)>0°	STでの足関節底屈, kinetics double bump pattern*
アキレス腱延長術	腓腹筋後退術後, ADF(KF)<0°	STでの足関節底屈, kinetics double bump pattern*
長母趾屈筋延長術	足関節背屈0°で母趾伸展困難	
長趾屈筋延長術	足関節背屈0°で足趾伸展困難	
大腿骨転子間減捻骨切り術	大腿骨前捻角>45~50°	STを通して股関節内旋>10°
脛骨外旋骨切り術	thigh-foot angle>内旋10°	foot progression angle 内旋位
踵骨延長術	中等度以上の足部変形	参考: kinetics push off時のモーメント, パワアの減少*

IC: Initial Contact, TS: Terminal Swing, ST: Stance phase, SW: Swing phase, Popliteal angle(膝窩角), ADF: Ankle Dorsiflexion, KF: Knee Flexion, KE: Knee Extension, FL: Fractional Lengthening(*kinetics data)

表 2. 手術の内訳

手術名	下肢数	手術名	下肢数
大腰筋腱切断術	19	大腿骨転子間減捻骨切り術	27
長内転筋腱延長術	25	脛骨外旋骨切り術	19
内側ハムストリング延長術	47	踵骨延長術	1
外側ハムストリング延長術	17		
腓腹筋後退術(Strayer 法)	20		
Stayer 法+ヒラメ筋 FL	26		
アキレス腱延長術	13		
後脛骨筋腱延長術	5		
長母趾屈筋腱延長術	42		
長趾屈筋腱延長術	32		

FL : Fractional Lengthening

GDI 100 点以上は正常の歩容を示し、10 点下がるごとに 1 標準偏差、平均的な歩容から逸脱していることを意味する。例えば、GDI 80 点は、平均的歩行から 2 標準偏差逸脱していることを示す。なお、各症例の GDI は、3 歩行の平均値で算出した。

手術成績の評価は、初めに 25 例 47 肢を対象として、術前後の GDI の変化を測定し、歩容の改善を評価した。次に歩行能力が手術成績に及ぼす影響を明らかにするため、GMFCS レベル I & II の 19 例 35 肢とレベル III の 6 例 12 肢の 2 群に分け、GDI の変化を 2 群間で比較した。また各症例について、手術により歩容が改善されたか否かを明らかにするため、GDI の変化の臨床的有意差とされる 5 点を基準として³⁾、術前後で 5 点以上増加したものを改善例、5 点以上減少したものを悪化例、その間のものを変化なし例とした。2 群間で、歩容の改善例の割合を比較した。

統計学的検討は、術前後の比較には、paired t-test を、2 群間の GDI の変化の比較には unpaired t-test を用いた。2 群間の改善例の割合の比較には、Chi-Square test を用いた。P<0.05 を有意差ありとした。

結 果

GMFCS レベル I & II 群 19 例とレベル III 群 6

表 3. 手術時年齢、経過観察期間、最終調査時年齢の比較

	手術時年齢	経過観察期間	最終調査時年齢*
全例(25 例)	7.8±2.2	1.7±0.8	9.5±2.3
GMFCS レベル I&II 群(19 例)	8.2±2.3	1.8±0.8	10±2.3
GMFCS レベル III 群(6 例)	6.7±1.4	1.2±0.5	7.8±1.6

平均値±標準偏差 * unpaired t-test p = 0.043

表 4. GDI の変化

	術前 GDI	術後の GDI	GDI の変化	* p-value
全例 47 肢	62.3±9.8	77.5±11.3	15.2	0.0001
GMFCS レベル I & II 群(35 肢)	63.0±10.9	80.4±11.5	17.4	0.0001
GMFCS レベル III 群(12 肢)	60.3±5.5	68.9±4.1	8.6	0.0001
** p-value	n.s.	0.001	0.023	

* paired t-test ** unpaired t-test n.s. : not significant

例の手術時平均年齢は、それぞれ 8.2 歳(4.8~12.8 歳)と 6.7 歳(5~9 歳)、術後平均経過観察期間 1.8 年(0.3~3.3 年)と 1.2 年(0.4~2 年)、最終調査時平均年齢 10 歳(6.5~13.7 歳)と 7.8 歳(5.5~9.9 歳)であった。このなかで最終調査時年齢のみ III 群の年齢の方が有意に低かった(表 3)。

25 例 47 肢の手術前後の GDI の平均値は、62.3 点から 77.5 点(15.2 点増加)へ有意に改善された。GMFCS レベル I & II 群の 19 例 35 肢とレベル III 群の 6 例 12 肢において、GDI は、それぞれ 63.0 点から 80.4 点(17.4 点増加)へ、60.3 点から 68.9 点(8.6 点増加)へ有意に改善された(表 4)。また、2 群間の比較では、術前の GDI には有意差がなかったが、術後の GDI は GMFCS レベル III 群が有意に低く、GDI の変化は GMFCS III 群が有意に小さかった。

また、25 例 47 肢において、手術後、歩容が改善されたのは 39 肢(83.0%)、変化なし 6 肢(12.8%)、悪化したのは 2 肢(4.3%)であった。悪化例は、手術時 8 歳の痙直型両麻痺の女児で、両側の内側ハムストリング延長術、両腓腹筋後退術などを一期的に受け、術後 11 か月に歩行分析が行われた。調査時、両側の stiff knee gait を呈し、

両下肢でGDIが5点以上低下した。GMFCSレベルI&II群とレベルIII群の間で、手術後の歩容の改善例の割合には有意差がなかった(表5)。

症 例

痙直型両麻痺、女児、6歳時、両下肢の一期的多関節レベル手術施行例(図1-a, b)。術前、骨盤前傾のdouble bump pattern、骨盤回旋の可動域増大、両股関節内旋(立脚期)、両下肢内旋歩行(立脚期)、右膝関節過伸展(立脚期)、右尖足歩行などがみられた。歩容改善目的で、両大腿骨転子間減捻骨切り術、両脛骨外旋骨切り術、両大腰筋腱切離術、両内外側ハムストリング延長術、両腓腹筋後退術などの一期的手術を施行した。手術後2年11か月、各関節レベルにおいて術前の異常歩行が明らかに改善された。その結果、歩容の包括的評価指数のGDIは、右下肢は61.2点から93.8点へ、左下肢は54.2点から77.6点へ改善された。

考 察

実用的に歩行している脳性麻痺児(GMFCSレベルI~III)に対する一期的多関節レベル手術について、GDIを用いた成績の報告が散見される(表6)。Thomasonら¹⁰⁾は、GMFCSレベルIIとレベルIIIの脳性麻痺児19例で、術前GDIの平均

値65.2点が術後79.2点へ14点増加したと報告した。Sungら⁸⁾は、GMFCSレベルI~IIIの脳性麻痺児29例で、術前GDIの平均値69.4点が術後82.2点へ12.8点増加したと報告した。Svehlikら⁹⁾は、GMFCSレベルIIとレベルIIIの脳性麻痺児39例で、術後GDIが12点増加したと報告した。本研究では、GMFCSレベルI~IIIの脳性麻痺児25例で、術前GDIの平均値62.3点が術後77.5点になり15.2点増加した。過去の報告と同様、一期的多関節レベル手術により歩容は明らかに改善された。しかしながら、手術後GDIの平均値は80点程度であり、正常範囲と考えられる2SD内に改善されない症例が存在している。これは、脳性麻痺児の下肢の整形外科手術は、短縮した筋・腱の延長術とLever arm dysfunctionと呼ばれる大腿骨・下腿骨の回旋変形に対する回旋骨切り術や外反尖足変形に対する足部の骨関節手術であり²⁾、その他の脳損傷の一次的な症状である筋の過緊張、筋力低下、選択的運動コントロールの障害などに対しては直接治療していないことが、その理由と考えられる。

これまで、GMFCSレベルI~IIIの症例全体の手術成績の報告は散見されるが、GMFCSレベル別の報告は非常に少ない。Bickleyら¹⁾は、痙直型脳性麻痺児269例において、GMFCSレベルI(57例)、レベルII(123例)、レベルIII(89例)で術前後のGDIの平均値は、それぞれ76.8点から84.4点(7.6点増加)、65.6点から76.2点(10.6点増加)、52.9点から63.5点(10.6点増加)であり、各群において術後GDIが有意に改善されたと述べた。しかし、歩容の改善(GDIの変化)について、GMFCSレベルI、II、IIIの3群間で有意差がなかったと分析している。一方、本研究では、

表5. 歩容の変化

	改善	変化なし	悪化
GMFCSレベルI&II群(35肢)	30	3	2
GMFCSレベルIII群(12肢)	9	3	0
合計	39	6	2

Chi-square test p = 0.395

表6. 一期的多関節レベル手術成績の報告

対象(GMFCS)	手術時平均年齢	術前後のGDIの平均値(変化)	経過観察期間	報告
19例(II:14例, III:5例)	9.7歳(7.7~12.2歳)	65.2 → 79.2(14)	5年	Thomason(2013)
29例(I:17例, II:19例, III:3例)	8.3歳(5.4~16.3歳)	69.4 → 82.2(12.8)	10年	Sung(2013)
39例(II:20例, III:19例)	10.3歳(5.7~15.5歳)	記載なし(12.1)	1年	Svehlik(2016)
25例(I&II:19例, III:6例)	7.8歳(4.8~12.8歳)	62.3 → 77.5(15.2)	1.7年	筆者ら(2020)

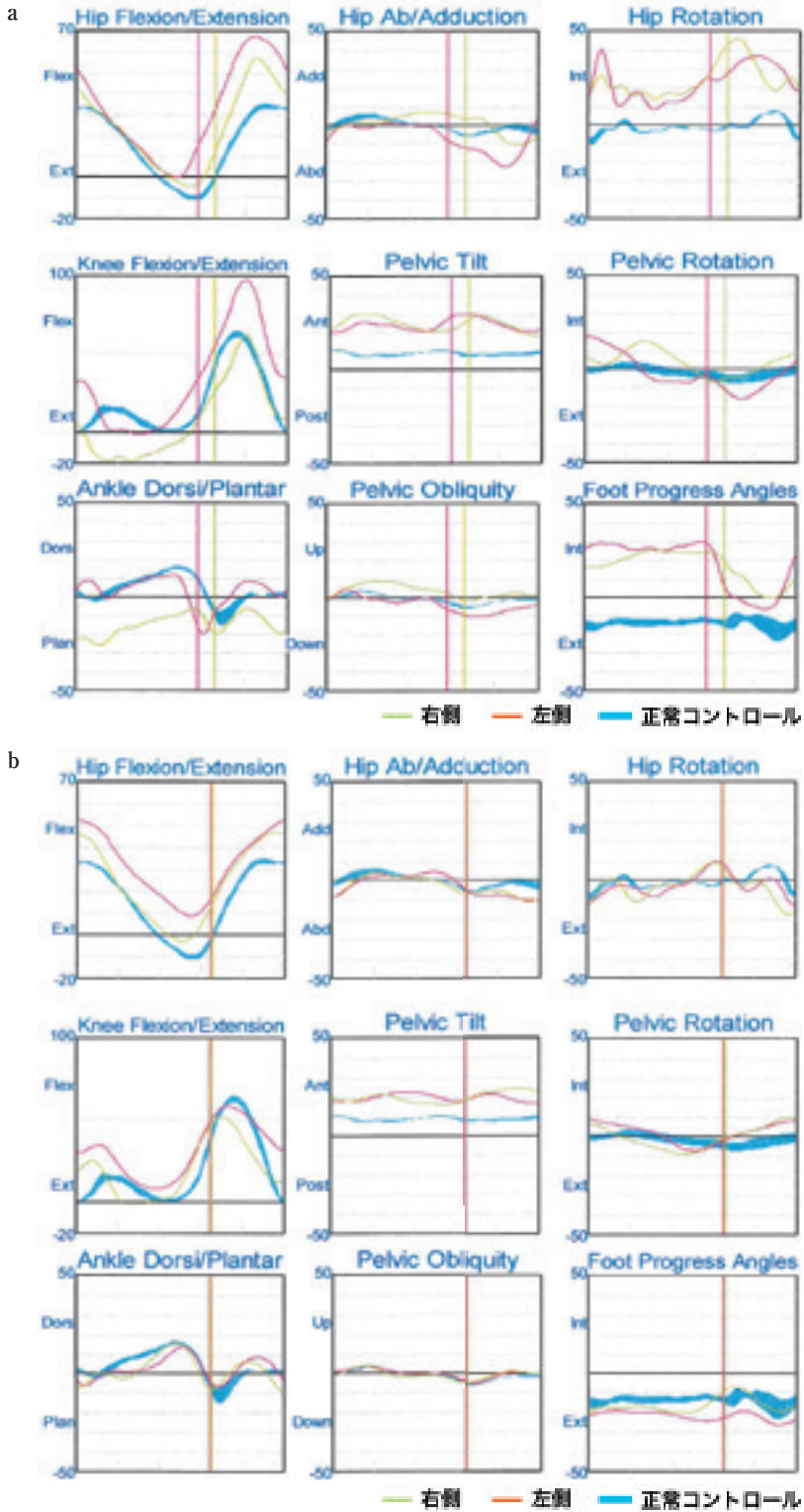


図 1.
a: 術前 kinematics
b: 調査時 kinematics

GMFCS レベル I & II 群は、最終調査時の GDI 80.4 点(17.4 点増加)で、III 群の最終調査時の GDI は 68.9 点(8.6 点増加)であり、最終調査時の GDI と GDI の変化において 2 群間で有意差を認めた(表 4)。Bickley らと本研究の結果は、GMFCS レベル III 群の最終調査時の GDI が 60 点台と不良であることが一致した。Molloy ら⁵⁾は、平均年齢 10.8 歳(4~17 歳)の 184 例の手術歴のない脳性麻痺児と正常児 48 例の調査から、GDI の平均値は、正常児は 101.14 点、GMFCS レベル I は 86.86 点、レベル II は 76.63 点、レベル III は 64.08 点、レベル IV は 55.67 点であり、粗大運動能力が低くなるほど、歩容も悪化することを示した。GMFCS レベル III 群の脳性麻痺児の術前と術後においても歩容が悪いのは、筋の過緊張、筋力低下、選択的運動コントロール障害などが GMFCS レベル I、II 群より重度であるためだが、これらの根本的な治療法がない状況下では、歩容の改善には限界がある。今後、これらの脳損傷の一次的障害に対する治療が課題と思われる。

ここまで対象症例全体と GMFCS レベル別の 2 群の歩容の改善について検討したが、次に症例個々の歩容の変化について検討する。25 例 47 肢中、術後 GDI が 5 点以上低下した歩容悪化例は、1 例 2 肢のみであった。この症例は手術時 8 歳で術後 11 か月の歩行分析で stiff knee gait を呈し、理学所見では Ely テスト陽性(大腿直筋の痙縮を示す)であった。今後、大腿直筋移行術を行うことを計画している。当科では、一次的多関節レベル手術において、ハムストリング延長術を行う場合、術後 3 週間の膝関節の伸展位ギプス固定を基本としている。大腿直筋移行術を併用すると、術後 3 週間の固定により膝関節の伸展拘縮が発生しやすい。このため、大腿直筋移行術は、手術後 2、3 年経過をみて stiff knee gait と大腿直筋の明らかな痙縮を確認後に行っている。本研究の歩容悪化例は、大腿直筋移行術を行えば、歩容が改善されると予想している。したがって、一次的多関節レベル手術と追加手術として的大腿直筋移行術により、術後歩容が悪化する症例は非常にまれであ

ると考えられる。

本研究の限界は、症例数が少ないこと、術後の経過観察期間が短いことである。術後の平均経過観察期間が 1.7 年であり、今後下肢筋力の回復などにより、さらなる歩容の改善が予想される症例が含まれている。また、最終調査時の検査で歩行用短下肢装具を使用している例が術前より多い。術後、早期の例などで使用しており今後、中・長期の手術成績を明らかにしていく方針である。

結 語

実用的な歩行をしている脳性麻痺児 25 例 47 肢に対する一次的多関節レベル手術の短期成績を三次元歩行分析から得られる GDI を用いて明らかにした。多くの症例において歩容が改善され、悪化したのは 1 例 2 肢のみであった。本手術は、脳性麻痺児の歩行改善に有効である。

文献

- 1) Bickley C, Linton J, Scarborough N et al : Correlation of technical goals to the GDI and investigation of post-operative GDI change in children with cerebral palsy. *Gait Posture* **55** : 121-125, 2017.
- 2) Gage JR, Novacheck TF : An update on the treatment of gait problems in cerebral palsy. *J Pediatr Orthop B* **10** : 265-274, 2001.
- 3) Koop S, Braddock MB : Gait and motion analysis for treatment planning and outcome assessment. *Gillette Children's Speciality Healthcare, St Paul*, 8-11, 2014.
- 4) McGinley JL, Dobson F, Ganeshalingam et al : Single-event multilevel surgery for children with cerebral palsy : a systematic review. *Dev Med Child Neurol* **54** : 117-128, 2012.
- 5) Molloy M, McDowell BC, Kerr C et al : Further evidence of validity of the gait deviation index. *Gait Posture* **31** : 479-482, 2010.
- 6) Rang M : 'Cerebral palsy' in *Pediatric Orthopaedics*, 3rd ed (Morrissy RT ed), Lippincott, Philadelphia, 465-506, 1990.
- 7) Schwartz MH, RoZumalski A : The gait deviation index : a new comprehensive index of gait pathology. *Gait Posture* **28** : 351-357, 2008.

- 8) Sung KH, Chung CY, Lee KM et al : Long term outcome of single event multilevel surgery in spastic diplegia with flexed knee gait. *Gait Posture* **37** : 536-541, 2013.
- 9) Svehlik M, Steinwender G, Lehmann T et al : Predictors of outcome after single event multilevel surgery in children with cerebral palsy. *J Bone Joint Surg* **98-B** : 278-281, 2016.
- 10) Thomason P, Selber P, Graham HK : Single event surgery in children with bilateral spastic cerebral palsy : a 5 year prospective cohort study. *Gait Posture* **37** : 23-28, 2013.