

第 8 章

整形外科手術

脳性麻痺，（小児）痙縮・ジストニアの治療において，整形外科手術はどのような変形・拘縮に推奨されるか？

推奨

1. 長期間持続する麻痺あるいは痙縮・ジストニアの筋緊張亢進から生じる二次的な筋骨格系の変形，拘縮に対して，十分な科学的根拠は乏しいものの，整形外科手術を推奨する。

GRADE 1C 推奨の強さ「強い推奨」/エビデンスの確実性「弱」

解説

筋の過緊張を呈する脳性麻痺児では，種々の痙縮治療にもかかわらず，長期間の麻痺あるいは痙縮，筋の過緊張状態により，二次的に筋の拘縮・短縮，下肢の長管骨のねじれ変形，足部の変形などが生じる¹⁾。現在の脳性麻痺児の下肢の整形外科手術は，おもに筋の拘縮・短縮に対する筋・腱延長術が最もよく行われるが，そのほかに股関節脱臼や外反尖足変形に対する骨関節手術，関節周囲の筋のインバランスに対する腱移行術，大腿骨や下腿骨のねじれ変形に対する長管骨の回旋骨切り術などが行われる²⁾。これらの手術は，児の粗大運動能力レベルにより使用される頻度が異なる。1991年 Gage³⁾は，脳性麻痺児にみられる二次的なすべての骨関節変形を，運動力学的観点から lever arm deficiency という概念で総称した。その後，lever arm dysfunction が英語文献では広く用いられている⁴⁾。現在の整形外科手術は，痙縮に対する治療法ではなく，痙縮などから生じる二次的な筋の拘縮・短縮と lever arm dysfunction に対する治療であるという考え方が一般的である⁵⁻⁸⁾。

脳性麻痺児の尖足変形（下腿三頭筋の拘縮・短縮）に対する種々の下腿三頭筋延長術のシステマティックレビューがある⁹⁾。対象とした 35 文献において手術後，平均 follow up 期間 4.8 年で尖足の再発率は 0～43% であった。筋の拘縮・短縮の整形外科手術後，痙縮は残存しているため，ある程度の拘縮の再発が生じることは他の筋の延長後にも生じる。

一方，筋・腱延長術は，ゴルジ装置と筋紡錘に影響する筋緊張を変えるため，痙縮に短期的な効果をもたらす可能性を指摘する意見もある⁶⁾が，これまで整形外科手術が痙縮そのものに対する治療法であると位置づける質の高い文献はみられない。

文献

- 1) Graham HK, Selber P. Musculoskeletal aspects of cerebral palsy. *J Bone Joint Surg Br* 2003 ; **85** : 157-66.
- 2) Bache CE, Selber P, Graham HK. (ii) The management of spastic diplegia. *Curr Orthop* 2003 ; **17** : 88-104.

- 3) Gage JR. *Gait analysis in cerebral palsy*. London : MacKeith Press, 1991 : 102–107.
- 4) Gage JR, Novacheck TF. An update on the treatment of gait problems in cerebral palsy. *J Pediatr Orthop B* 2001 ; **10** : 265–74.
- 5) Novacheck TF, Gage JR. Orthopedic management of spasticity in cerebral palsy. *Childs Nerv Syst* 2007 ; **23** : 1015–31.
- 6) Damiano DL, Alter KE, Chambers H. New clinical and research trends in lower extremity management for ambulatory children with cerebral palsy. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 2009 ; **20** : 469–91.
- 7) Shamsoddini A, Amirsalari S, Hollisaz MT, Rahimnia A, Khatibi-Aghda A. Management of spasticity in children with cerebral palsy. *Iran J Pediatr* 2014 ; **24** : 345–51.
- 8) Tilton A. Management of spasticity in children with cerebral palsy. *Semin Pediatr Neurol* 2009 ; **16** : 82–9.
- 9) Shore BJ, White N, Graham HK. Surgical correction of equinus deformity in children with cerebral palsy : a systematic review. *J Child Orthop* 2010 ; **4** : 277–90.

歩行改善のため、 下肢の整形外科手術はいつ行うべきか？

推奨

1. 脳性麻痺児の歩行改善のため、下肢の多関節レベル手術を行うことが推奨されるが、適応年齢に関する明確な合意はなく、十分な科学的根拠は乏しい。

GRADE 2C 推奨の強さ「弱い推奨」/エビデンスの確実性「弱」

解説

ここでは、歩行可能な痙縮型脳性麻痺児(独歩から実用的に杖・歩行器を使用して歩いている児)を対象とする。痙直型脳性麻痺児の歩行改善の整形外科手術は、下肢の筋の拘縮や骨格系の変形を一度(一次的に)に直すアプローチが1980年頃から報告され、現在では世界的に標準の手術となっている¹⁻³⁾。この股関節、膝関節、足関節レベルでの矯正を一次的に行うアプローチの名称は時とともに変化し、現在では、一期的多関節レベル手術⁴⁾または、多関節レベル手術⁵⁾が用いられることが多い。Dreher ら⁵⁾は、216例の術後平均9年の長期 follow で、追加手術が39%の症例に行われていたと報告し「一次的」を省いた多関節レベルの名称を勧めた。以下、多関節レベル手術を用いる。

多関節レベル手術以前は、1関節レベルの腱延長術を行いその結果をみて、後日、他の関節レベル手術を行う「段階的手術」が行われていた。今日まで多関節レベル手術と段階的手術の成績を比較した論文はない。しかし1980年頃から三次元歩行分析を用いて多関節レベル手術後の歩行改善のすぐれた成績が数多く報告された。これらの多数の論文を分析した研究として、2つのシステマティックレビュー^{1,2)}と1つのメタアナリシス³⁾がある。メタアナリシスは、74文献を対象としたが、そのうちランダム化比較試験(randomized controlled trial : RCT)は1文献のみ⁶⁾であり、その他はコホート研究であった。これら3つの統合再解析の研究は、多関節レベル手術は歩行改善に有効であることを示した。

手術のタイミングは、下肢の拘縮の程度や年齢などにより決定されるが、3つの統合再解析の研究は手術のタイミングについて分析していない。下肢の拘縮の手術適応については、次のCQ8-3で述べる。

最適手術年齢について分析した論文は非常に少ない。Švehlík ら⁷⁾は粗大運動機能分類システム(gross motor function classification system : GMFCS)レベルⅢの10歳から12歳で歩行の改善度が最も高かったと報告した。しかしretrospective studyであり、エビデンス

レベルは低い。また、手術の最低年齢については、CQ8-3の尖足拘縮で述べるが、再発リスクを避けるため6歳程度が勧められる⁸⁾。また、Thomasonら⁶⁾は、脳性麻痺児は6歳から12歳の間に歩行機能が低下しやすく、そのおもな要因が二次的な筋骨格の拘縮・変形と考え、この期間が多関節レベル手術の最適年齢と述べた。現在、手術年齢については、明確な合意は得られていない。専門家の意見として、歩行成熟期⁹⁾、下肢の筋骨格系変形の進行¹⁰⁾などの観点から、より狭い年齢幅を提案するものもある。早期に筋の拘縮が進行して、6歳未満に手術が必要な症例も存在する。

なお、低年齢での手術を避けるため、二次的な筋骨格系の変形、拘縮が進まないように、理学療法、ボツリヌス治療、矯正ギプス治療、装具療法を行うアルゴリズムが提案されている^{10, 11)}。

文献

- 1) McGinley JL, Dobson F, Ganeshalingam R, Shore BJ, Rutz E, Graham HK. Single-event multilevel surgery for children with cerebral palsy : a systematic review. *Dev Med Child Neurol* 2012 ; **54** : 117–28.
- 2) Lamberts RP, Burger M, du Toit J, Langerak NG. A Systematic Review of the Effects of Single-Event Multilevel Surgery on Gait Parameters in Children with Spastic Cerebral Palsy. *PLoS One* 2016 ; **11** : e0164686.
- 3) Amirmudin NA, Lavelle G, Theologis T, Thompson N, Ryan JM. Multilevel surgery for children with cerebral palsy : a meta-analysis. *Pediatrics* 2019 ; **143** : e20183390.
- 4) Zwick EB, Saraph V, Linhart WE, Steinwender G. Propulsive function during gait in diplegic children : evaluation after surgery for gait improvement. *J Pediatr Orthop B* 2001 ; **10** : 226–33.
- 5) Dreher T, Thomason P, Švehlík M, et al. Long-term development of gait after multilevel surgery in children with cerebral palsy : a multicentre cohort study. *Dev Med Child Neurol* 2018 ; **60** : 88–93.
- 6) Thomason P, Baker R, Dodd K, et al. Single-event multilevel surgery in children with spastic diplegia : a pilot randomized controlled trial. *J Bone Joint Surg Am* 2011 ; **93** : 451–60.
- 7) Švehlík M, Steinwender G, Lehmann T, Kraus T. Predictors of outcome after single-event multilevel surgery in children with cerebral palsy : a retrospective ten-year follow-up study. *Bone Joint J* 2016 ; **98-B** : 278–81.
- 8) Rutz E, McCarthy J, Shore BJ, et al. Indications for gastrocnemius lengthening in ambulatory children with cerebral palsy : a Delphi consensus study. *J Child Orthop* 2020 ; **14** : 405–14.
- 9) Tilton A. Management of spasticity in children with cerebral palsy. *Semin Pediatr Neurol* 2009 ; **16** : 82–9.
- 10) Bache CE, Selber P, Graham HK. (ii) The management of spastic diplegia. *Curr Orthop* 2003 ; **17** : 88–104.
- 11) Goldstein M, Harper DC. Management of cerebral palsy : equinus gait. *Dev Med Child Neurol* 2001 ; **43** : 563–9.

下肢の拘縮・変形の改善のため、 整形外科手術はいつ行うべきか？

推奨

1. 尖足拘縮：尖足歩行と他動足関節の背屈角度 $< 0^\circ$ で、腓腹筋の選択的延長術が適応となる。手術時年齢は、6 歳から 10 歳が推奨されるが、十分な科学的根拠は乏しい。

GRADE 2C 推奨の強さ「弱い推奨」／エビデンスの確実性「弱」

2. 膝関節の屈曲拘縮：かがみ膝歩行と膝窩角 $> 45^\circ \sim 50^\circ$ で、ハムストリングの延長術が推奨されるが、十分な科学的根拠は乏しい。

GRADE 2C 推奨の強さ「弱い推奨」／エビデンスの確実性「弱」

3. 股関節の屈筋拘縮：股関節の屈曲歩行と Thomas テスト（股関節屈曲拘縮） $> 15^\circ \sim 20^\circ$ で大腰筋の選択的延長術が推奨されるが、十分な科学的根拠は乏しい。

GRADE 2C 推奨の強さ「弱い推奨」／エビデンスの確実性「弱」

4. 股関節の内旋拘縮：股関節内旋歩行と、股関節の他動回旋可動域の内旋偏位、大腿骨過大前捻変形で大腿骨減捻骨切り術が推奨されるが、十分な科学的根拠は乏しい。

GRADE 2C 推奨の強さ「弱い推奨」／エビデンスの確実性「弱」

解説

ここでは脳性麻痺児によくみられる 4 つの下肢の拘縮を取り上げた。なお、歩行可能な痙直型脳性麻痺児（独歩から実用的に杖・歩行器を使用して歩いている児）を対象とする。

尖足拘縮

Shore ら¹⁾は、尖足に対する下腿三頭筋延長術の 35 文献を対象としたシステマティックレビューを行った。そのなかで、尖足手術の成績の決定因子は、年齢と麻痺のタイプ（片麻痺か両麻痺）であると報告した。35 文献中 7 文献が、低年齢での手術は再発率を高めること、そのうち 2 文献は 5, 6 歳前の手術が再発率の高いことを示した。1 文献は、年齢と再発率の関係なしとした。一方、理学所見や歩行については、手術適応の分析は行っていない。

Dreher ら²⁾は、44 例の両麻痺児の下肢の多関節レベル手術（尖足に対しては腓腹筋延長

術が基本)後, 平均9年で, 24%の尖足の再発と10%の踵足の発生を報告した. Firth ら³⁾は, 40例の両麻痺児の下肢の多関節レベル手術(尖足に対して腓腹筋延長術が基本)後, 平均7.5年で, 尖足の再発35%, 過矯正(踵足)2.5%と報告した. 両者とも, 尖足の整形外科手術について長期成績は比較的良好であったと結論した.

Rutz ら⁴⁾は, 尖足変形の手術適応について, 17名の経験豊富な小児整形外科医による Delphi consensus study を行った. その結果, 4歳未満の手術は, 尖足の再発リスクが高いため, 避けるべきであり, 最適手術年齢は6歳から10歳であることに agreement(参加者の60~80%)が得られた. 理学所見では, 麻酔下で足関節の背屈角度 $< 0^{\circ}$ (膝関節伸展位, 屈曲位), 歩行の肉眼観察で踵接地不能に consensus(参加者の80%以上)が得られた. また三次元歩行分析では, 歩行中の足関節の尖足に consensus, 足関節底屈と膝伸展の過度の連動などに agreement が得られた. そして, 手術の決定には, 理学所見の尖足拘縮が重要であり, 歩行分析の尖足のみでは手術適応とはならないと指摘している.

なお, 整形外科手術の前には, 理学療法, ボツリヌス治療, 矯正ギブス治療, 装具療法を行うアルゴリズムが提案されている^{5,6)}.

膝関節の屈曲拘縮

かがみ膝歩行に対する種々の治療法の効果について, システマティックレビューが1文献⁷⁾と膝の機能障害に対する治療法の効果についてのシステマティックレビュー・メタアナリシスが1文献ある⁸⁾. いずれにおいても, ハムストリングの延長術が歩行を改善することは示されたが, その手術適応については検討されていない. 現在, 手術適応に関する明確な合意はない.

従来, ハムストリングの延長術の適応は, 歩行中の立脚期の持続的な膝関節屈曲 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 以上, 膝窩角 $> 40^{\circ} \sim 45^{\circ}$ が一般的であった⁹⁾.

しかし, 膝窩角と歩行パラメータとの相関がないこと¹⁰⁾やかがみ膝歩行の半数程度の症例でハムストリングの短縮がみられないことが報告されてきた¹¹⁾. 従来の膝窩角やかがみ膝歩行が手術の判断基準であることに問題があると指摘されている¹²⁾.

McCarthy ら¹³⁾は, 三次元歩行分析に精通した15名の著名な整形外科医の Delphi consensus study を行った. その結果, 手術適応について, 三次元歩行分析の立脚期初期の過剰な膝関節屈曲 $> 20^{\circ}$, 初期接地時の膝の屈曲角度 $> 30^{\circ}$, 歩行中のハムストリング長の短縮や伸縮速度の低下などに consensus(参加者の80%以上)が得られた. そして参加者の多くが, 膝窩角などの理学所見は補助的に使用していると報告した. わが国では, 歩行の肉眼観察, ビデオ観察で膝関節屈曲を確認して手術を行うことが勧められる.

股関節の屈曲拘縮

股関節の屈曲拘縮のおもな原因は, 腸腰筋の拘縮, 過緊張である. 腸腰筋の手術に関す

る文献は少なく、システマティックレビューやメタアナリシスはない。歩行している脳性麻痺児の股関節屈曲拘縮に対して、腸腰筋の大腿骨小転子での腱切離術は股関節屈曲力低下をきたし、歩行機能を低下させる¹⁴⁾。このため、腸腰筋の拘縮を改善しつつ、股関節屈曲力を維持するためには、大腰筋の選択的延長術が望ましいとされる¹⁵⁾。Novacheck ら¹⁵⁾は、大腰筋の筋内延長術後も三次元歩行分析のキネティクスを用いて股関節屈曲パワーが維持されたことを示した。Matuso ら¹⁶⁾は大腰筋の選択的延長法としてZ延長術を報告している。延長量を調節できるすぐれた方法であるが手技がややむずかしい。手術適応は、股関節の屈曲拘縮が考えられるがランダム化比較試験(randomized controlled trial : RCT)や質の高い比較研究はない。拘縮の程度 Thomas テスト 15°～20°を適応としているものが多い^{17, 18)}。

一方、三次元歩行分析を使用した臨床研究から、手術適応として歩行中の骨盤前傾の増大(> 24°)、骨盤前傾の可動域の増大(> 8°)、立脚期後期の股関節伸展制限(> 8°)、骨盤前傾のダブルバンプパターンなどが提案されている^{17, 19, 20)}(数値は Truong の文献¹⁹⁾から引用)。わが国では、歩行の肉眼観察やビデオ観察を行い骨盤前傾の増大、股関節伸展制限などを確認し手術を行うことが勧められる。

股関節の内旋拘縮

Jung ら²¹⁾は、歩行している脳性麻痺児の股関節の内旋歩行に対する軟部組織手術の効果について、3研究を対象としたメタアナリシスを行い、手術後歩行中の股関節内旋角度は平均 6.6°改善した報告した。Park ら²²⁾は、156例の脳性麻痺児の軟部組織手術後の改善度は平均 4.7°であったことから、確実な矯正には大腿骨骨切り術を考慮すべきと主張した。ただし、下肢の屈曲拘縮に対する軟部組織手術を行うことにより副次的効果で内旋拘縮の改善をある程度期待することはできる²³⁾。

一方、Carty ら²⁴⁾は、股関節内旋歩行に対する大腿骨減捻骨切り術の歩行中の骨盤、股関節の回旋への効果について、13文献のシステマティックレビュー・メタアナリシスを行った。手術時平均年齢 9.4 歳、平均経過観察期間 1.6 年で片麻痺児では歩行中の股関節内旋が 17.6°、両麻痺では 14.3°の改善を報告したが、手術適応については検討していない。

McCarthy ら¹³⁾は、三次元歩行分析に精通した 15 名の著名な整形外科医の Delphi consensus study を行った。大腿骨減捻骨切り術の適応として、股関節内旋歩行(歩行中の股関節内旋角度 > 15°、大腿骨過大前捻変形(大腿骨前捻角 > 30°)、股関節の内旋可動域優位(内旋 > 60°)などに consensus を得た。各手術適応の数値としては、歩行中の股関節内旋角度 > 10°～15°²⁵⁻²⁷⁾、大腿骨前捻角 > 25°～45°^{20, 26)}、股関節可動域(内旋 > 60°～70°、外旋 < 20°～25°)^{26, 28)}も提案されており、現在、明確な合意は得られていない。わが国では、股関節内旋歩行については、歩行の肉眼観察、ビデオ観察で確認して手術を行うことが勧められる。なお、脳性麻痺児の下肢の内旋歩行は、下腿骨内捻変形や足部変形なども要因となるため、大腿骨骨切り術、下腿骨骨切り術、足部の手術などの選択が必要となる。

文献

- 1) Shore BJ, White N, Graham HK. Surgical correction of equinus deformity in children with cerebral palsy : a systematic review. *J Child Orthop* 2010 ; **4** : 277–90.
- 2) Dreher T, Buccoliero T, Wolf SI, et al. Long-term results after gastrocnemius-soleus intramuscular aponeurotic recession as a part of multilevel surgery in spastic diplegic cerebral palsy. *J Bone Joint Surg Am* 2012 ; **94** : 627–37.
- 3) Firth GB, Passmore E, Sangeux M, et al. Multilevel surgery for equinus gait in children with spastic diplegic cerebral palsy : medium-term follow-up with gait analysis. *J Bone Joint Surg Am* 2013 ; **95** : 931–8.
- 4) Rutz E, McCarthy J, Shore BJ, et al. Indications for gastrocnemius lengthening in ambulatory children with cerebral palsy : a Delphi consensus study. *J Child Orthop* 2020 ; **14** : 405–14.
- 5) Goldstein M, Harper DC. Management of cerebral palsy : equinus gait. *Dev Med Child Neurol* 2001 ; **43** : 563–9.
- 6) Bache CE, Selber P, Graham HK. (II) The management of spastic diplegia. *Curr Orthop* 2003 ; **17** : 88–104.
- 7) Galey SA, Lerner ZF, Bulea TC, Zimble S, Damiano DL. Effectiveness of surgical and non-surgical management of crouch gait in cerebral palsy : A systematic review. *Gait Posture* 2017 ; **54** : 93–105.
- 8) Campbell R, Tipping N, Carty C, Walsh J, Johnson L. Orthopaedic management of knee joint impairment in cerebral palsy : A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture* 2020 ; **80** : 347–60.
- 9) Rab G. Consensus on crouched gait. In Sussman MD, ed. *The diplegic child : evaluation and management*. Park Ridge, IL : American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1992 : 337–9.
- 10) Ounpuu S, DeLuca PA, Davis RB. The long-term effects of the multilevel surgical approach in children with cerebral palsy : a five year follow-up using gait analysis. Conference Proceeding of the Fourth Annual Gait and Clinical Movement Analysis Meeting, Dallas, Texas, March 1999.
- 11) Arnold AS, Liu MQ, Schwartz MH, Ounpuu S, Delp SL. The role of estimating muscle-tendon lengths and velocities of the hamstrings in the evaluation and treatment of crouch gait. *Gait Posture* 2006 ; **23** : 273–81.
- 12) Novacheck TF. Orthopaedic treatment of muscle contractures. In : Gage JR, Schwartz MH, Koop SE, Novacheck TF, eds. *the identification and treatment of gait problems in cerebral palsy*. 2nd ed., London : MacKeith Press, 2009 : 445–72.
- 13) McCarthy J, Shrader MW, Graham K, et al. Establishing surgical indications for hamstring lengthening and femoral derotational osteotomy in ambulatory children with cerebral palsy. *J Child Orthop* 2020 ; **14** : 50–7.
- 14) Bialik GM, Pierce R, Dorociak R, Lee TS, Aiona MD, Sussman MD. Iliopsoas tenotomy at the lesser trochanter versus at the pelvic brim in ambulatory children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop* 2009 ; **29** : 251–5.
- 15) Novacheck TF, Trost JP, Schwartz MH. Intramuscular psoas lengthening improves dynamic hip function in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop* 2002 ; **22** : 158–64.
- 16) Matsuo T, Hara H, Tada S. Selective lengthening of the psoas and rectus femoris and preservation of the iliacus for flexion deformity of the hip in cerebral palsy patients. *J Pediatr Orthop* 1987 ; **7** : 690–8.
- 17) Morais Filho MC, de Godoy W, Santos CA. Effects of intramuscular psoas lengthening on pelvic and hip motion in patients with spastic diparetic cerebral palsy. *J Pediatr Orthop* 2006 ; **26** : 260–4.
- 18) Mallet C, Simon AL, Ilharreborde B, Presedo A, Mazda K, Penneçot GF. Intramuscular psoas lengthening during single-event multi-level surgery fails to improve hip dynamics in children with spastic diplegia. Clinical and kinematic outcomes in the short-and medium-terms. *Orthop Traumatol Surg Res* 2016 ; **102** : 501–6.
- 19) Truong WH, Rozumalski A, Novacheck TF, Beattie C, Schwartz MH. Evaluation of conventional selection criteria for psoas lengthening for individuals with cerebral palsy : a retrospective, case-controlled study. *J Pediatr Orthop* 2011 ; **31** : 534–40.
- 20) Thomason P, Selber P, Graham HK. Single Event Multilevel Surgery in children with bilateral spastic cerebral palsy : a 5 year prospective cohort study. *Gait Posture* 2013 ; **37** : 23–8.
- 21) Jung HJ, Yoon JY, Oh MK, et al. Effects of Soft Tissue Surgery on Pelvic and Hip Rotation in Patients with Spastic Diplegia : A Meta-Analysis. *Clin Orthop Surg* 2016 ; **8** : 187–93.
- 22) Park BS, Chung CY, Park MS, Lee KM, Cho SH, Sung KH. Effects of soft tissue surgery on transverse kinematics in patients with cerebral palsy. *BMC Musculoskelet Disord* 2019 ; **20** : 566.
- 23) Lofterød B, Terjesen T. Changes in lower limb rotation after soft tissue surgery in spastic diplegia. *Acta Orthop* 2010 ; **81** : 245–9.
- 24) Carty CP, Walsh HP, Gillett JG, et al. The effect of femoral derotation osteotomy on transverse plane hip and pelvic kinematics in children with cerebral palsy : a systematic review and meta-analysis. *Gait Posture* 2014 ; **40** : 333–40.
- 25) Dreher T, Wolf S, Braatz F, Patikas D, Döderlein L. Internal rotation gait in spastic diplegia—critical considerations for the femoral derotation osteotomy. *Gait Posture* 2007 ; **26** : 25–31.
- 26) Ounpuu S, DeLuca P, Davis R, Romness M. Long-term effects of femoral derotation osteotomies : an evaluation using three-dimensional gait analysis. *J Pediatr Orthop* 2002 ; **22** : 139–45.
- 27) Schwartz MH, Rozumalski A, Novacheck TF. Femoral derotational osteotomy : surgical indications and outcomes in children with cerebral palsy. *Gait Posture* 2014 ; **39** : 778–83.
- 28) Kim H, Aiona M, Sussman M. Recurrence after femoral derotational osteotomy in cerebral palsy. *J Pediatr Orthop* 2005 ; **25** : 739–43.

股関節亜脱臼のため、 整形外科手術はいつ行うべきか？

推奨

1. 痙直型脳性麻痺児における股関節亜脱臼に対する整形外科手術は、亜脱臼の指標である migration percentage が 40% を超え続けた段階で推奨されるが、十分な科学的根拠は乏しい。

GRADE 2C 推奨の強さ「弱い推奨」/エビデンスの確実性「弱」

解説

これまでの股関節脱臼、亜脱臼の治療に関する整形外科手術の報告は、主として痙直型脳性麻痺児を対象としており、弛緩の要素が強い症例の治療時期に関する報告は少ない。そのため、ここで提示した指針も痙直型脳性麻痺児を対象とした。また、粗大運動機能分類システム (gross motor function classification system : GMFCS) におけるレベルⅣ、Ⅴの症例を対象としている。GMFCS レベルⅠ、Ⅱ、Ⅲの症例においては亜脱臼が生じることは少なく、生じたとしても軽度で、進行も緩徐なため、亜脱臼に対する手術は、歩行機能向上のための下肢手術に含めて行うことがほとんどであるためである。

痙直型脳性麻痺児の股関節脱臼、亜脱臼の治療は、まず、種々の保存療法から開始するが、その後も病態が進行する場合に整形外科手術が検討される。整形外科手術は、原則的には股関節の亜脱臼の程度により、その術式が選択される。亜脱臼の程度を表す指標である migration percentage (MP. 単純 X 線股関節正面像において、大腿骨頭の骨端核が臼蓋縁より外側にある割合を示す数値¹⁾) が 40% を超える症例では、自然回復を望みにくく²⁾、50～60% 未満の段階で股関節周囲筋の軟部解離手術を行うことが推奨される。すでに MP が 50～60% 以上となった症例に対しては、軟部解離手術と大腿骨骨切り術の併用手術が提案され、さらに重度の臼蓋形成不全を伴う症例であれば、骨盤骨切り術・臼蓋形成術の併用も提案される³⁻⁷⁾。ただし、臨床の場では、重症心身障害児が対象となることが多く、年少時においては骨切り術の施行に困難を伴うことも多い。そのため、年少児における初回手術では、亜脱臼が進行していても軟部解離手術が第一選択となることも多く、さらに全身状態が不良な重症心身障害児者においては、観血的治療が行えない症例も存在する⁸⁾。このような例外はあるものの、亜脱臼の進行に伴い必要な手術侵襲は大きくなることから、整形外科手術としては、軟部解離手術を MP が 40% を超えた時期で、50～60% を超える

前に行うことが推奨される。なお、軟部解離手術については、手術時の年齢を予後予測因子として示すエビデンスレベルが高い報告はまだない³⁻⁵⁾。

一方で、すでにMPが50～60%を超えている年長児の場合は、大腿骨骨切り術を併用した治療が提案されるが、これらの症例では臼蓋形成不全を伴うものも多く、術後の臼蓋形態の改善を期待し、6歳、遅くとも8歳までの手術が望ましいとされる⁹⁻¹²⁾。

臼蓋形態に関しては、それ自体を手術時期の決定因子とし、臼蓋角として33～35°未満での手術介入を勧める報告も複数存在する^{13,14)}。ただし、脳性麻痺児の臼蓋形態に関する計測値は、一般的には信頼度が低いとされ、基準値としては、まだ確立されていない¹⁵⁾。

大腿骨骨切り術、骨盤骨切り術・臼蓋形成術との併用手術に関しては、高度な脱臼、重度の臼蓋形成不全を伴う症例においても良好な成績を期待できるため、手術時期の制限は少ない^{6,7)}。しかし、良好な術後成績を得るためには、脱臼、亜脱臼による二次的な骨頭変形が生じる前に治療を行うことが重要である⁷⁾。

文献

- 1) Reimers J. The stability of the hip in children. A radiological study of the results of muscle surgery in cerebral palsy. *Acta Orthop Scand Suppl* 1980 ; **184** : 1-100.
- 2) Hägglund G, Andersson S, Dümpe H, Lauge-Pedersen H, Nordmark E, Westbom L. Prevention of dislocation of the hip in children with cerebral palsy. The first ten years of a population-based prevention programme. *J Bone Joint Surg Br* 2005 ; **87** : 95-101.
- 3) 久嶋史枝, 池邊顕嗣朗, 永田武大, ら. 痙性股関節亜脱臼に対する整形外科的選択的痙性コントロール手術(OSSCS)の適応と限界. 日脳性麻痺の外研会誌 2019 ; **29** : 95-103.
- 4) Shore BJ, Yu X, Desai S, Selber P, Wolfe R, Graham HK. Adductor surgery to prevent hip displacement in children with cerebral palsy : the predictive role of the Gross Motor Function Classification System. *J Bone Joint Surg Am* 2012 ; **94** : 326-34.
- 5) Cornell MS, Hatrick NC, Boyd R, Baird G, Spencer JD. The hip in children with cerebral palsy. Predicting the outcome of soft tissue surgery. *Clin Orthop Relat Res* 1997 ; **340** : 165-71.
- 6) Alassaf N, Saran N, Benaroch T, Hamdy RC. Combined pelvic and femoral reconstruction in children with cerebral palsy. *J Int Med Res* 2018 ; **46** : 475-84.
- 7) Braatz F, Eidemüller A, Klotz MC, Beckmann NA, Wolf SI, Dreher T. Hip reconstruction surgery is successful in restoring joint congruity in patients with cerebral palsy : long-term outcome. *Int Orthop* 2014 ; **38** : 2237-43.
- 8) Miller F, Cardoso Dias R, Dabney KW, Lipton GE, Triana M. Soft-tissue release for spastic hip subluxation in cerebral palsy. *J Pediatr Orthop* 1997 ; **17** : 571-84.
- 9) Noonan KJ, Walker TL, Kayes KJ, Feinberg J. Varus derotation osteotomy for the treatment of hip subluxation and dislocation in cerebral palsy : statistical analysis in 73 hips. *J Pediatr Orthop B* 2001 ; **10** : 279-86.
- 10) Khalife R, Ghanem I, El Hage S, Dagher F, Kharrat K. Risk of recurrent dislocation and avascular necrosis after proximal femoral varus osteotomy in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop B* 2010 ; **19** : 32-7.
- 11) Shore BJ, Powell D, Miller PE, Matheney TH, Snyder BD. Acetabular and femoral remodeling after varus derotational osteotomy in cerebral palsy : the effect of age and Gross Motor Function Classification Level. *J Pediatr Orthop B* 2016 ; **25** : 322-30.
- 12) Tytkowski CM, Rosenthal RK, Simon SR. Proximal femoral osteotomy in cerebral palsy. *Clin Orthop Relat Res* 1980 ; **151** : 183-92.
- 13) Ha M, Okamoto T, Fukuta T, et al. Preoperative radiologic predictors of successful soft tissue release surgery for hip subluxation among cerebral palsy patients : A STROBE compliant study. *Medicine (Baltimore)* 2018 ; **97** : e11847.
- 14) Huh K, Rethlefsen SA, Wren TA, Kay RM. Surgical management of hip subluxation and dislocation in children with cerebral palsy : isolated VDRO or combined surgery? *J Pediatr Orthop* 2011 ; **31** : 858-63.
- 15) Lins LAB, Watkins CJ, Shore BJ. Natural History of Spastic Hip Disease. *J Pediatr Orthop* 2019 ; **39** (Suppl 1) : S33-7.

上肢機能改善に手術療法は推奨されるか？

推奨

1. 上肢変形拘縮による機能障害に対して、適切な多部位手術による手術療法が推奨されるが、十分な科学的根拠は乏しい。

GRADE 2C 推奨の強さ「弱い推奨」/エビデンスの確実性「弱」

2. 機能的でない上肢であっても、痛みの軽減、美容、衛生面、介護負担軽減を目的に手術療法が推奨されるが、科学的根拠はない。

GRADE 2D 推奨の強さ「弱い推奨」/エビデンスの確実性「とても弱い」

解説

肩の内転内旋変形に対する治療としては、大胸筋、肩甲下筋、烏口腕筋、広背筋・大円筋移行などの解離術や上腕骨骨切り術の報告¹⁻⁴⁾があり、肩の外旋変形に対する治療としては、棘下筋、小円筋の解離術などの報告がある¹⁾。

軟部組織手術により肩関節の可動域が改善し、痛みを訴えるすべての症例で疼痛の軽減が得られていた²⁾。大胸筋解離では、内転筋力を温存したまま肩関節可動域が改善、介護者の満足度も高く、患者ケアの改善も期待される³⁾。多部位手術の結果ではあるが、上肢機能の改善が得られ、年齢別、片麻痺と他のタイプ間での比較では機能改善に差は認めない⁴⁾。

肘の屈曲変形に対する治療としては、上腕二頭筋、上腕筋、腕橈骨筋などの解離術を変形拘縮の程度により組み合わせた報告⁵⁻⁸⁾がある。機能的な改善のみならず、歩行時の肘屈曲角度や自動伸展角度の改善を認め⁶⁾、長期的にも肘屈曲角度や自動伸展角度の改善が保持される⁸⁾。肘関節の可動域については有意な改善があるとする報告や²⁾、有意な改善がないとする報告もある⁸⁾。

前腕の回内変形と手関節掌屈尺側偏位に対する治療としては、円回内筋、円回内筋屈筋起始部、方形回内筋の解離術、円回内筋、尺側手根屈筋、腕橈骨筋、上腕筋の移行術などを組み合わせた手術の報告があり^{5, 8-12)}、前腕回内拘縮の強い場合の橈骨回旋骨切り術や、手関節掌屈拘縮が強い場合の手関節固定術の報告もある。

軟部組織手術により前腕の回外可動域の改善¹⁰⁾、手関節の背屈可動域の改善、基本的な日常生活スキルの向上、上肢機能の向上が期待されるが^{13, 14)}、回内外全体の可動域は変わ

らずに可動域全体が回外方向へ偏位するとの報告もある¹³⁾。長期的に観察すると assisting hand assessment (AHA) による手機能評価は術前の状態に戻るものの、肘関節、手関節の伸展可動域は維持されとの報告や¹¹⁾、手関節掌屈変形に対する腱移行術後の遅発性変形の報告がある¹²⁾。上肢手術の最適年齢については、より低年齢での手術を勧めているものの¹⁵⁾、腱移行術後の遅発性変形については手術時年齢 13 歳以下にその多くを認めている¹²⁾。

手指変形、母指の thumb-in-palm 変形に対する治療としては、手指の屈筋腱、母指内転筋、屈筋腱などの解離術、長母指伸筋腱移行術、中手指節間関節固定術などの報告¹⁶⁻¹⁸⁾がある。手指機能の改善が報告されているが、house functional scale による評価では術前の手指操作能力分類システム (manual ability classification system : MACS) の高い群において機能の改善、高い満足度が得られる¹⁶⁾。把持機能改善とともに、長期的にもその機能が保持されている報告もある¹⁸⁾。

手指の swan neck 変形に対する治療としては、腱移行術、腱固定術、内在筋解離術などの報告がある¹⁹⁻²¹⁾。短期的には変形は改善、手指の屈曲力の低下なく、把握含めた機能の改善が得られているものの²⁰⁾、長期的にはその効果が持続しないとの報告もある²¹⁾。

上肢では多部位での手術として行われることも多く、症例の重症度や治療目的にあわせて各種の筋解離術、腱移行術、矯正骨切り術、関節固定術などが組み合わされる。

上肢全体の機能向上、変形改善、美容、衛生などを目的として治療が行われるが、概ね上肢機能の改善が得られると考えられる。長期での報告が少なく、機能改善がどの程度継続するかは不明である。1つのシステマティックレビューでは、エビデンスレベルの低い論文が多く、上肢手術の機能改善に与える影響について検討するにはより高い比較研究が必要であると述べられている²²⁾。異なった腱での腱移行術の比較検討、腱移行術とボツリヌス治療の比較検討がなされていたが²³⁾、腱移行術と筋解離術など、手術種別で比較検討されたものはなかった。術後の機能のみならず、術後の上肢の外観なども患者の満足度に直結する要素の一つであった。

文献

- 1) Koman LA, Sarlikiotis T, Smith BP. Surgery of the upper extremity in cerebral palsy. *Orthop Clin North Am* 2010 ; **41** : 519-29.
- 2) Landi A, Cavazza S, Caserta G, et al. The upper limb in cerebral palsy : surgical management of shoulder and elbow deformities. *Hand Clin* 2003 ; **19** : 631-48.
- 3) Domzalski M, Inan M, Littleton AG, Miller F. Pectoralis major release to improve shoulder abduction in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop* 2007 ; **27** : 457-61.
- 4) Johnstone BR, Richardson PW, Coombs CJ, Duncan JA. Functional and cosmetic outcome of surgery for cerebral palsy in the upper limb. *Hand Clin* 2003 ; **19** : 679-86.
- 5) Bunata R, Icenogle K. Cerebral palsy of the elbow and forearm. *J Hand Surg Am* 2014 ; **39** : 1425-32.
- 6) Carlson MG, Hearn KA, Inkell E, Leach ME. Early results of surgical intervention for elbow deformity in cerebral palsy based on degree of contracture. *J Hand Surg Am* 2012 ; **37** : 1665-71.
- 7) Dy CJ, Pean CA, Hearn KA, Swannstrom MM, Janowski LC, Carlson MG. Long-term results following surgical treatment of elbow deformity in patients with cerebral palsy. *J Hand Surg Am* 2013 ; **38** : 2432-6.
- 8) Dahlin LB, Komoto-Tufvesson Y, Sälgeback S. Surgery of the spastic hand in cerebral palsy. Improvement in stereognosis and hand function after surgery. *J Hand Surg Br* 1998 ; **23** : 334-9.
- 9) Rhee PC. Surgical Management of the Spastic Forearm, Wrist, and Hand : Evidence-Based Treatment Recommendations : A

Critical Analysis Review. *JBJS Rev* 2019 ; **7** : e5.

- 10) Ozkan T, Tuncer S, Aydin A, Hosbay Z, Gulgonen A. Brachioradialis re-routing for the restoration of active supination and correction of forearm pronation deformity in cerebral palsy. *J Hand Surg Br* 2004 ; **29** : 265–70.
- 11) Pontén E, von Walden F, Lenke-Ekholm C, Zethraeus BM, Eliasson AC. Outcome of hand surgery in children with spasticity - a 9-year follow-up study. *J Pediatr Orthop B* 2019 ; **28** : 301–8.
- 12) Patterson JM, Wang AA, Hutchison DT. Late deformities following the transfer of the flexor carpi ulnaris to the extensor carpi radialis brevis in children with cerebral palsy. *J Hand Surg Am* 2010 ; **35** : 1774–8.
- 13) Kreulen M, Smeulders MJ, Veeger HE, Hage JJ, van der Horst CM. Three-dimensional video analysis of forearm rotation before and after combined pronator teres rerouting and flexor carpi ulnaris tendon transfer surgery in patients with cerebral palsy. *J Hand Surg Br* 2004 ; **29** : 55–60.
- 14) Ho JJ, Wang TM, Shieh JY, Wu KW, Huang SC, Kuo KN. Pronator teres transfer for forearm and wrist deformity in cerebral palsy children. *J Pediatr Orthop* 2015 ; **35** : 412–8.
- 15) Malizos KN, Liantis AK, Varitimidis SE, Dailiana ZH, Rigopoulos NS. Functional gains after surgical procedures in spastic upper extremity : a comparative study between children and adults. *J Pediatr Orthop B* 2010 ; **19** : 446–53.
- 16) Gong HS, Chung CY, Park MS, Shin HI, Chung MS, Baek GH. Functional outcomes after upper extremity surgery for cerebral palsy : comparison of high and low manual ability classification system levels. *J Hand Surg Am* 2010 ; **35** : 277–83.
- 17) Smitherman JA, Davids JR, Tanner S, et al. Functional outcomes following single-event multilevel surgery of the upper extremity for children with hemiplegic. *J Bone Joint Surg Am* 2011 ; **93** : 655–61.
- 18) Alewijnse JV, Smeulders MJ, Kreulen M. Short-term and Long-term Clinical Results of the Surgical Correction of Thumb-in-Palm Deformity in Patients With Cerebral Palsy. *J Pediatr Orthop* 2015 ; **35** : 825–30.
- 19) Carlson EJ, Carlson MG. Treatment of swan neck deformity in cerebral palsy. *J Hand Surg Am* 2014 ; **39** : 768–72.
- 20) Matsuo T, Matsuo A, Hajime T, Fukumoto S, Chen W, Iwamoto Y. Release of flexors and intrinsic muscles for finger spasticity in cerebral palsy. *Clin Orthop Relat Res* 2001 ; **384** : 162–8.
- 21) de Bruin M, van Vliet DC, Smeulders MJ, Kreulen M. Long-term results of lateral band translocation for the correction of swan neck deformity in cerebral palsy. *J Pediatr Orthop* 2010 ; **30** : 67–70.
- 22) Louwers A, Warnink-Kavelaars J, Daams J, Beelen A. Effects of upper extremity surgery on activities and participation of children with cerebral palsy : a systematic review. *Dev Med Child Neurol* 2020 ; **62** : 21–7.
- 23) Van Heest AE, Bagley A, Molitor F, James MA. Tendon transfer surgery in upper-extremity cerebral palsy is more effective than botulinum toxin injections or regular, ongoing therapy. *J Bone Joint Surg Am* 2015 ; **97** : 529–36.

CQ8-6

8. 整形外科手術

脊柱変形に対する手術療法は推奨されるか？

推奨

1. 脳性麻痺に伴う脊柱変形に対しては、十分な科学的根拠はないものの、インプラントを利用した脊柱固定術が推奨される。

GRADE 1C 推奨の強さ「強い推奨」/エビデンスの確実性「弱」

2. 手術のタイミングは、10歳以上、側弯角90°以内での施行が推奨されるが、十分な科学的根拠は乏しい。

GRADE 2C 推奨の強さ「弱い推奨」/エビデンスの確実性「弱」

解説

現在、脳性麻痺に伴う脊柱変形に対する「手術治療」とは、「インプラントを利用した脊柱固定術」のみが議論の対象となっており、それ以外の治療(筋解離など)は、国際的な議論の対象外であるため、本CQにおける手術治療とは、それを指すことをまず最初に述べておく。

脳性麻痺に伴う脊柱変形に対する手術療法に対して、PubMedと医中誌からの検索により、欧文84件と邦文25件の文献が検索された。これらの文献のスクリーニングを行い欧文33件が本CQに対する対象文献となった。

33件のうち、11件¹⁻¹¹⁾が症例集積研究、7件¹²⁻¹⁸⁾が症例比較研究、9件¹⁹⁻²⁷⁾が後向きコホート研究、3件²⁸⁻³⁰⁾がメタアナリシス、3件³¹⁻³³⁾がシステムティックレビューであった。ランダム化比較試験(randomized controlled trial: RCT)は渉猟しえなかった。症例比較研究の2件^{14, 16)}が、手術治療と非手術治療を比較したものであった。

手術後の脊柱変形の改善に関しては全研究で報告されていた。また、脊柱変形以外の症状改善について記載されたものは、症例集積で6件^{4, 6-9, 11)}、症例比較研究で7件¹²⁻¹⁸⁾、コホート研究で3件^{21, 22, 25)}、システムティックレビューで2件^{31, 32)}に認められた。

一方、手術療法による合併症に関する記載では、症例集積で9件^{1-8, 10)}、症例比較研究で7件¹²⁻¹⁸⁾、コホート研究で6件^{19, 20, 23, 24, 26, 27)}、システムティックレビューで2件^{31, 32)}に認められた。

脳性麻痺に伴う脊柱変形に関して、インプラントを利用した手術治療による改善は全研究で報告されていた。また、症例集積で6件^{4, 6-9, 11)}、症例比較研究で7件¹²⁻¹⁸⁾、コホート

研究で3件^{21, 22, 25)}、システマティックレビューで2件^{31, 32)}において、脊柱変形以外の改善について記載されていた。座位の安定^{4, 11, 21)}、患児の健康関連 QOL (health-related quality of life: HRQoL) の改善^{8, 9, 11, 14, 16, 19, 25, 32)}、介護者の高い治療満足度^{6-8, 31)}、体重増加²²⁾などの報告が認められたが、その評価法は文献によって異なった。いずれにおいても、手術治療により多くの症例で症状の改善を認めており、エビデンスレベルは低いものの、手術治療により症状の改善が見込める可能性が考えられた。

合併症に関しては、症例集積で9件^{1-8, 10)}、症例比較研究で7件¹²⁻¹⁸⁾、コホート研究で6件^{19, 20, 23, 24, 26, 27)}、システマティックレビューで2件^{31, 32)}に、術中大量出血、術後肺炎、創深部感染などの重篤な合併症の頻度を評価していた。26.9～57.1%の術後肺炎^{1, 10, 13, 14, 16, 26-28, 31)}、2.5～56.8%の術創深部感染^{2, 3, 5-7, 14-19, 23, 26-28, 30, 31)}が特に多いが、それ以外でも周術期死亡^{4, 6, 10, 15, 31)}、術中大量出血^{1, 6, 15, 17, 19, 20, 24, 26)}を認めるほか、偽関節^{2, 28)}、肺炎¹²⁾などの報告もあり、発生頻度も文献によりばらつきがみられた。重篤な合併症もみられるため、「脳性麻痺に伴う脊柱変形に対する手術療法は推奨されるか？」という観点からすれば、合併症も加味して手術適応を判断するべきと考えられた。また、手術のタイミングに関して、進行例においては、若年脊椎固定による弊害と高度進行による高い手術リスク、どちらを選択するか天秤にかけられる。エキスパートオピニオンとして、「10歳以上、90°以下」が推奨されるが、エビデンスレベルとしては低い^{5, 19)}。

まとめ

今回レビューを行った33件のうち、症例比較研究の2件^{14, 16)}に手術治療と非手術治療を比較したものがあったが、エビデンスレベルの高いものとはいえなかった。「脳性麻痺に伴う脊柱変形に対する手術療法は推奨されるか？」というCQに、高いエビデンスレベルで答えられる文献は存在しなかった。

ただし、これらの文献によると、手術治療により脊柱変形の改善と進行防止に加え、患児の座位バランスやHRQoLの改善、介護者の高い治療満足度が得られることが見込まれるため、他の治療では制御困難な進行性の脊柱変形に対してインプラントを利用した脊椎固定術を考慮してよいと考えられた。

一般向けの解説

脳性麻痺に伴う進行性の重度脊柱変形に関しては、インプラントを利用した脊柱矯正固定術を行うことにより、患児の座位バランスやHRQoLの改善、介護者の高い治療満足度が得られるという報告が多くなされている。しかしその一方で、術後肺炎や術創深部感染といった周術期合併症が高い確率で発生し、死亡を含めた重篤な合併症もまれだが発生する可能性がある。以上より、脳性麻痺に伴う脊柱変形に対するインプラントを利用した脊柱矯正固定術は、他の治療に抵抗性で重度進行性を示す症例に対して、合併症リスクも慎

重に検討したうえで、行うべきか判断するのが望ましいと考えられる。

文献

- 1) Bendon AA, George KA, Patel D. Perioperative complications and outcomes in children with cerebral palsy undergoing scoliosis surgery. *Paediatr Anaesth* 2016 ; **26** : 970–5.
- 2) Lonstein JE, Koop SE, Novachek TF, Perra JH. Results and complications after spinal fusion for neuromuscular scoliosis in children with cerebral palsy : a critical assessment. *Spine (Phila Pa 1976)* 2012 ; **37** : 583–91.
- 3) McElroy MJ, Sponseller PD, Dattilo JR, et al ; Growing Spine Study Group. Growing rods for the treatment of scoliosis in children with cerebral palsy : a critical assessment. *Spine (Phila Pa 1976)* 2012 ; **37** : E1504–10.
- 4) Modi HN, Hong JY, Mehta SS, et al. Surgical correction and fusion using posterior-only pedicle screw construct for neuropathic scoliosis in patients with cerebral palsy : a three-year follow-up study. *Spine (Phila Pa 1976)* 2009 ; **34** : 1167–75.
- 5) Sitoula P, Holmes L Jr, Sees J, Rogers K, Dabney K, Miller F. The Long-term Outcome of Early Spine Fusion for Scoliosis in Children With Cerebral Palsy. *Clin Spine Surg* 2016 ; **29** : E406–12.
- 6) Tsirikos AI, Lipton G, Chang WN, Dabney KW, Miller F. Surgical correction of scoliosis in pediatric patients with cerebral palsy using the unit rod instrumentation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2008 ; **33** : 1133–40.
- 7) Tsirikos AI, Mains E. Surgical correction of spinal deformity in patients with cerebral palsy using pedicle screw instrumentation. *J Spinal Disord Tech* 2012 ; **25** : 401–8.
- 8) Watanabe K, Lenke LG, Daubs MD, et al. Is spine deformity surgery in patients with spastic cerebral palsy truly beneficial? : a patient/parent evaluation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2009 ; **34** : 2222–32.
- 9) DiFazio RL, Miller PE, Vessey JA, Snyder BD. Health-Related Quality of Life and Care Giver Burden Following Spinal Fusion in Children With Cerebral Palsy. *Spine (Phila Pa 1976)* 2017 ; **42** : E733–9.
- 10) Nectoux E, Giacomelli MC, Karger C, Herbaux B, Clavert JM. Complications of the Luque-Galveston scoliosis correction technique in paediatric cerebral palsy. *Orthop Traumatol Surg Res* 2010 ; **96** : 354–61.
- 11) Miyanji F, Nasto LA, Sponseller PD, et al. Assessing the Risk-Benefit Ratio of Scoliosis Surgery in Cerebral Palsy : Surgery Is Worth It. *J Bone Joint Surg Am* 2018 ; **100** : 556–63.
- 12) Abousamra O, Nishnianidze T, Rogers KJ, et al. Risk factors for pancreatitis after posterior spinal fusion in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop B* 2018 ; **27** : 163–7.
- 13) Hod-Feins R, Anekstein Y, Mirovsky Y, et al. Pediatric Scoliosis Surgery - the association between preoperative risk factors and postoperative complications with emphasis on cerebral palsy children. *Neuropediatrics* 2007 ; **38** : 239–43.
- 14) Sewell MD, Malagelada F, Wallace C, et al. A Preliminary Study to Assess Whether Spinal Fusion for Scoliosis Improves Carer-assessed Quality of Life for Children With GMFCS Level IV or V Cerebral Palsy. *J Pediatr Orthop* 2016 ; **36** : 299–304.
- 15) Piazzolla A, Solarino G, De Giorgi S, Mori CM, Moretti L, De Giorgi G. Cotrel-Dubousset instrumentation in neuromuscular scoliosis. *Eur Spine J* 2011 ; **20** (Suppl 1) : S75–84.
- 16) Sewell MD, Wallace C, Malagelada F, et al. Does Spinal Fusion and Scoliosis Correction Improve Activity and Participation for Children With GMFCS Level 4 and 5 Cerebral Palsy? *Medicine (Baltimore)* 2015 ; **94** : e1907.
- 17) Sponseller PD, Shah SA, Abel MF, et al ; Harms Study Group. Scoliosis surgery in cerebral palsy : differences between unit rod and custom rods. *Spine (Phila Pa 1976)* 2009 ; **34** : 840–4.
- 18) Mohamed Ali MH, Koutharawu DN, Miller F, et al. Operative and clinical markers of deep wound infection after spine fusion in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop* 2010 ; **30** : 851–7.
- 19) Hollenbeck SM, Yaszay B, Sponseller PD, et al. The Pros and Cons of Operating Early Versus Late in the Progression of Cerebral Palsy Scoliosis. *Spine Deform* 2019 ; **7** : 489–93.
- 20) Jain A, Njoku DB, Sponseller PD. Does patient diagnosis predict blood loss during posterior spinal fusion in children? *Spine (Phila Pa 1976)* 2012 ; **37** : 1683–7.
- 21) Adams AJ, Refakis CA, Flynn JM, et al. Surgeon and Caregiver Agreement on the Goals and Indications for Scoliosis Surgery in Children With Cerebral Palsy. *Spine Deform* 2019 ; **7** : 304–11.
- 22) DeFrancesco CJ, Miller DJ, Cahill PJ, Spiegel DA, Flynn JM, Baldwin KD. Releasing the tether : Weight normalization following corrective spinal fusion in cerebral palsy. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 2018 ; **26** : 2309499018782556.
- 23) Dekker A, Crawford HA, Stott NS. How Do Complications Within the First 30 days after Spinal Deformity Surgery in Children with Cerebral Palsy Affect Length of Stay? *Clin Orthop Relat Res* 2021 ; **479** : 366–75.
- 24) Jain A, Sponseller PD, Shah SA, et al ; Harms Study Group. Incidence of and Risk Factors for Loss of 1 Blood Volume During Spinal Fusion Surgery in Patients With Cerebral Palsy. *J Pediatr Orthop* 2017 ; **37** : e484–7.
- 25) Miller DJ, Flynn JJM, Pasha S, et al ; Harms Study Group. Improving Health-related Quality of Life for Patients With Nonambulatory Cerebral Palsy : Who Stands to Gain From Scoliosis Surgery? *J Pediatr Orthop* 2020 ; **40** : e186–92.
- 26) Samdani AF, Belin EJ, Bennett JT, et al. Major perioperative complications after spine surgery in patients with cerebral palsy : assessment of risk factors. *Eur Spine J* 2016 ; **25** : 795–800.
- 27) Vivas AC, Pahys JM, Jain A, et al ; Harms Study Group. Early and late hospital readmissions after spine deformity surgery in

- children with cerebral palsy. *Spine Deform* 2020 ; **8** : 507–16.
- 28) Sharma S, Wu C, Andersen T, Wang Y, Hansen ES, Bünger CE. Prevalence of complications in neuromuscular scoliosis surgery : a literature meta-analysis from the past 15 years. *Eur Spine J* 2013 ; **22** : 1230–49.
 - 29) Shao ZX, Fang X, Lv QB, et al. Comparison of combined anterior-posterior approach versus posterior-only approach in neuromuscular scoliosis : a systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J* 2018 ; **27** : 2213–22.
 - 30) Zhou J, Wang R, Huo X, Xiong W, Kang L, Xue Y. Incidence of Surgical Site Infection After Spine Surgery : A Systematic Review and Meta-analysis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2020 ; **45** : 208–16.
 - 31) Legg J, Davies E, Raich AL, Dettori JR, Sherry N. Surgical correction of scoliosis in children with spastic quadriplegia : benefits, adverse effects, and patient selection. *Evid Based Spine Care J* 2014 ; **5** : 38–51.
 - 32) Mercado E, Alman B, Wright JG. Does spinal fusion influence quality of life in neuromuscular scoliosis? *Spine (Phila Pa 1976)* 2007 ; **32**(Suppl) : S120–5.
 - 33) Toovey R, Harvey A, Johnson M, Baker L, Williams K. Outcomes after scoliosis surgery for children with cerebral palsy : a systematic review. *Dev Med Child Neurol* 2017 ; **59** : 690–8.