

厚生労働科学研究費補助金

難治性疾患政策研究事業

先天性中枢性低換気症候群（CCHS）の診断基準・ガイドライン・
重症度分類の確立

平成 28 年度 総括研究報告書

研究代表者 長谷川 久弥

平成 29（2017）年 5 月

目 次

. 総括研究報告

先天性中枢性低換気症候群（CCHS）の診断基準・ガイドライン・重症度分類の確立
に関する研究

長谷川 久弥

. 分担研究報告

1 . 先天性中枢性低換気症候群（CCHS）における呼吸管理と発達予後

早坂 清，佐々木 綾子

2 . 先天性中枢性低換気症候群(CCHS)の重症度分類のための覚醒時低換気の検討

長谷川 久弥、山田 洋輔

3 . CCHS の呼吸管理方法：横隔神経ペーシングの有用性

鈴木 康之

. 研究成果の刊行に関する一覧表

. 総括研究報告

厚生労働科学研究費補助金（難治性疾患政策研究事業）

総括報告書

先天性中枢性低換気症候群（CCHS）の診断基準・ガイドライン・重症度分類の確立
に関する研究

研究代表者：長谷川 久弥 東京女子医科大学東医療センター新生児科教授

研究要旨 先天性中枢性低換気症候群（congenital central hypoventilation syndrome: CCHS）は、呼吸中枢の先天性な異常により主に睡眠時に、重症型では覚醒時にも低換気をきたす疾患である。有病率は、5～20万人に1人と推定されている。典型例では新生児期より発症するが、乳児から成人期に発症する非典型例も存在する。CCHSは、国内では診断・治療指針が策定されておらず、統一された治療・管理が行われていない。的確な診断・治療・管理が欠如すると、低酸素脳症を惹起し、神経系に不可逆的なダメージを与え、脳性マヒや発達遅延の原因となる。患者本人および家族にとっても負担となり、福祉支援も必要であり、大きな社会的損失にもなりうる。本研究ではCCHSの診断基準、重症度分類、診療ガイドラインを作成する。これにより、速やかな診断が可能となり、統一された治療・管理を行うことにより、低酸素脳症の減少、患者の予後改善が期待される。

研究分担者

早坂 清・山形大学医学部・名誉教授
佐々木綾子・山形大学医学部・准教授
鈴木康之・国立成育医療研究センター集中
治療部・部長
山田洋輔・東京女子医科大学東医療
センター新生児科・助教

る不等姉妹染色分体交換が主な発生機構であることを明らかにしてきた（Arai et al. J Hum Genet 2007; J Hum Genet 2010）。しかし、最近、約25%は変異のモザイクの親からの遺伝であることが報告され（Bachetti et al. J Mol Med 2011）、遺伝子解析は診断の確定に加え、遺伝カウンセリングの面からも重要性が増している。一方、臨床的には、5アラニン伸長変異では無症状のもの、新生児期の一過性の低換気そして感染症罹患時に再び低換気が顕在化するもの、遅発性のものなど、多様性が認められる（早坂清他 日本小児科学会誌 2011）。また、7アラニン以上の伸長変異では、不整脈などの合併症が多く認められることが知られており、診断・治療・管理法の確立が必要である。米国では、治療指針が作成されているが、日本国内では様々な診断・治療・管理が行われており、治療指針の作成が求められる（Hasegawa et al. Pediatr Int 2011）。これまで早坂らによ

A. 研究目的

CCHSでは、呼吸の化学的調節機構が障害され、主に睡眠時に低換気を呈する。2003年、Amielら（Amiel et al. Nat Genet 2003）続いて私達（Sasaki et al. Hum Genet 2003）によりPHOX2B変異が病因であることが確認された。PHOX2Bは、呼吸中枢や自律神経系の形成に重要な役割を有している転写調節因子である。多くは突然変異であり、私達は、精子形成時におけ

る CCHS 研究班により、日本における CCHS の診断、治療、管理のガイドラインの作成、標準的な医療の普及および患者家族の会の支援等が行われてきた。しかし、CCHS は遺伝子変異型によっても臨床症状が異なるため、それぞれの症例に合わせた診断・管理・治療法が求められる。本研究では全国から CCHS 症例を紹介される主要施設を中心に、遺伝子変異型と臨床的特徴を明らかにし（早坂、佐々木担当）、炭酸ガス換気応答の遺伝子変異型別特徴、年齢的な変化を検討する。同時に CCHS の診断・治療指針のさらなる検討を行う。（長谷川、山田担当）また、呼吸管理法の実態調査を行い、安全な呼吸管理法を周知し、顔面の変形などの合併症についても検討を行う（鈴木担当）。これらの情報を患者家族会等に提供し、CCHS 患者により安全で質の高い医療の提供を目的とする。今年度はこれらを基に CCHS の診療の手引き、診断基準、重症度分類の作成を行う。

B. 研究方法

1. 診断について

（1）PHOX2B 遺伝子診断法（早坂清、佐々木綾子担当）

CCHSを疑われた国内の殆ど症例に対して、遺伝子診断は山形大学医学部で検索されており、データが集積されている。病因遺伝子 PHOX2B変異を有する症例、検出されなかった症例について、臨床的特徴を集積・分析し、診断基準・重症度分類を確立する。最初に、PHOX2B変異を有する症例と有しない症例の臨床的特徴および、臨床診断に指標となる情報を明らかにする。次に、PHOX2B変異を有する症例において、遺伝子変異型と臨床的特徴を明らかにする。さらに、遺伝子解析では、新規の遺伝子変異も検出されており、関連を明らかにする必要がある。

（2）炭酸ガス換気応答試験による診断（長谷川久弥、山田洋輔担当）

炭酸ガス換気応答試験は炭酸ガスの蓄積に対する分時換気量の増加を測定することにより、呼吸中枢の機能を定量的に評価する方法である。長谷川らは再呼吸法を用い、正常新生児における炭酸ガス換気応答値の測定を行い、正常値を報告している。CCHSにおいては、この換気応答値の低下が存在することが示されている。病因遺伝子PHOX2B変異を有する症例に対して炭酸ガス換気応答試験を施行し、炭酸ガスに対する反応性と遺伝子変異型との関連を調べる。CCHSにおける換気反応の年齢的な変化について知見はなく、年齢の異なる症例を対象とし、経年齢的な変化について考察する。

2. 治療および管理について（鈴木康之担当）

人工呼吸方法は、気管切開陽圧人工呼吸管理、気管切開以外では鼻マスク、フェースマスク、横隔膜ペーシングなどが行われているが、症状、年齢に応じた治療指針を策定し、低酸素脳症を回避することが重要である。遺伝子型によっては、巨大結腸症や自律神経症状が多く、また神経芽細胞腫の合併も認められることから、遺伝子型を考慮した呼吸管理法を検討する。現在、CCHSに対する治療法は呼吸管理が大部分を占める。しかし、国内では、気管切開による安全な呼吸管理法が徹底されておらず、低酸素脳症や顔面骨の変形などの障害が少なからず散見される。実態を調査し、安全な呼吸管理法を周知する。また、在宅でのモニタリング法の開発などにより安全な呼吸法を検討する。

倫理面への配慮

これらの研究について、山形大学医学部および東京女子医科大学の倫理委員会の承認を得ている。また、研究対象者の保護者から文書による承諾を得ている。

C & D. 研究結果及び考察

1. 診断について

PHOX2B 遺伝子変異、炭酸ガス換気応答試験を中心に CCHS の診断基準、重症度分類の確立を試みた。これらを日本小児呼吸器学会内に立ち上げた CCHS ワーキンググループで検討を行った。また、第 120 回日本小児科学会学術集会(2017.4. 東京)において CCHS に関するシンポジウムが開かれ、議論を深めた。CCHS 家族会の全国集会である CCHS ファミリー会(2017.4.東京)において、将来的な内科への移行(transition)の問題も含め、成人の肺泡低換気症候群研究班代表者も交えた議論を行い、今後の連携と更なる検討の必要性が確認された。

2. 治療および管理について

非侵襲的人工換気、気管切開、横隔膜ペーシングなどについて、診断法と同様に第 120 回日本小児科学会学術集会(2017.4. 東京)において CCHS に関するシンポジウムが開かれ、議論を深めた。また、CCHS 家族会の全国集会である CCHS ファミリー会(2017.4.東京)において、医療関係者と患者本人、家族を交えたカンファレンスを行い、議論を深めた。

3. 診断基準、重症度分類、診療の手引きの作成

これまでの検討をふまえ、CCHS 診断基準案、重症度分類案(後述) 診療の手引き案(後述)2016 年度版を作成した。

E. 結論

CCHS 診断基準案、重症度分類案、診療の手引きを作成した。今後、さらなる検討を加え、CCHS の統一された診断、管理がなされ、予後改善に寄与することが期待される。

F. 健康危険情報

特になし。

G. 研究発表

1. 論文発表

1) 山田洋輔：早産児の呼吸機能の観察ポイント .周産期領域の新しい検査法、新生児 11. 横隔膜電気的活動 (Electrical activity of diaphragm: Edi) . 周産期医学

2. 学会発表

1) Yamada Y, Hasegawa H, Henmi N, et al. Factors affecting the respiratory center in congenital central hypoventilation syndrome. The 15th International Congress of Pediatric Pulmonology, Napoli, Italy, June, 2016.

2) 山田洋輔、長谷川久弥、邊見伸英、他 . 先天性中枢性低換気症候群 (CCHS) における覚醒時低換気についての検討 . 第 49 回日本小児呼吸器学会学術集会、富山、2016.10.

H. 知的財産権の出願・登録状況

特許取得無し

実用新案登録無し

CCHS 診断基準 (2016 年度案)

A 項目 < 主要症状, 除外診断 >

1. 遷延する睡眠時低換気
2. 他の睡眠時低換気をきたす疾患の否定

B 項目 < 検査所見 1 >

PHOX2B 遺伝子検査: アラニン, 非アラニン伸長変異

C 項目 < 検査所見 2 >

1. 睡眠時血液ガス分析: 高炭酸ガス血症, 低酸素血症
2. 睡眠時 SpO₂、EtCO₂ (TcPCO₂) モニタリング: 睡眠時の持続する低換気

D 項目 < 検査所見 3 >

1. 炭酸ガス換気応答試験: 呼吸中枢の炭酸ガスへの換気応答の低下
 2. ポリソムノグラフィ: 睡眠時の中枢性無呼吸、徐呼吸
-

Definite : A、B、C すべてを満たす

Probable : A、C のすべて、D の 1 項目を満たす

Possible : A、C すべてを満たす

Probable 以上を CCHS として対応する

* 遷延: 概ね 2 週間以上

* 血液ガス分析は動脈ラインを確保の上行う

* 高炭酸ガス血症: PaCO₂ > 45 mmHg .

* 低酸素血症: PaO₂ 60 mmHg .

先天性中枢性低換気症候群(CCHS)重症度分類 (2016年度案)

A 項目

<呼吸管理>

人工呼吸の必要度 (横隔膜ペーシング含む)	なし	睡眠時のみ	終日
	0点	1点	2点

B 項目

<合併症>

CCHS に由来する合併症	なし	あり
	0点	1点

軽症 : A 項目 0点

中等症 : A 項目 1点 B 項目 0点

重症 : A 項目 2点 もしくは A 項目 1点 + B 項目 1点以上

先天性中枢性低換気症候群(CCHS)診療手引き

2016 年度版

厚生労働省 C C H S 研究班

代表研究者 長谷川久弥（東京女子医科大学東医療センター新生児科）
分担研究者 早坂清（山形大学小児科）
分担研究者 佐々木綾子（山形大学小児科）
分担研究者 鈴木康之（国立成育医療研究センター集中治療部）
分担研究者 山田洋輔（東京女子医科大学東医療センター新生児科）

目次

第1章 概念

- A 概念 (早坂清, 佐々木綾子)
- B 疫学 (早坂清, 佐々木綾子)
- C 病態 (早坂清, 佐々木綾子)

第2章 症状

- A 呼吸中枢障害 (山田洋輔, 長谷川久弥)
- B 呼吸中枢障害以外の合併症 (山田洋輔, 長谷川久弥)

第3章 診断

- A 総論 (早坂清, 佐々木綾子)
- B 遺伝子検査 (早坂清, 佐々木綾子)
- C 呼吸生理学的検査 (山田洋輔, 長谷川久弥)
- D 診断基準

第4章 治療

- A 総論 (山田洋輔, 長谷川久弥)
- B 呼吸管理法
 - 1 気管切開による人工換気療法 (鈴木康之)
 - 2 非侵襲的人工呼吸療法 (鈴木康之)
 - 3 横隔膜ペーシング (鈴木康之)
 - 4 呼吸管理法の定期的な見直し (山田洋輔, 長谷川久弥)
- C 薬物療法 (鈴木康之)

第5章 予後

- A 発達予後 (早坂清, 佐々木綾子)
- B 生命予後 (早坂清, 佐々木綾子)

(執筆担当者, 敬称略)

第1章

A 概念

Key point

- ・先天性中枢性低換気症候群 (CCHS) は neurocristopathy のひとつで、呼吸の調節と自律神経系の障害を特徴とする。
- ・呼吸の化学的調節機構の障害により睡眠時低換気を呈する。
- ・Hirschsprung 病，神経芽細胞腫，自律神経障害を合併することがある。
- ・*PHOX2B* 遺伝子変異による優性遺伝性疾患で、多くは de novo の変異である。

【概念】

先天性中枢性低換気症候群 (congenital central hypoventilation syndrome: CCHS) は neurocristopathy(神経堤関連疾患)のひとつで、呼吸の調節と自律神経系の障害を特徴とする。呼吸の調節は、覚醒時には血中の炭酸ガスや酸素濃度および pH などに対応した化学的な調節機構，肺伸展受容器を介する調節機構，および脳を含む上位構造からの調節機構により制御され，Non-REM (Non-rapid eye movement) 睡眠時には，主として化学的調節機構により制御される。CCHS は，1970 年に Mellins らによってはじめて報告され¹⁾，呼吸の化学的調節機構の遺伝的な障害により肺胞低換気を呈する疾患である。睡眠時の低換気もしくは無呼吸を特徴とし，循環・呼吸器疾患，神経筋疾患，代謝性疾患，先天奇形などが除外される。新生児期に睡眠時低換気で気付かれることが最も多いが，換気障害に気付かれず，肺高血圧や心不全で気付かれたり，apparent life threatening event (ALTE)を呈する例も存在する。多くは新生児期に発症するが，乳児期～成人期に発症する遅発性 (later-onset CCHS: LO-CCHS) の症例も存在する²⁻⁴⁾。

神経堤細胞の分化異常から Hirschsprung 病 (約 20%)，神経芽細胞腫 (約 6%)，自律神経系の異常などの合併症を伴う場合があり、自律神経系の異常としては，心拍の呼吸性変動低下，洞結節不全，房室ブロック等の不整脈，便秘，胃食道逆流症，低体温，発汗異常，体温調節障害，痛覚異常，瞳孔異常，涙液分泌異常などがある²⁻⁴⁾。また，低血糖や食後高血糖などの報告もあり，前者は高インスリン血症，後者は自律神経障害による血糖調節機構の障害が考えられている⁵⁾。

PHOX2B 遺伝子変異による優性遺伝の疾患であり，多くは de novo の変異である。2003 年，Amiel らにより神経堤細胞の分化・誘導および RET 遺伝子の発現に関わる調節因子，*PHOX2B* 遺伝子の変異が報告された⁶⁾。同年，Sasaki ら⁷⁾ および Amiel ら⁸⁾により，同

遺伝子の変異であることが確認された。当初，検査法の問題から変異が検出されない症例も存在したが，約 90%の症例には *PHOX2B* 遺伝子のポリアラニン伸長変異，約 10%には frameshift 変異や点変異などの非ポリアラニン伸長変異が検出される。

診断は呼吸機能検査を用いた炭酸ガス換気応答試験もしくは遺伝子解析に基づく。

治療は，睡眠時もしくは覚醒時も含めた呼吸管理が基本である。合併症には個別に対応する。呼吸管理が適切に行われれば，生命発達予後は概ね良好である。

(文献)

- 1) Mellins RB, et al: Failure of automatic control of ventilation (Ondines' curse): report of an infant born with this syndrome and review of the literature. *Medicine (Baltimore)* 1970; 49: 487-504.
- 2) Weese-Mayer DE, et al: An official ATS clinical policy statement: Congenital central hypoventilation syndrome Genetic basis, diagnosis, and management. *Am J Respir Crit Care Med* 2010; 181: 626-644.
- 3) Weese-Mayer DE, et al: Congenital central hypoventilation syndrome. *Genereviews* <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK1427/>
- 4) Rand CM, et al: Congenital central hypoventilation syndrome: a neurocristopathy with disordered respiratory control and autonomic regulation. *Clin Chest Med.* 2014; 35: 535-545.
- 5) Gelwane G, et al: Intermittent hyperglycemia due to autonomic nervous system dysfunction: a new feature in patients with congenital central hypoventilation syndrome. *J Pediatr* 2013; 162: 171-176.
- 6) Amiel J, et al: Polyalanine expansion and frameshift mutations of the paired-like homeobox gene *PHOX2B* in congenital central hypoventilation syndrome. *Nat Genet* 2003; 33: 459-461.
- 7) Sasaki A, et al: Molecular analysis of congenital central hypoventilation syndrome. *Hum Genet* 2003; 114: 22-26.
- 8) Weese-Mayer DE, et al: Idiopathic congenital central hypoventilation syndrome: analysis of genes pertinent to early autonomic nervous system embryologic development and identification of mutations in *PHOX2B*. *Am J Med Genet A* 2003; 123: 267-278.

B 疫学

Key point

- ・欧米では約 5～20 万出生児当たり一人
- ・我が国では少なくとも約 15 万出生児当たり一人

【疫学】

欧米の報告によると，罹患率は約 5～20 万出生児当たり一人と推定されている¹⁾．日本における罹患率は少なくとも約 15 万出生児当たり一人と推定される²⁾．遅発性など診断されない症例も存在し，罹患率はより高いと考える．民族間の差はないと考える．

(文献)

1) Vanderlaan M, et al: Epidemiologic survey of 196 patients with congenital central hyperventilation syndrome. *Pediatr Pulmonol* 2004; 37: 217-229.

2) Shimokaze T et al: Genotype-phenotype relationship in Japanese patients with congenital central hypoventilation syndrome. *J Hum Genet* 2015; 60: 473-477.

C 病態

Key point

- ・ CCHS の病態は *PHOX2B* 遺伝子変異により，呼吸中枢と自律神経系が障害される．
- ・ ポリアラニン伸長変異 (PARM) が約 90% に，非ポリアラニン伸長変異 (NPARM) が約 10% に検出される．
- ・ PARM では伸長数に比例し重症となり，NPARM の殆どは重症である．

【病態】

覚醒時の呼吸は，血中の炭酸ガスや酸素濃度および pH などに対応した化学的な調節機構，肺伸展受容器を介する調節機構および大脳を含む上位構造からの調節機構により制御されるが，Non-REM 睡眠時には，主として化学的調節機構により制御される．本症の基本的な病態は，呼吸中枢における血中の炭酸ガス，酸素濃度および pH の情報の統合および換気応答の障害と考えられる¹⁾．

病因は，染色体 4p12 に位置する *PHOX2B* 遺伝子 (MIM 603851) 変異である²⁾．この遺伝子は約 5Kb の大きさで，3 つのエクソンから構成され，9 個と 20 個のアラニンからなる 2 つのポリアラニン鎖および homeobox を一個有する転写調節因子をコードしている．この遺伝子は RET 遺伝子の発現調節および後脳の形成 特に呼吸中枢を含めた自律神経系の分化や発達において重要な役割を担っている．中枢神経系では呼吸の化学的調節に関与する脳幹部のニューロン (最後野や孤束核)，ノルアドレナリン神経系，第 VI，XI 神経を除く脳運動神経など，末梢神経系では第 ， ， 脳神経の遠位感覚神経節，自律神経系 (交換神経，副交感神経，内臓神経) の神経節 (血中酸素分圧をモニタする頸動脈小体を含む) などに発現している．本症例の MRI 検査では，視床下部，後部視床と中脳，尾部縫線と青斑核，外側延髄，傍小脳脚核橋と小脳，島皮質と帯状回皮質など，それぞれ呼吸や自律神経系の調節に連携して作用する部位の変化が報告されている³⁾．

症例の約 90% には，*PHOX2B* 遺伝子の 20 個のポリアラニン鎖における 4~13 個のポリアラニン伸長変異 (polyalanine repeat mutation: PARM) が検出される．残り約 10% には frameshift 変異や点変異の非ポリアラニン伸長変異 (non-polyalanine repeat mutation: NPARM) が検出される．症例は，変異のヘテロ接合体であり，優性遺伝形式をとる．PARM ではアラニン伸長数に比例して重篤であり，伸長数の大きい PARM と NPARM も概ね重篤であり，これらの変異は完全浸透を示す．重篤な症例では，新生児期に発症し，巨大結腸症および不整脈などの自律神経系の障害を合併する頻度も高く，覚醒

時にも呼吸管理を要することがある。一方,24PARM(4個のアラニン伸長変異),25PARM(5個のアラニン伸長変異)および一部の NPARM では,不完全浸透浸透を示し,即ち変異を有していても必ずしも発症しない。また,新生児期以降に発症する(LO-CCHS)症例もある^{1,2)}。

PARMの多くはde novoの変異であるが,約25%はモザイクの親からの遺伝である^{4,5)}。de novo 変異の殆どは父親由来であり,精子形成時の不等姉妹染色体分体交換によると考えられてきた⁶⁾。しかし,一部の変異およびモザイクは単なる組み換えでは説明されず,ポリアラニンをコードする反復配列が二次構造をとり,複製時や修復時に複製フォークの停止,異なる部位からの再開という生成機構が推測される⁷⁾。

病因が判明し,分子病態が明らかにされて来ている。27PARM 導入マウスでは,自律呼吸に重要な役割を果たしている延髄腹側における *PHOX2B* 陽性グルタミン酸作動性ニューロンの脱落が認められる⁸⁾。また,PARM の in vitro の発現実験では伸長した *PHOX2B* の転写因子としての作用の低下,凝集,核内移行の障害,野生型 *PHOX2B* に対する dominant-negative な作用が認められる⁹⁾。*PHOX2B* 遺伝子変異により,機能的な呼吸中枢の形成が障害されるものとする。

(文献)

- 1)Weese-Mayer DE, et al: An official ATS clinical policy statement: Congenital central hypoventilation syndrome Genetic basis, diagnosis, and management. Am J Respir Crit Care Med 2010; 181: 626-644.
- 2)Amiel J, et al: Polyalanine expansion and frameshift mutations of the paired-like homeobox gene PHOX2B in congenital central hypoventilation syndrome. Nat Genet 2003; 33: 459-461.
- 3)Patwari PP, et al: Congenital central hypoventilation syndrome and the PHOX2B gene: a model of respiratory and autonomic dysregulation. Respir Physiol Neurobiol 2010; 173: 322-335.
- 4)Bechthti T, et al: Low amounts of PHOX2B expanded alleles in asymptomatic parents suggest unsuspected recurrence risk in congenital central hypoventilation syndrome. J Mol Med (Berl) 2011; 89 505-513: 505-513.
- 5)Meguro T, et al: Inheritance of polyalanine expansion mutation of PHOX2B in congenital central hypoventilation syndrome. J Hum Genet 2012; 57: 335-337.
- 6)Arai H, et al: De novo polyalanine expansion of PHOX2B in congenital central hypoventilation syndrome: unequal sister chromatid exchange during paternal

gametogenesis. *J Hum Genet* 2007; 52: 921-925.

7)Mirkin SM: Expandable DNA repeats and human disease. *Nature* 2007; 447: 932-940.

8)Dubreuil V, et al: A human mutation in *Phox2b* causes lack of CO₂ chemosensitivity, fatal central apnea, and specific loss of parafacial neurons. *Proc Natl Acad Sci USA* 2008; 105: 1067-1072.

9)Trochet D, et al: Molecular consequences of *PHOX2B* missense, frameshift and alanine expansion mutations leading to autonomic dysfunction. *Hum Mol.Genet* 2005; 14: 3697-3708.

第2章 症状

A 呼吸中枢障害

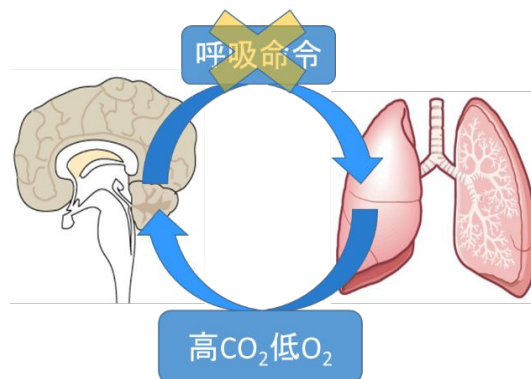
Key point

- ・ CCHS の低換気は、延髄の呼吸中枢における先天的な障害によるものである。呼吸の化学性調節が障害されているため、低換気が生じていても呼吸困難は認めず、呼吸賦活は起こらない。
- ・ 低換気は軽症例では睡眠時のみであるが、重症例では覚醒時にも認める症例がある。特に 26PARM 以上の遺伝子変異型を有する患児では、覚醒時低換気がないか詳細な評価が必要である。
- ・ 低換気の重症度を正確に把握し適切な換気サポートが得られなければ、低換気によるダメージが蓄積し、神経・生命予後に大きな影響を与える。

【CCHS における低換気の特徴】

CCHS の低換気は延髄の呼吸中枢における先天障害、主に呼吸の化学性調節の障害が原因である。低換気は呼吸中枢が呼吸調節のメインとなる睡眠時に認めることが多く、覚醒時は呼吸中枢以外にも大脳などの上位中枢が働くために低換気が生じにくい。化学性調節の障害であり、高炭酸ガス血症、低酸素血症となっても CCHS には呼吸困難がなく、さらに呼吸賦活も生じないため、ひとたび低換気が生じると自力では回復できず進行し続ける症例も多い。

CCHS の低換気は、成長や全身状態によって変化する。典型例は新生児期発症であり、重篤な無呼吸発作のために気管挿管され、その後抜管困難となり疑われる。急性期は無呼吸発作となるが、新生児期をすぎ乳児期に入ると無呼吸は認めなくなり、一回換気量の低下する低換気へと症状が変化する。幼児期になると、テレビやゲームなど意識が集中する際に低換気を生じる症例を認める。また、運動時や呼吸器疾患罹患時にはより多くの換気量が必要になるが、CCHS ではその換気量を増やすことができないため、覚醒時でも低換気となることや睡眠時の低換気が重症になる。



高CO₂血症などによるfeed backがかからず、呼吸苦は感じないまま低換気が進行し続ける

図 CCHS における低換気の特徴

【低換気の重症度と評価法】

低換気の重症度は、低換気による換気状態の程度と低換気がいつ起きているか、を評価することが重要である。双方ともに、遺伝子変異型に影響を受け、PARM を有する症例では数が大きいほど、PARM よりは NPARM の方が重症度が高いことがわかっている。

換気状態の評価には SpO₂ や TcPCO₂、EtCO₂ の時間単位での連続モニタリングが有用である。ごく短時間のモニタ装着やワンポイントの血液ガス分析では、全体の状態を把握することはできない。SpO₂ は睡眠時でも 90%台で推移する軽症から、80%台で推移する症例、SpO₂ の低下が止まらず呼吸管理を速やかに開始する必要がある重症例がある。TcPCO₂ や EtCO₂ のモニタリングでは、軽症例であっても低換気となつてからは CO₂ が上昇し続ける症例がほとんどである。

低換気がいつ起きているかについては、軽症例では低換気は睡眠時のみに起こるが、重症例は覚醒時にも低換気を認める。CCHS では呼吸困難がないため、覚醒時の低換気があるかどうかの判定は困難である。換気状態同様に連続モニタリングが重要である。CCHS10 例の覚醒時モニタリングを行ったところ、それまではないとされていた覚醒時の低換気を 4 例に認めたと報告もある。26PARM 以上の症例では、覚醒時低換気の有無について慎重な評価が必要である。

【低換気による全身への影響】

低換気時の換気状態と低換気がおきるタイミングを把握し、適切な呼吸管理を行うことができれば、低換気の影響を最小限にとどめることができる。しかしそうでない場合には、低換気の蓄積により全身への影響がでる。詳細は後の項にも記載するが、不適切な呼吸管理のために低酸素血症による直接的な障害や高炭酸ガス血症による慢性的なアシドーシス

による全身の臓器障害が進む。その結果、成長発達障害や、特に肺高血圧からの心不全は生命予後に大きく影響する。呼吸管理が向上した現在は全身への影響は緩やかに進行することが多く、近年では青年期に肺高血圧を発症する症例が散見されている。

(文献)

1)Weese-Mayer DE, et al: An official ATS clinical policy statement: Congenital central hypoventilation syndrome. AmJ Respir Crit Care Med 2010; 181: 626-644.

2)早坂清，他：先天性中枢性低換気症候群における PHOX2B 遺伝子異常について．日本小児科学会雑誌 2011: 115, 769-776.

3)長谷川久弥，他：先天性中枢性低換気症候群診療ガイドラインにおける呼吸ドックに関する研究．厚生労働科学研究費補助金 難治性疾患政策研究事業「先天性中枢性低換気症候群の診断・治療・管理法の確立」に関する研究．平成 26 年度総括研究報告書．PP23-28.

B.呼吸中枢障害以外の合併症

Key point

- ・ CCHS では、*PHOX2B* 遺伝子が自律神経の分化・誘導に与するため自律神経障害を合併することがある。
- ・ 合併症としては Hirschsprung 病，神経堤由来の腫瘍，不整脈などがある。合併率は大きい PARM 数，NPARM の方が高いことが明らかになっている。
- ・ 国内ではこれまで憤怒痙攣の合併が多いとされていたが，その中に気管軟化症であり積極的な呼吸器管理を必要とする症例があることがわかってきた。
- ・ CCHS の診断時には合併症を疑わせる症状がなくとも検索を行うべきであり，重要な合併症については定期的に検査を行う必要がある。

【Hirschsprung 病】

海外のデータでは約 20% が合併するとされ，PARM より NPARM の方が罹患率が高く報告によっては 87 から 100% とされている。国内では，2007 年の全国調査においては，全体で 35% の合併率であった。PARM の中では 25PARM には Hirschsprung 病の合併はなく，26PARM でわずかに認め，27PARM 以上では合併率が高くなっている。Hirschsprung 病の合併やその重症度によって，頻回の手術，在宅中心静脈栄養，発達への影響などの CCHS の予後や QOL (quality of life) が左右されている。また，Hirschsprung 病の診断には至らなくとも，便秘は多くの CCHS に認める症状である。

【神経芽細胞腫】

神経堤由来の腫瘍である神経芽細胞腫などを合併する。PARM では 1% の合併率であるのに対して NPARM では 50% という報告がある。NPARM と PARM の中では 28PARM 以上で合併の報告があるため，そういった症例では胸腹部の画像検索が必要である。

【不整脈】

洞停止の合併があり，3 秒以上の洞停止は注意が必要である。26PARM で 25%，27PARM では 67% の合併率となっている。海外ではペースメーカーの挿入が多く，27PARM では 67% に挿入されているという報告がある。国内では報告例は少ない。突然死の原因となるため，注意すべき合併症である。ホルター心電図では 72 時間の検査が推奨されている。

【その他の自律神経障害】

瞳孔異常などの眼科的合併症，体温調節異常，発汗障害などがある。低血糖や甲状腺異常などの内分泌異常の報告もある。

【気道病変】

これまで国内では，啼泣時の低酸素発作，失神発作が憤怒痙攣であると診断された症例が多く対症療法がおこなわれてきた．しかし，CCHS10例に対して気管支鏡を行ったところ，6例に気管軟化症を認め，そのうち3例は high PEEP 療法などの積極的な呼吸管理を必要とした．6例のうち3例は憤怒痙攣と診断されており，啼泣時の低酸素発作などがある症例では鑑別すべき疾患である．

(文献)

- 1)Weese-Mayer DE, et al: An official ATS clinical policy statement: Congenital central hypoventilation syndrome. AmJ Respir Crit Care Med 2010; 181: 626-644.
- 2)Hasegawa H, et al: Epidemiologic survey of patients with congenital central hypoventilation syndrome in Japan. Pediatrics Int 2012; 54, 123-126.
- 3)長谷川久弥，他：先天性中枢性低換気症候群診療ガイドラインにおける呼吸ドックに関する研究．厚生労働科学研究費補助金 難治性疾患政策研究事業「先天性中枢性低換気症候群の診断・治療・管理法の確立」に関する研究．平成 26 年度総括研究報告書．PP23-28.

第3章 診断

A 総論

Key point

- ・ 新生児期の呼吸障害の鑑別疾患として念頭に置く。
- ・ neurocristopathy としての合併症も参考となる。
- ・ 診断は遺伝子検査と呼吸機能検査に基づく。

【総論】

CCHS の殆どは新生児期に発症することから、新生児期の呼吸障害の鑑別疾患として念頭に置くことが大切である¹⁾。睡眠時に低換気およびチアノーゼを認める症例や高炭酸ガス血症を認めるにもかかわらず、呼吸努力が認められない症例では、最初に循環器疾患、呼吸器疾患、神経・筋疾患、代謝性疾患、感染症、先天奇形を除外する。鑑別のために、血液ガス、X線検査、超音波検査、頭部MRI、脳波、聴性脳幹反応、アミノ酸分析、有機酸分析等の検査を行う。

乳児期以降に発症する LO-CCHS では、1) 全身麻酔または中枢神経の抑制後、2) 重篤な肺感染症の罹患、3) 閉塞性無呼吸発作などを契機として睡眠時低換気が顕症化することがある。

呼吸障害の特徴として、覚醒時には呼吸状態は安定し、血中炭酸ガス分圧も正常である。しかし、睡眠時には低換気となり、血中炭酸ガス分圧が上昇するが、換気応答（呼吸促進反応）が認められない。睡眠時低換気は REM 期に軽減する。重症例では、覚醒時にも低換気が持続する。

CCHS は neurocristopathy のひとつであり、Hirschsprung 病は約 20% に合併が認められ、神経芽細胞腫などの神経堤細胞由来の腫瘍、喉頭軟化症、胃食道逆流症、対光反射消失、斜視・輻輳障害などの眼症状、不整脈などの自律神経系の障害を合併する。

確定診断は遺伝子検査もしくは呼吸機能検査に基づく。遺伝子診断では、*PHOX2B* 遺伝子変異を確認し、呼吸機能検査では、標準的な検査に加え、炭酸ガス換気応答試験を行い呼吸中枢の炭酸ガス負荷に対して換気量が増加する反応の異常を確認する。遺伝子検索では、変異により重症度が推定される。

(文献)

1) Weese-Mayer DE, Berry-Kravis EM, Zhou L, et al: Idiopathic congenital central

hypoventilation syndrome: analysis of genes pertinent to early autonomic nervous system embryologic development and identification of mutations in PHOX2B. Am J Med Genet A 2003; 123: 267-278.

B 遺伝子検査

Key point

- ・ CCHS の遺伝子診断では *PHOX2B* 遺伝子変異の有無を検索する。
- ・ ポリアラニン伸長変異が約 90%，非ポリアラニン伸長変異が約 10%を占める。
- ・ 遺伝子変異型により，重症度が推定される。

【遺伝子検査】

病因遺伝子 *PHOX2B* の変異の有無について検索する。約 90%の症例にはポリアラニン伸長変異 (PARM)，約 10%には frameshift 変異 (欠失や挿入)，ミスセンス変異，ナンセンス変異などの非ポリアラニン伸長変異 (NPARM) が検出される。遺伝子診断は，検査機関があれば検体 (血液) を郵送することで解析されるために簡便な方法である。現時点では，国内では山形大学医学部小児科学教室にて行われている。

検査手順としては，事前に依頼し，本人ないし保護者から書面にて遺伝子解析の承諾を得て，サマリーとともに EDTA 血液約 2 ml を 4℃ で郵送する。解析には約 2～3 週間を要する。

現在行われている解析では，*PHOX2B* の 3 つのエクソン部分を PCR で増幅し，各エクソンの塩基配列を決定する。解析波形より PARM および NPARM が明らかにされる。症例は変異のヘテロ接合体であり，複雑な変異では判読が困難となり，PCR で増幅した DNA 断片をプラスミッドにサブクローンし，塩基配列を決定する。

PARM では，4～13 ポリアラニン伸長変異 (24～33PARM) が検出され，中でも 25～27 PARM が多い変異である^{1,2)}。国内では 24PARM は検出されていない。遺伝子型と臨床型との関係では，伸長数が長いものほど重症で合併症も多く，完全浸透を示す。26PARM では，Hirschprung 病の合併頻度が高く，覚醒時にも呼吸管理を必要とする症例も存在する。生命予後に関わるものとして不整脈の合併頻度も高くホルター心電図などによる検査が必要である。一方，25PARM では，Hirschprung 病の合併は認めず，自律神経障害も稀である。但し，症状が非典型的なことがあり，新生児期に発症しても経過中，睡眠時低換気が改善したり，遅発性 (LO-CCHS) の症例も存在し，適切な治療が行われず精神運動発達の障害を呈する症例も多い。不完全浸透を示し無症状の保因者も存在することもあり，家族内検索が求められる。

NPARM では，frameshift 変異が約 8 割を占め，残りはミスセンス変異，ナンセンス変異が報告されている²⁾。少数の例外を除き重症型で，覚醒時にも呼吸管理を必要とする症

例や神経芽細胞腫の合併例も多い。

変異の由来について，PARM 変異の約 75%が de novo の変異で，約 25%はモザイクや保因者の無症状の親もしくは罹患した親からの遺伝である。モザイクに関して，末梢血(体細胞)のゲノム DNA を用いて，鋭敏なフラグメント解析で検出されるが，完全な性腺モザイクの一報告があり³⁾，体細胞を使った解析では性腺モザイクの可能性は否定できない。

(文献)

1)Weese-Mayer DE, et al: An official ATS clinical policy statement: Congenital central hypoventilation syndrome Genetic basis, diagnosis, and management. Am J Respir Crit Care Med 2010; 181: 626-644.

2)Rand CM, et al: Congenital central hypoventilation syndrome: A neurocrestopathy with disordered respiratory control and autonomic regulation. Clin Chest Med 2014; 35: 535-545.

3)Rand CM, et al: Germline mosaicism of *PHOX2B* mutation accounts for familial recurrence of congenital central hypoventilation syndrome (CCHS). Am J Med Genet A 2012; 158A: 2297-2301.

C 呼吸生理学的検査

Key point

- ・適切な呼吸管理を行うためには遺伝子診断だけでなく、呼吸生理学的評価を行うことが重要である。診断だけでなく低換気の重症度評価につながり、呼吸管理に有用な情報が得られる。
- ・ポリソムノグラフィーなどのスリープスタディ、炭酸ガス換気応答試験などがあるが、低換気の重症度やそれぞれの検査の特徴に合わせて、検査法を選択する必要がある。

【呼吸生理学的評価の必要性】

現在の CCHS 診断のほとんどは簡便な遺伝子検査で行われる。遺伝子型によって臨床的な重症度も推定できるため、詳細な呼吸生理学的評価がなされていない症例もある。しかし、実際の重症度は症例ごとに大きくことなり、不適切な管理が行われていることも少なくないため、呼吸管理の決定には呼吸生理学的評価が必須である。実際に呼吸生理学的評価を行うことにより、呼吸管理が変更となる症例が報告されている。現状では、専用の検査機器や経験のある検者が必要な検査が多いが、専門施設と連携して可能な限り検査を行うことが望ましい。

【ポリソムノグラフィー(polysomnography: PSG)】

睡眠障害を調べる検査装置であり、酸素飽和度、脳波、眼電図、頤筋電図、口鼻の気流、胸腹部の呼吸運動、心電図などを同時に連続モニタリングすることにより、睡眠ステージ、呼吸状態の評価が可能である。呼吸イベント（無呼吸、低呼吸）の判定および、各イベントの原因（中枢性、閉塞性）が解析可能であり、EtCO₂の同時測定もできるため、CCHS の評価にも有用な検査装置である。多くの CCHS では入眠直後から重度な低換気がみられ、酸素飽和度は 70%～80%台まで低下するため正確な入眠時間の判定が重要となるが、PSG では脳波、眼電図、頤筋電図により睡眠段階におけるレム睡眠、ノンレム睡眠（N1-N3）を判定するため、入眠開始時間を正確に判定可能である。しかし PSG は装着する電極やセンサー数が多いため、新生児や乳児における検査が容易ではない。新生児、乳児期には、上記の full PSG ではなく SpO₂ と EtCO₂ にチャンネル数の少ない脳波などを加えた簡易型での実施が考慮される。国内では診断に用いた報告は少なく、比較的軽症で検査に協力できる症例の経過観察にはよい適応であると考えられる。また、CCHS の低換気は重篤であることが多いため、モニタする時間の検討や医師による観察下で行うことなどに留意する。

【炭酸ガス換気応答試験 (Ventilatory Response to CO₂: VRCO₂)】

呼吸中枢の炭酸ガスに対して換気量を増加させる反応性を評価する検査である。閉鎖回路内で炭酸ガスを再呼吸させ体内に蓄積させた際に、どの程度換気量が増加するかを測定し、両者の関係を一次直線に近似した際の傾きから定量評価することができる。CCHSでは、正常新生児と比較してこの反応が極めて不良であり、さらに定量的に呼吸中枢を評価できるため、診断や重症度評価に有用と考えられている。CCHS 10 例の平均は 3.8 mL/min/kg/mmHg であり、正常児の基準値である 40.4 ± 14.8 mL/min/kg/mmHg と比較して有意に低値であった。さらに、CCHS の炭酸ガス換気応答は経年的に低下する可能性が示されており、経過観察のためにも定期的に行う意義がある。

検査時間は睡眠時の 10 分程度で完了することや、再呼吸時に 5%炭酸ガスと 95%酸素を用いることで SpO₂ 低下がおきにくいいため、新生児や重症の CCHS にも検査可能である。有用な検査ではあるが、炭酸ガス換気応答試験ができる呼吸機能検査装置は少ないため、専門施設に依頼して行うことが多い。これまでに、国内症例の約 20%が検査を受け、診断基準や呼吸管理法に反映するためのデータの蓄積が行われている。

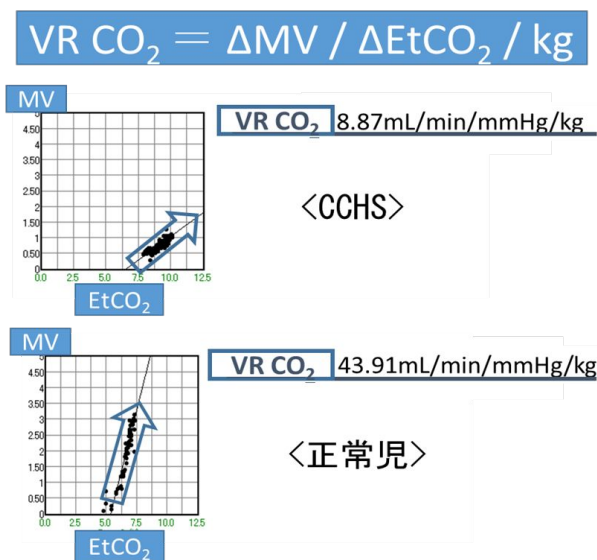


図 CCHSと正常児の炭酸ガス換気応答試験

上段がCCHSのVRCO₂であり、下段の正常児と比較してEtCO₂(横軸)の増加に対するMV(縦軸)の増加が緩やかであり、VRCO₂が低値となっている。

(正常児の基準値:40.4 ± 14.8 mL/min/kg/mmHg)

【横隔膜電気的活動 (Edi) モニタリング】

まだ診断において確立された検査ではないが、CCHS の新しい呼吸中枢の検査法である。神経調節性の人工呼吸モードである NAVA(Neurally Adjusted Ventilatory Assist)モード

で使用される横隔膜電気的活動(Electrical activity of diaphragm)をモニタする検査である。Edi は呼吸中枢から横隔神経を通じて横隔膜に出る電気信号であり、呼吸の頻度（呼吸数）や呼吸の強さ（換気量）を反映しており、高炭酸ガスや低酸素のような呼吸困難がある際には信号が増強する。その一方で過換気状態や、麻酔による呼吸中枢抑制、CCHS などでは信号が減弱する。先端に電極のついた専用の経鼻胃管を挿入して、電位を測定する。CCHS で覚醒時から睡眠時に連続的に Edi をモニタリングすると、入眠後に Edi が下がり低換気が生じる。その後、低換気によって血中炭酸ガス分圧が上昇するが、それに応じた Edi の上昇は認めない。CCHS の病態が再現され呼吸中枢の評価に有用である。

Edi モニタリングは新生児期でも気管挿管中でも行うことができるが、現在は人工呼吸器 Servo®シリーズのみで測定可能である。Servo-i®までのシリーズではオプションとして NAVA モードが搭載可能であり、Servo-U®, Servo-n®シリーズでは NAVA が標準装備されている。炭酸ガス換気応答試験同様、専門施設に依頼して行っているのが現状であるが、NAVA モードは NICU 領域を中心に普及が始まっており、遺伝子検査と並行して行うことでより早期の診断に結びつく可能性がある。

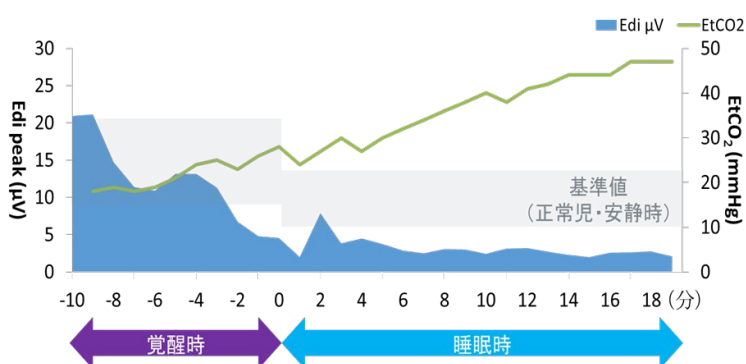


図 CCHSのEdiモニタリング結果

横軸が時間で、0分が入眠したと判断した時点、それより前の10分を覚醒時、後の20分を睡眠時とした。睡眠時にEdiが低下（自発呼吸の減弱）し低換気となり、その後EtCO2が上昇してもEdiの上昇（呼吸努力）を認めない、というCCHSの病態と一致した。

（灰色のエリア：正常児の覚醒時と睡眠時の基準値）

(文献)

- 1)山田洋輔, 他: 先天性中枢性肺胞低換気症候群における炭酸ガス換気応答試験の検討. 日本小児呼吸器学会雑誌 2013; 24: 125-131.
- 2)長谷川久弥, 他: 先天性中枢性低換気症候群における炭酸ガス換気応答試験の診断基準, 重症度評価への応用に関する研究. 厚生労働科学研究費補助金 難治性疾患政策研究事業

「先天性中枢性低換気症候群の診断・治療・管理法の確立」に関する研究．平成 26 年度総括研究報告書．PP10-15.

3)Howerd M, et al: Electrical activity of the diaphragm in a small cohort of term neonates. *Respiratory Care* 2012; 57: 1483-1487.

4)山田洋輔，他：先天性中枢性低換気症候群に横隔膜電気的活動(Electrical activity of Diaphragm: Edi)モニタリングを行った 3 症例の検討．*日本小児呼吸器学会雑誌* 2015; 26: in press.

D 診断基準

A 項目 < 主要症状，除外診断 >

1. 遷延する睡眠時低換気
2. 他の睡眠時低換気をきたす疾患の否定

B 項目 < 検査所見 1 >

PHOX2B 遺伝子検査：アラニン，非アラニン伸長変異

C 項目 < 検査所見 2 >

3. 睡眠時血液ガス分析：高炭酸ガス血症，低酸素血症
4. 睡眠時 SpO₂、EtCO₂ (TcPCO₂) モニタリング：睡眠時の持続する低換気

D 項目 < 検査所見 3 >

3. 炭酸ガス換気応答試験：呼吸中枢の炭酸ガスへの換気応答の低下
 4. ポリソムノグラフィ：睡眠時の中枢性無呼吸、徐呼吸
-

Definite：A、B、C すべてを満たす

Probable：A、C のすべて、D の 1 項目を満たす

Possible：A、C すべてを満たす

Probable 以上を CCHS として対応する

* 遷延：概ね 2 週間以上

* 血液ガス分析は動脈ラインを確保の上行う

* 高炭酸ガス血症：PaCO₂ > 45 mmHg .

* 低酸素血症：PaO₂ 60 mmHg .

この診断基準の意図は、CCHS である人を漏らさず、しかし確実に CCHS ではない人を除外することにある。まず A の睡眠時の低換気は必須として、次の B 項目については、CCHS は *PHOX2B* 遺伝子異常があるということが前提になってきていることから、この B 項目

も必須と考えます。C 項目についても低換気を客観的に証明するものとして必須と考えている。これまでの患者さんの中には、低換気があるという申告のみや、ワンポイントの血液ガスだけの評価の方もいて、CCHS とは違う患者さんも含まれている可能性もあったので、酸素や炭酸ガスのモニタリングも加えた。以上の ABC を満たすのが典型的な CCHS と考える。それに漏れてしまう人への措置としては、遺伝子異常が出ない人の中には既知の変異以外の人がいることや、すでに CCHS と認定されている人の中には診断時期などの関係で遺伝子検査を行っていない人もいることから、D 項目を作り救済している。

4章 治療

A 総論

Key point

- ・現在のところ呼吸中枢障害を改善する治療法はないため、適切な人工呼吸管理を行い低換気によるダメージの蓄積を防ぐことが最も重要である。
- ・乳幼児期は気管切開からの人工呼吸管理が推奨される。幼児期後半以降は、児の状態により鼻マスクなどからの人工呼吸管理も適応となる。
- ・人工呼吸器設定は SpO_2 や $EtCO_2$ などの連続モニタリングを元に決定する。特に、覚醒時の低換気がある症例では呼吸管理について慎重な対応が求められる。
- ・呼吸器感染のみならず発熱や胃腸炎など急性疾患罹患時には、人工呼吸器設定を変更する必要があることに留意する。

【呼吸中枢障害の治療】

現在のところ、呼吸中枢障害を改善する治療法は確立されていない。そのため、CCHSでは生涯にわたって人工呼吸管理が必要となる。適切な呼吸管理を行い低換気によるダメージの蓄積を防ぐことが、唯一の有効な対症療法である。蓄積したダメージは取り除けないため、CCHSは低換気の蓄積によるダメージをいかに減らすかという考え方で呼吸管理を行う。また、CCHSの本態は低換気、つまり高炭酸ガス血症があるため、酸素投与のみ行うことは有効な呼吸管理ではない。

【呼吸管理法の決定】

人工呼吸管理法には、気管切開からの人工呼吸、鼻マスクなどからの人工呼吸、横隔膜ペーシングがある。それぞれの特徴は各論で解説するが、乳幼児期は気管切開からの人工呼吸が推奨される。乳児は一日の中で睡眠の占める割合が多く、また睡眠回数も多い。低換気の予防のためには睡眠の度に人工呼吸器を装着する必要がある。呼吸器の着脱が容易な気管切開が有効である。CCHSでは呼吸困難がないため、鼻マスクからの人工呼吸は呼吸器の装着をいやがることも少なくない。その結果、児へのストレスの増大や、保護者の呼吸器装着のコンプライアンスが低下することがある。さらに、乳幼児期は成長発達に最も重要な時期であり、この時期の低換気の蓄積は予後に大きく影響するため、この観点からも気道確保や換気効率の最も良い気管切開からの人工呼吸管理が適していると考えられる。鼻マスクからの人工呼吸は、人工呼吸器をつける意義を本人が理解でき装着の負担が減る幼児期後半以降では適応となる。どの呼吸管理を行うにせよ、メリットデメリットが

あるため、児、保護者と十分に話し合い選択する。

海外の報告においても乳幼児期は気管切開が第一選択であり、国内でもそれを支持するいくつかの報告がある。苛原らは、国内症例においては、早期の気管切開が発達予後により影響を与える可能性を報告した²⁾。下風らは、国内の CCHS は臨床的に軽症のはずの 25PARM の児においても発達予後が芳しくなく、それが不適切な呼吸管理による可能性を報告している³⁾。

呼吸管理法 (推奨時期)	利点	欠点
気管切開 (新生児～)	最も確実かつ簡便な気道確保 ⇒低換気を起こしにくい	下気道感染、発声の問題 日常生活の制限がある
鼻マスク フェイスマスク (幼児、学童～)	日常生活の制限が少ない	顔面骨変形 乳幼児や感冒時は装着困難 ⇒低換気が助長されやすい
横隔膜ペーシング (保険適応外)	デバイスとしては最小 覚醒時も簡便に呼吸補助が可能	デバイスの不安定さ 上気道狭窄に注意

表 呼吸管理法の比較

【呼吸管理の実際】

CCHS では、睡眠時の人工呼吸管理中は完全に呼吸器に同調する例が多い。そのため、自発呼吸をサポートするモードは適さない。強制換気のモードで必要量の換気ができるような設定が基本であり、それに覚醒度が上がった際に加わる自発呼吸をサポートする設定を加える。実際の呼吸器設定は、ワンポイントの SpO₂ の値や血液ガスのみで判断せず、長時間の連続モニタリングを経て決定する必要がある。モニタリングの際は、EtCO₂ や TcPCO₂ などの炭酸ガスのモニタも行うことが望ましい。安全域を考慮して、わずかに過換気になる設定にしておくことで、状態が悪化した際の低換気の影響を減らすことができる。CCHS ではガス交換能は障害されないため、換気量が保たれていれば酸素投与は不要である。安全のために在宅酸素濃縮器を設置することは必要だが、平時の設定は酸素投与が不要な換気量にする。

在宅人工呼吸を行う際は、他の疾患同様に在宅医療のマニュアルに従うべきであるが、いくつかの CCHS 特有の病態に注意して管理することが重要である、最低限パルスオキシ

メータの装着は必須である。人工呼吸器のアラーム設定では、低換気に呼吸賦活が起きないため回路はずれ、換気量アラームなどは必要であると考えられる。

覚醒時低換気がある症例では、さらに慎重な呼吸管理が求められる。理想は低換気が起きているその都度、人工呼吸を行うことであるが、日中の人工呼吸管理は児の QOL に大きく影響する。覚醒時の低換気について詳細に評価し、低換気の頻度、程度と QOL を天秤にかけて、どの場面は人工呼吸器を装着する、あるいはしない、という決定を行うべきである。このような症例は、管理に難渋することが多いため、経験の豊富な専門医と連携し診療にあたることが望ましい。

【急性疾患罹患時の呼吸管理】

これまでの解説のように、CCHS では呼吸困難がなく、呼吸賦活が起きず人工呼吸器に同調する。そのため、感冒など軽度の呼吸器感染症にかかっても、CCHS ではない児が無意識に行っている換気量増やすことができない。その結果、軽度の呼吸器感染症でも著明な SpO₂ 低下、EtCO₂ 上昇などが起きていることをしばしば経験する。呼吸困難がないため、その発見自体が困難であるため、平時よりこのことを意識して、低換気を見逃さないことが重要である。また、呼吸器感染でなくても、活気不良の時には普段の自発呼吸より換気量が落ち低換気になること、嫌気性代謝が進む病態がある際に自分では呼吸性代償ができないことにも留意する。

(文献)

- 1) Weese-Mayer DE, et al: An official ATS clinical policy statement: Congenital central hypoventilation syndrome. Am J Respir Crit Care Med 2010; 181: 626-644.
- 2) 苛原香, 他: 本邦における先天性中枢性低換気症候群の精神発達予後と呼吸管理。脳と発達。2015; 47: 343-347.
- 3) Simokaze T, et al: Genotype-phenotype relationship in Japanese patients with congenital central hypoventilation syndrome. Journal of Human Genetics 2015; 60: 473-477.
- 4) 長谷川久弥, 他: 先天性中枢性低換気症候群診療ガイドラインにおける呼吸ドックに関する研究。厚生労働科学研究費補助金 難治性疾患政策研究事業「先天性中枢性低換気症候群の診断・治療・管理法の確立」に関する研究。平成 26 年度総括研究報告書。PP23-28.

B 呼吸管理法

1. 気管切開による人工換気療法

Key point

- ・人工呼吸管理は酸素化と換気を維持する生命維持の治療で生涯必要となる。
- ・低換気の種類により、日中人工呼吸から離脱できる患者もいる。
- ・気管切開による人工呼吸管理は最も確実な長期の人工呼吸管理方法である。
- ・小児ではカフなし気管切開チューブの方が発語などのメリットが大きい。
- ・夜間の PaCO₂ を 30-35mmHg に維持する事が日中のガス交換も改善する。

CCHS 患者の人工呼吸管理の目的は酸素化と換気の維持である。CCHS の呼吸病態は通常回復せず、また薬物療法に反応しないため生涯を通じて人工呼吸管理が必要となる¹⁾²⁾。従来、気管切開による陽圧人工呼吸が用いられている。また人工呼吸管理が必要な時間は症状の種類により、夜間だけの患者と 1 日 24 時間必要な患者とがいる。

人工呼吸器の換気モード設定は無呼吸や低換気でも換気量が保障される強制換気が重要である。また気管切開チューブはカフなしの気管切開チューブを用いる。カフなし気管切開チューブの利点はカフによる気管のダメージや肉芽形成が少ないことや細めの気管切開チューブの使用は気管軟骨の成長を妨げないため、気管切開に続発する気管軟化症を予防することができる。細めのカフなしチューブはリークが多いため、発声しやすいという利点もある。一方で気管切開チューブ周囲のリークが多くなるため、陽圧換気はチューブリークを保証できるような換気量と最大吸気圧を設定する。

CCHS 患者の夜間の換気条件として PaCO₂ が 30-35mmHg になるような過換気が推奨されている。夜間の過換気が日中の自発呼吸によるガス交換を改善する効果がある。

ATS (米国胸部疾患学会) の提言では出生後数年間は気管切開による人工呼吸管理を推奨している。非侵襲的人工呼吸管理への移行は夜間のみ人工呼吸管理が必要な患者で入眠時の呼吸管理が安定している 6 から 8 歳時³⁾としている。

(文献)

1)Weese-Mayer DE, et al: Idiopathic congenital central hypoventilation syndrome: diagnosis and management. American Thoracic Society. Am J Respir Crit Care Med 1999; 160: 368-373.

2)Beckerman RC: Home positive pressure ventilation in congenital central

hypoventilation syndrome: more than twenty years of experience. *Pediatr Pulmonol* 1997; 23: 154–155.

3) Weese-Mayer DE, et al: Trang H. An official ATS clinical policy statement: Congenital central hypoventilation syndrome Genetic basis, diagnosis, and management. *Am J Respir Crit Care Med* 2010; 181: 626-644.

2. 非侵襲的人工呼吸療法

Key point

- ・非侵襲的人工呼吸管理は鼻マスク，鼻プロング，鼻口マスクによる陽圧人工呼吸管理と陰圧式人工呼吸管理とがある．
- ・鼻マスクによる呼吸管理は有効かつ家族の受け入れが良く患者数は増加している．
- ・マスクによる圧迫は顔面骨の成長する乳児期，小児期に長時間使用すると顔面骨の成長障害をおこす．
- ・CCHS に対するマスクによる非侵襲的人工呼吸管理は小児においては，現時点での推奨年齢は7～8歳以上である．

非侵襲的人工呼吸療法は鼻マスク，鼻プロング，鼻口マスクによる陽圧人工呼吸管理である．

フルフェイスマスクや鼻口マスクの欠点は，嘔吐したものを気道へ吸引する可能性があるため注意が必要である．マスク人工呼吸器はブローモーターによる連続流があり，吸気と呼気に2相性（バイレベル）に陽圧をかけ，その差圧で換気する．回路に呼気を排出するポートがあり，呼吸器が高流量を発生し，マスク周囲からのリークにたいしても代償しながら，換気が可能である．吸気圧はおよそ14cmH₂O程度までが良く，自発呼吸にトリガーして陽圧換気をおこなうが，睡眠時に自発呼吸がなくてもタイムサイクルモードで強制換気が可能である．吸気圧設定が高いと空気嚙下，腹部膨満などの原因となる．

マスクによる人工呼吸が7～8歳以上の夜間のみ人工呼吸管理が必要なCCHSの患者において，非侵襲的で効果があることが証明されている¹⁻⁹⁾．非侵襲的人工呼吸管理は有効であるばかりでなく，侵襲的人工呼吸管理から短期間で変更した患者や家族への受け入れが良い¹⁰⁾．

新生児や乳児期よりマスクによる非侵襲的人工呼吸管理が試されている症例も存在するが，気管切開に比べて気道確保が不安定であり，確実に，安全な長期的呼吸管理の方針として推奨できない．マスクのずれなどにより換気不良を起こす可能性もあり，換気量や酸素化のモニタリングが必須である．

新生児期から気管切開せずにマスクによる非侵襲的人工呼吸管理を継続して成長した患者においてはマスク装着部位の顔面骨の発育不全の報告がある^{11),12)}．マスクの装着開始時期に関しては顔面骨の成長発達途中ではなく，ほぼ形状が固定した7-8歳以降の年齢がのぞましい．

CCHS 患者に陰圧式人工呼吸の報告がある^{13),14)}。胸部シェル(キュイラス),ラップ(キュイラスシール)を用い,胸郭や腹部を入れて,陰圧で胸郭を膨らませる人工呼吸器である。装置が大型,装着の手間や装置の調整が必要,仰臥位に限られるなどの理由により世界的にも少数にとどまり,普及していない。また陰圧人工呼吸は乳幼児においては睡眠時の上気道閉塞をおこしうるため気管切開が必要なことがあり,長所が少ない。さらに,陰圧式人工呼吸は患者の胸郭の可動性が重要であり,胸郭変形のあるような患者には適さない。

(文献)

1)Marcus CL: Ventilator management of abnormal breathing during sleep: continuous positive airway pressure and nocturnal noninvasive intermittent positive pressure ventilation. New York: Marcel Dekker, Inc.; 2000.

2)Kerbl R, et al: Congenital central hypoventilation syndrome (Ondine's curse syndrome) in two siblings: delayed diagnosis and successful noninvasive treatment. Eur J Pediatr 1996; 155: 977–980.

3)Costa Orvay JA, et al: Non-invasive ventilation in neonates with Ondine syndrome: a real indication? An Pediatr (Barc) 2005; 63: 441–443.

4)Fauroux B, et al: Long-term noninvasive mechanical ventilation for children at home: a national survey. Pediatr Pulmonol 2003; 35: 119–125.

5)Paditz E: Nocturnal nasal mask ventilation in childhood. Pneumologie 1994; 48: 744–749.

6)Simonds AK, et al: Outcome of paediatric domiciliary mask ventilation in neuromuscular and skeletal disease. Eur Respir J 2000; 16: 476–481.

7)Teague WG: Non-invasive positive pressure ventilation: current status in paediatric patients. Paediatr Respir Rev 2005; 6: 52–60.

8)Tibballs J, Henning RD: Noninvasive ventilatory strategies in the management of a newborn infant and three children with congenital central hypoventilation syndrome. Pediatr Pulmonol 2003; 36: 544–548.

9)Villa MP, et al: Bi-level positive airway pressure (BIPAP) ventilation in an infant with central hypoventilation syndrome. Pediatr Pulmonol 1997; 24: 66–69.

10)Ramesh P, Boit P, Samuels M: Mask ventilation in the early management of congenital central hypoventilation syndrome. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed 2008; 93: F400-3.

11)Li KK, Riley RW, Guilleminault C: An unreported risk in the use of home nasal continuous positive airway pressure and home nasal ventilation in children. *Chest* 2000; 117: 916–918.

12)Villa MP,et al: Mid-face hypoplasia after long-term nasal ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166: 1142-1143.

13)Kajiura Y, et al: A case of primary alveolar hypoventilation syndrome with a good response to nocturnal low-flow oxygen inhalation and negative pressure ventilation. *Nihon Kyobu Shikkan Gakkai Zasshi* 1992; 30: 2151–2157.

14)Hartmann H, et al: Negative extrathoracic pressure ventilation in central hypoventilation syndrome. *Arch Dis Child* 1994; 70: 418–423.

3. 横隔膜ペーシング

Key point

- ・横隔膜神経ペーシングは横隔膜神経，肺，胸郭に問題のない患者が適応となる。
- ・気管切開を抜去できる可能性があり，ペースメーカーは携帯性にすぐれ，生活の質を改善する。
- ・手術は頸部アプローチと胸腔内アプローチがある。
- ・横隔膜のみ収縮する人工呼吸のため，睡眠時の閉塞呼吸が問題となることがある。
- ・横隔膜ペーシングは心臓ペースメーカーに影響しない。
- ・本邦の健康保険では未承認の治療方法である。

横隔膜ペーシングは患者の横隔膜を呼吸のポンプとし動かす人工呼吸管理である¹⁻¹³⁾。電池駆動の体外式トランスミッターがパルス波をアンテナに送り，アンテナがラジオ波を両側の皮下に植え込んだレシーバーに送る。レシーバーはラジオ波を電流に変換し，横隔膜神経に装着したプラチナ製の単極電極に送り，神経を電気刺激することにより横隔膜を収縮させ，呼吸運動となる。対象となる患者には肺に疾患がない，肥満がない，横隔膜から横隔膜に至る部分の障害がない，導入時には気管切開があるなどの条件が必要である。

両側の頸部横隔膜神経に植え込む方法と胸腔内横隔膜神経に植え込む方法とがある。胸腔鏡下に両側横隔膜神経に植え込む非侵襲的外科手術で良い成績が報告されている^{9), 11)}。横隔膜ペーシング治療は気管切開で24時間人工呼吸管理が必要な患者の日中の活動性をあげることができる。横隔膜ペーシングはこのような患者の日中の換気および酸素化を保ち，長期間の予後は良好で特に生活の質を改善する⁹⁾。CCHSで夜間のみ人工呼吸が必要な患者においては夜間の横隔膜ペーシングが用いられ，気管切開を抜去でき，マスクによる人工呼吸管理も不要となる。

横隔膜ペーシングは横隔膜収縮の呼吸運動のみであり，上気道の筋肉の収縮による気道が開通する生理的な運動がおこらないため，胸腔内が強く陰圧になることにより，閉塞性無呼吸がおこることがある。この閉塞性無呼吸に関しては横隔膜ペーシングの設定を調整し，横隔膜収縮力を低下させ，収縮時間（吸気時間）を長くすることにより改善させることが可能である。

横隔膜ペーシングの問題点は機器やシステム不良による再度植え込み手術が必要となるかもしれないことである。横隔膜ペーシングは手術後導入初期から横隔膜のペーシングの時間を徐々に長くするという訓練期間が必要であり，多くの小児患者では12 - 14時間の

継続が可能である。現在4極の電極の開発はより長時間の使用を可能とし、また神経損傷や横隔膜疲労などの問題を解決し、運動時のペースング増加にも対応できるような開発が進んでおり、機器の開発により再挿入の頻度は減少する可能性がある。

CCHS患者で横隔膜ペースングの患者で、完全房室ブロックなどの不整脈を合併し心臓ペースメーカーも同時に必要な患者がいるが、心臓ペースメーカーが双極であれば相互に影響はない^{1),11),12)}。

海外ではCCHS、高位脊椎損傷患者を適応に2000例以上の使用実績があるが、本邦ではまだ保険診療が認められていないため、数例しかない。今後の認可および導入が期待される。

(文献)

- 1)Weese-Mayer DE, et al: Diaphragm pacing in infants and children. *J Pediatr* 1992; 120: 1–8.
- 2)Weese-Mayer DE, et al: Diaphragm pacing with a quadripolar phrenic nerve electrode: an international study. *Pacing Clin Electrophysiol* 1996; 19: 1311–1319.
- 3)Weese-Mayer DE, et al: Diaphragm pacing in infants and children. A life-table analysis of implanted components. *Am Rev Respir Dis* 1989; 139: 974–979.
- 4)Chen ML, et al: Diaphragm pacers as a treatment for congenital central hypoventilation syndrome. *Expert Rev Med Devices* 2005; 2: 577–585.
- 5)Glenn WW, et al: Diaphragm pacing by electrical stimulation of the phrenic nerve. *Neurosurgery* 1985; 17: 974–984.
- 6)Glenn WW, et al: Fundamental considerations in pacing of the diaphragm for chronic ventilator insufficiency: a multi-center study. *Pacing Clin Electrophysiol* 1988; 11: 2121–2127.
- 7)Hunt CE, et al: Diaphragm pacing in infants and children. *Pacing Clin Electrophysiol* 1988; 11: 2135–2141.
- 8)Alonso Calderon JL, et al: Simultaneous, bilateral and permanent ventilation with a diaphragm pacing in childhood: The implantation technique and indications. *Cir Pediatr* 1994; 7: 3–7.
- 9)Shaul DB, et al: Thoracoscopic placement of phrenic nerve electrodes for diaphragmatic pacing in children. *J Pediatr Surg* 2002; 37: 974–978.
- 10)Hyland RH, Hutcheon MA, Perl A, Bowes G, Anthonisen NR, Zamel N, Phillipson EA: Upper airway occlusion induced by diaphragm pacing for primary alveolar

hypoventilation: implications for the pathogenesis of obstructive sleep apnea. *Am Rev Respir Dis* 1981; 124: 180–185.

11) Nicholson KJ, et al: Thoracoscopic placement of phrenic nerve pacers for diaphragm pacing in congenital central hypoventilation syndrome. *J Pediatr Surg* 2015; 50: 78-81.

12) Movahed MR, et al: Absence of device-device interaction (DDI) in a patient with cardiac and diaphragmatic pacemakers for congenital central hypoventilation syndrome. *Pacing Clin Electrophysiol* 2005; 28: 1238–1239.

13) Kolb C, et al: Cardiac pacing in a patient with diaphragm pacing for congenital central hypoventilation syndrome (Ondine's curse). *J Cardiovasc Electrophysiol* 2006; 17: 789–791.

4 呼吸管理法の定期的な見直し

Key point

- ・成長に伴う生理的变化である 1 回換気量の増加，呼吸数の減少などが起きないため，定期的に換気状態を評価し呼吸管理法を見直す必要がある．
- ・呼吸中枢障害についても定期的に評価する．呼吸中枢障害が進行し，睡眠時の低換気が重症化することや，乳児期には明らかでなかった覚醒時低換気が幼児期以降に顕在化することがある．
- ・定期的な呼吸管理の見直し，成長段階に合わせた呼吸管理への変更には，専門施設との連携が望ましい．

【呼吸状態の定期的な評価】

CCHS では睡眠時の人工呼吸では呼吸器に完全に同調することが多いため，成長に合わせて呼吸器の設定を変更する必要がある．乳児期の設定を続けると，圧力が不足し一回換気量の低下が起きることや，年齢相応より早い呼吸数で換気することになる．成長段階に合わせた呼吸状態になるように調整する．設定を変更する際には，再度 SpO₂，EtCO₂ 等の連続モニタリングを行う．

呼吸中枢障害についても定期的な評価を行うことが望ましい．定期的に連続モニタリングを行うと，睡眠時の低換気が重症化している症例もあり，出生後の低換気の蓄積により呼吸中枢障害が進行している可能性がある．また，幼児期になりテレビ，絵本を読むなど意識を集中するようになると，その時点で初めて覚醒時の低換気に気が付く症例がある．覚醒時の低換気は予後に影響するためその有無を慎重に見極めることが重要である．さらに幼児期後半に入ると，活動性が高まり運動量が増加する．運動による炭酸ガス負荷に対しても呼吸賦活は起きないと考えられるが，現時点ではその運動時の換気状態については詳細が明らかになっていない．

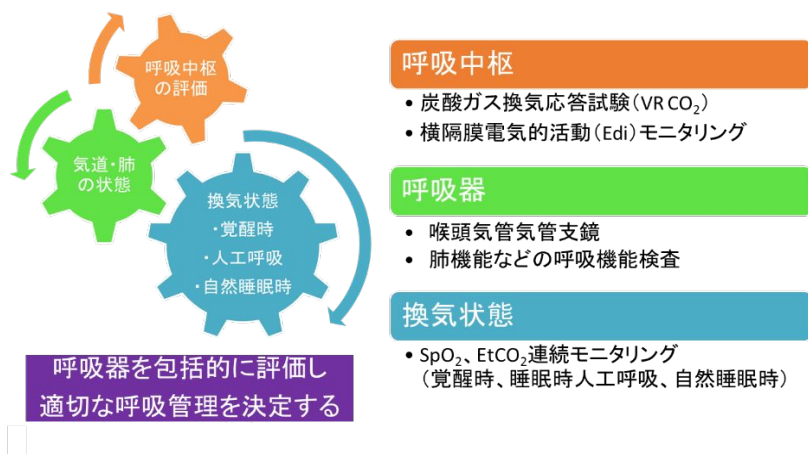
成長に伴う人工呼吸器設定の変更と同様に，呼吸管理法の検討を行う．気管切開からの呼吸管理を行っていた症例をいつ鼻マスク等からの呼吸管理に変更するかということについては，定まった見解はないが，考慮する一つのタイミングは就学時であると考えられる．このころには，発達が進んでいれば，人工呼吸器をつける必要性を理解しマスクの装着が容易になり，さらにマスク換気による顔面骨変形は起きにくくなっている．しかし，覚醒時の低換気がある症例では日中のマスク換気が困難であるため気管切開の継続が望ましい場合や，マスク換気の呼吸管理の不安定さからあえて気管切開を継続するという場合もあ

る．個別性の高い問題であるため，初めに呼吸管理法を決定する時同様，保護者としてこの時期には児とも十分に話し合い決定すべきである．

【専門施設との連携】

このような呼吸管理の調整は，漏れのないように一定のプロトコルに基づいて行われることが望ましい．海外では以前より検査間隔，内容など一定のプロトコルに基づいて行われている施設がある．国内でも，その動きが始まっており，本ガイドライン作成時点では東京女子医科大学東医療センター新生児科を中心に，呼吸器を包括的に評価し呼吸管理を決定するプログラムである CCHS 呼吸ドックが行われている．これまでに国内症例の約 20%が何らかの形で検査を受けている．CCHS 呼吸ドックを行ったことで初めて明らかになる気道病変や覚醒維持低換気がある．その結果，呼吸管理が変更となる症例も少なくない．専門施設と連携し専門的な評価と平時の管理を分担することで，CCHS 診療の質の向上，自施設の負担軽減，複数の評価者が入ることで見逃しが減ることなどの効果も期待できるため，積極的な連携が望ましいと考えられる．

CCHS呼吸ドックのイメージ



(文献)

1) Weese-Mayer DE, et al: An official ATS clinical policy statement: Congenital central hypoventilation syndrome. AmJ Respir Crit Care Med 2010; 181: 626-644.

2) 長谷川久弥，他：先天性中枢性低換気症候群診療ガイドラインにおける呼吸ドックに関する研究．厚生労働科学研究費補助金 難治性疾患政策研究事業「先天性中枢性低換気症候群の診断・治療・管理法の確立」に関する研究．平成 26 年度総括研究報告書．PP23-28.

C 薬物療法

Key point

・ CCHS の呼吸不全に対する薬物療法では未だ有効なものはない。

CCHS の呼吸を安定させる呼吸賦活薬などの薬物治療は現在ない¹⁾。経口避妊薬のプロゲステロンを内服した CCHS 患者の炭酸ガスに対する換気応答が改善した症例報告²⁾により薬物療法として期待され、Straus 等により CCHS 女性患者 desogestrel を 112 日間投与の臨床研究が行われたが、未だ有効性は証明されていない³⁾。

また、インビトロの研究では腫瘍の治療薬である 17-AAG および curcumin が *PHOX2B* の変異遺伝子のクリアランスを推進し、ポリアラニンの活動性を回復する働きが証明されており⁴⁾、今後の検討が期待される。

(文献)

1)Ramanantsoa N, Gallego J: Congenital central hypoventilation syndrome. *Respir Physiol Neurobiol* 2013; 189: 272-279.

2)Straus C, et al: Chemosensitivity recovery in Ondine's curse syndrome under treatment with desogestrel. *Respir Physiol Neurobiol* 2010; 171: 171-4.

3)<https://clinicaltrials.gov/ct2/show/record/NCT01243697>

4)Di Zanni E, et al: In vitro drug treatments reduce the deleterious effects of aggregates containing polyAla expanded *PHOX2B* proteins. *Neurobiol Dis* 2012; 45: 508-18.

第5章 予後

A 発達予後

Key point

・気管切開の上，適切な人工呼吸管理を行うと発達予後は概ね良好である．

【発達予後】

CCHS における発達に関しては，低酸素による影響を除外できず，疾患自体による障害の評価は困難であった．しかし，病因遺伝子が判明したことから，早期診断・早期治療が可能となり，新生児期から適切に管理された 20 症例で検討が行われ，全検査 IQ 84.9 ± 23.6 （平均 \pm SD）と学童期における軽度の認知機能の低下が報告された¹⁾．更に，2015 年，乳幼児 31 症例（平均月齢 25.0 ± 8.5 か月，6-40 か月）が解析され，Bayley 発達検査では，心的尺度 83.35 ± 24.75 ，運動尺度 73.33 ± 20.48 と有意な低下が確認されたことから，疾患自体に基づく中枢神経系の障害が推定される²⁾．心的尺度および運動尺度の低下は，重症な息とめ発作，長時間の洞停止および 24 時間の呼吸管理との関連，運動尺度の低下はけいれんの合併との関連が確認された²⁾．

国内の報告では，苛原らは学齢期以上の 17 例に後方視的に調査を行い，気管切開症例は正常から重度発達遅滞まで認めたが，気管切開の時期が遅いほど遅滞が重篤である傾向を認め，非侵襲的人工呼吸管理を行った症例には全例境界域～中等度の発達遅滞を認めたと報告している³⁾．また，Shimokaze らは 25PARM の 19 例について調査し，8 例（42%）に精神運動発達遅延を認めた⁴⁾．25PARM では発症時期が新生児期以降であったり，症状が非典型的であったりしたことから，診断が遅れ，適切な治療が行われずに中枢神経系が障害を受けたことが考えられた．

予後の改善のためには，新生児期の呼吸障害の鑑別疾患として CCHS を念頭に置き，速やかな診断のもと，気管切開を行い，適切に呼吸管理を行うことが発達予後の改善をもたらすものと考えられる．

(文献)

1)Zelko FA, et al: Congenital central hypoventilation syndrome: neurocognitive functioning in school age children. *Pediatr Pulmonol* 2010; 45: 92-98.

2)Charnay AJ, et al: Congenital Central Hypoventilation Syndrome: Neurocognition Already Reduced in Preschool-Age Children. *Chest* 2015. doi:10.1378/chest.15-0402

3) 苛原香, 他: 本邦における先天性中枢性低換気症候群の精神発達予後と呼吸管理. 脳と発達 2015; 47: 343-347.

4) Simokaze T, et al: Genotype-phenotype relationship in Japanese patients with congenital central hypoventilation syndrome. J Hum Genet 2015; 60: 473-477.

B 生命予後

Key point

・適切な管理が行われれば, 生命予後は良好である.

【生命予後】

安全で確実な呼吸管理と不整脈等の管理が行われれば, 生命予後は良好である¹⁾.

(文献)

1) Weese-Mayer DE, et al: An official ATS clinical policy statement: Congenital central hypoventilation syndrome Genetic basis, diagnosis, and management. Am J Respir Crit Care Med 2010; 181: 626-644.

< 相談窓口 >

佐々木綾子（山形大学小児科）

鈴木康之（国立成育医療研究センター集中治療部）

山田洋輔（東京女子医科大学東医療センター新生児科）

{ 1 分担研究報告書【H28】 }

厚生労働科学研究費補助金 難治性疾患等政策研究事業（難治性疾患政策研究事業）

先天性中枢性低換気症候群（CCHS）の診断基準・ガイドライン・重症度分類の確立 （分担）研究報告書

先天性中枢性低換気症候群における呼吸管理と発達予後

研究分担者 早坂 清 佐々木綾子 山形大学医学部小児科学講座

研究要旨

先天性中枢性低換気症候群(Congenital Central Hypoventilation Syndrome: CCHS)において、遺伝子変異を認めた症例に対し、より安全な呼吸管理法を検討するため、当院で遺伝子検査を受けた症例を対象に発達予後調査を行った。遺伝子変異を認めた115例のうち、アンケートの他、臨床経過、主治医への聞き取り調査から回答を得られた83例を検討した。25PARMの症例では非侵襲的人工呼吸管理を行われている症例に発達遅滞を多く認めた。26PARMとNPARMでは生後早期に気管切開を施行し、人工呼吸管理を施行した症例に発達良好例が多い傾向を示した。また、全体的に日齢0から人工呼吸管理を施行した症例に発達良好例が多い傾向を示した。適切な呼吸管理を行われていないことによる精神発達遅滞を認める症例もあり、早期に診断して適切な人工呼吸管理を行うことが重要であり、遺伝子検査は有用と考える。また、適切な人工呼吸管理法を模索するとともに今後ガイドラインを作成していく必要がある。

A.研究目的

先天性中枢性低換気症候群（congenital central hypoventilation syndrome: CCHS）は neurocristopathy（神経堤関連疾患）のひとつで、呼吸の調節と自律神経系の障害を特徴とする。罹患率は欧米では約5～20万出生児あたり1人と推定され¹⁾、日本においては少なくとも約15万出生児あたり1人と推定される²⁾。病因は染色体4p12に位置するPHOX2Bの遺伝子変異である。症例の90%以上には、20個のポリアラニン鎖における4～13個のポリアラニン伸長変異（polyalanine repeat expansion mutation: PARM）が検出され、残り10%以下には非ポリアラニン伸長変異（non-polyalanine repeat expansion mutation: NPARM）が検出される。PARMではアラニン伸長数に比例して重篤であり、伸長数の大きいPARMとNPARMも概ね重篤である。臨床的には、睡眠時の低換気もしくは無呼吸を特徴とし、神経堤細胞の分化異常からHirschsprung病や神経芽細胞腫の合併や自律神経系の障害によるさまざまな合併症が認められる。

神経発達予後に関しては、神経発達の障害が原疾患によるものか、不適切な呼吸管理による低酸素脳症の結果によるものか、判断には困難なところがあるが、国外からは、CCHSによる軽度の知的な障害が報告されている^{3, 4)}。一方、国内では、苛原らは学齢期以上の17例に後方視的に調査を行い、気管切開症例は正常から重度発達遅滞まで認めたが、気管切開の時期が遅いほど遅滞が重篤である傾向を認め、非侵襲的人工呼吸管理を行った全症例では、境界域～中等度の発達遅滞を認めたと報告している⁵⁾。また、私達は25PARMを有する19例について調査し、8例（42%）に精神運動発達遅延を認めた⁶⁾。25PARM有する症例では、遺伝子変異としては軽症型であるが、症状が非典型的であることから、診断や治療が速やかに施行されず、低酸素による中枢神経系障害を起こしたものと考察した。これらの解析は、一部の症例に過ぎないことから、国内のCCHS全体の神経予後について調査する必要性がある。そこで、その他の遺伝子型の症例についても主治医へのアンケート調査および主治医への聞き取りを行い、遺伝子

{ 1 分担研究報告書【H28】}

型と発達予後との関連，また呼吸管理法による予後への影響について検討した．

B.研究方法

2003年～2015年に当院でPHOX2B遺伝子を解析し，遺伝子変異を検出した115症例の主治医にアンケートによる調査を依頼した．一部は，主治医に直接聞き取り調査を行った．回答が得られなかった症例については，遺伝子検索依頼時に得られた臨床情報をもとに解析し，最終的に83例を対象とし検討した．遺伝子は既報に従い解析し⁷⁾，遺伝子型を25PARM，26PARM，27PARM，NPARMに分類して調査した．調査項目としては，呼吸管理法，気管切開の有無および時期，合併症の有無，発達(DQおよびIQ)について検討した．発達評価では，発達指数(DQ)85以上を正常，70-84を境界，70未満を遅滞とした．DQは未施行であっても，主治医により明らかに正常発達と診断された症例は正常，明らかに発達遅滞と評価された症例は遅滞に分類した．

(倫理面への配慮)

本研究は山形大学医学部の倫理委員会の承認を得ており，個人情報匿名化している．

C.研究結果

対象となった83例の遺伝子変異の内訳は，25PARM 19例，26PARM 24例，27PARM 35例，NPARM 5例であった．全体では男女差を認めなかったが，25PARMでは男女比は14:5と有意に男性が多かった．出生状況に関しては，83例中正期産70例，早産5例，不明8例であり，また，出生体重は83例中，低出生体重児は13例，不明は10例であり，また遺伝子型との関連は認めなかった．症状発現時期は25PARMでは新生児期発症が12例，新生児期以降発症が7例であったが，26PARMとNPARMでは不明な症例9例を除いてすべて新生児期発症であった．ヒルシュスプルング病の合併は25PARMには認めず，26PARMでは5例，27PARMでは18

例，NPARMでは4例に認められた．不整脈や徐脈の合併は25PARMには認めず，26PARMで2例，27PARMで7例，NPARMで1例に認められた．肺高血圧は25PARMで2例，26PARMで1例，27PARMで1例，NPARMで1例に認められた．てんかんは27PARMで2例に認められた．

遺伝子型と非侵襲的人工呼吸管理の有無，さらに発達予後との関連を調べた．非侵襲的人工呼吸管理を行っていた症例は25PARMで12例(63%)，26PARMで6例(25%)，27PARMで7例(20%)，NPARMで1例(20%)，全体で26例(31%)であり，25PARMに多い傾向を認めた．発達遅滞は25PARM 8例(42.1%)，26PARM 6例(25%)，27PARM 9例(25.7%)，NPARM 2例(40%)に認められた．遺伝子型における発達予後に統計学的に有意差は認めなかったが，25PARMに発達遅滞が多い傾向が認められた．

気管切開の有無と発達予後との関連を検討した．気管切開を施行された48例中，正常発達は19例(40%)，境界は10例(21%)，遅滞は15例(31%)，不明は4例(8%)であった．気管切開を施行していない35例中，正常発達は9例(26%)，境界は3例(8%)，遅滞は9例(26%)，不明は14例(40%)であった．気管切開の有無と発達予後との関連は認められなかった．

気管切開の時期について検討した．生後6か月未満に施行した症例では発達正常は13例，境界は7例，遅滞は6例，不明は4例であった．生後6か月以降で施行した症例では発達正常が4例，境界が3例，遅滞が7例，不明が0例であった．気管切開の時期についても差は認められなかった．

人工呼吸管理を開始した時期を日齢0，日齢1以降に分類して比較を行った．時期が不明な症例は8例であった．人工呼吸管理を日齢0で行った症例は50例で発達正常は21例，発達境界は9例，発達遅滞は6例，発達不明は14例であった．日齢1以降から行った症例は25例で，発達正常は6例，発達境界は4例，発達遅滞は10例，発達不

{ 1 分担研究報告書【H28】}

明は5例であった。日齢0から呼吸管理を開始した症例に発達正常が多い傾向を認めた。

D. 考察

日本におけるCCHSの発達予後について、詳細な報告は認めないことから、主治医へのアンケートおよび一部は聞き取りにより調査した。発達遅延を示す症例が約30%存在し、必ずしも良い成績とは言えない結果であった。米国胸部疾患学会の提言では、出生後数年間は気管切開による確実な人工呼吸管理を推奨している。新生児～乳児期のマスクによる非侵襲的人工呼吸管理は気道確保が不確実であることや、顔面骨の成長障害・変形を来すため、非侵襲的人工呼吸管理への移行は夜間のみ人工呼吸管理が必要な患者で、入眠時の呼吸管理が安定している、6～8歳以降を推奨している⁹⁾。米国からの報告では、新生児期から適切に管理された20症例で検討が行われ、全検査IQ 84.9 ± 23.6 (平均 \pm SD)と学童期における軽度の認知機能の低下が報告された¹⁾。更に、2015年、乳幼児31症例(平均月齢 25.0 ± 8.5 か月、6-40 か月)が解析され、Bayley 発達検査では、心的尺度 83.35 ± 24.75 、運動尺度 73.33 ± 20.48 と報告されている。これらのことから、CCHSの発達においては、疾患自体に基づく軽度の中枢神経系の障害が推定される。しかし、今回の検索からは、国内の治療成績は欧米の成績に比し有意に低く、疾患自体による障害を越える発達障害(低酸素脳症?)が確認され、原因の究明と対策の立案が必要である。

今回、検索対象とした症例の背景に関して、全症例における男女差では有意差を認めなかったが、既報と同様に25PARMでは男性が女性の約3倍と有意に高頻度であった。PARMでは、アラニンの伸長数に比例し重篤である事が知られ、24-25PARMでは、合併症も少なく、不完全浸透を示し、

発症には他の遺伝および環境因子の関与が考えられる。女性ホルモンは呼吸賦活化作用を有することが知られており、また経口避妊薬(プロゲステロン)により二酸化炭素に対する換気応答が改善したCCHSの2症例が報告されている⁷⁾。これらのことから、25PARMにおいては男性であることは発症の危険因子となることが考えられる。

在胎週数に関しては、早産は3例のみで、ほとんどの症例が正期産で出生しており、出生時期による発達予後への影響はないものとする。

症状発現時期は25PARMにおいては、新生児期以降に発症する症例を認め、26PARMおよびNPARMの症例では不明を除き、すべて新生児期に発症していた。また、ヒルシュスプルング病、不整脈徐脈やてんかんは26PARM以上とNPARMに認められ、25PARMには認められなかった。肺高血圧は25PARMにも認められたが、肺高血圧は長期間の低換気による結果と考えられた。また、遺伝子型と発達予後との関係であるが、25PARMでは、最も高頻度に発達遅延を示す症例が多く認められた。この遺伝子型では、非侵襲的人工呼吸管理を受けた症例(63%)が他の遺伝子型の症例よりも多く存在する。遺伝子型からの観点では軽症型の変異であり、症状は非典型的であり、合併症も少なく、遅発性(late onset CCHS)の症例も認められる。これらのことから、診断が遅れたり、適切な呼吸管理(侵襲的人工呼吸管理)が施行されなかったりしたことが関与しているものとする。症例の経過は示さないが、生下時に示した睡眠時低換気(無呼吸)が経過中に改善(消失)した症例も存在する。こうした症例に対して、侵襲的人工呼吸管理の施行を医療者側に躊躇させるのかもしれない。一方、米国においては、25PARMの症例は正常発達を遂げており、むしろ他の遺伝子型において神経学的評価スコアが低いという結果が報告されている⁴⁾。

出生後数年間は気管切開による確実な人工呼吸管理を推奨されていることから、気管切開有無と発達予後について検討したところ、25PARMでは、

{ 1 分担研究報告書【H28】 }

気管切開した症例では、発達遅滞が認められなかった。全体をみると、気管切開を施行している症例では、正常に発達している症例が19例(40%)、発達遅滞が15例(30%)であり、気管切開未施行例では、正常に発達している症例が9例(26%)、発達遅滞が9例(26%)と、統計学的有意差は認めなかった。茅原らは、学齢期以上の17例に後方視的に調査を行い、気管切開施行例では正常発達から重度発達遅滞まで認め、気管切開の時期が遅いほど遅滞が重篤である傾向を認め、非侵襲的人工呼吸管理を行った症例には全例境界域～中等度の発達遅滞を認めたと報告している⁸⁾。

気管切開の有無による発達予後に、有意差を認めなかったことから、次に気管切開の時期について検討した。生後5か月までに切開した症例では、約50%が正常発達となっており、約25%に発達遅延を認めている。生後6か月以降に切開した症例では、正常発達例が少なく、発達遅延例が多い。有意差は認めなかったが、早期の気管切開の施行が勧められるデータと考える。

さらに、呼吸管理を開始した時期を検討したところ、日齢0から開始していた症例では正常発達が42%で、遅滞は12%であり、日齢1以降に開始した症例では正常発達が24%で、遅滞が40%であった。早期介入された症例で正常発達が多い傾向を示すことより、睡眠時無呼吸を呈していた場合、できるだけ早期に介入し、ためらわずに侵襲的人工呼吸管理を行うことが神経学的予後の改善につながると考えられる。

E. 結論

神経発達予後について調査しえた83例を検討した。適切な呼吸管理を行うことにより、神経発達障害を回避できる可能性があるため、早期診断が重要であり、より正確に診断するため、遺伝子検査は有用である。診断確定後は早期に気管切開を行った上で人工呼吸管理を行うことが重要であり、また、適切な人工呼吸管理法を模索するとともに今後ガイドラインを作成していく必要性

があると考える。

文献

- 1) Vanderlaan M, et al: Epidemiologic survey of 196 patients with congenital central hypoventilation syndrome. *Pediatr Pulmonol* 37: 217-229, 2004.
- 2) Simokaze T, et al: Genotype-phenotype relationship in Japanese patients with congenital central hypoventilation syndrome. *J Hum Genet* 60: 473-477, 2015.
- 3) Zelko FA, et al: Congenital central hypoventilation syndrome: neurocognitive functioning in school age children. *Pediatr Pulmonol* 45: 92-98, 2010.
- 4) Charnay AJ, et al: Congenital central hypoventilation syndrome: neurocognition already reduced in preschool-aged children. *CHEST* 149: 809-815, 2016.
- 5) 長谷川久弥, 川崎一輝, 井上壽茂他: 先天性中枢性肺胞低換気症候群(オンディーヌの呪い)の全国アンケート調査, 日本小児呼吸器疾患学会誌, 19: 80, 2008.
- 6) Weeze-Mayer DE, et al: Idiopathic congenital central hypoventilation syndrome: analysis of genes pertinent to early autonomic nervous system embryologic development and identification of mutations in *PHOX2B*. *Am J Med Genet A* 123: 267-278, 2003.
- 7) Straus C, et al: chemosensitivity recovery in Ondines' curse syndrome onder treatment with desogestrel. *Respir Physiol Neurobiol*. 171: 171-174, 2010
- 8) 苛原香ら: 本邦における先天性中枢性低換気症候群の精神発達予後と呼吸管理. *脳と発達* 47:343-347, 2015.
- 9) Weeze-Mayer DE, Berry-Kravis EM,

{ 1 分担研究報告書【H28】}

Ceccherini I et al : An official ATS clinical policy statement: congenital central hypoventilation syndrome. Am J Respir Crit Care Med 181: 626-644, 2010.

F.健康危険情報

特になし

G.研究発表

(発表雑誌名巻号・頁・発行年なども記入)

1.論文発表

なし

2.学会発表

1)早坂清,下風朋章,佐々木綾子,目黒亨,長谷川久弥,平工由香,吉川哲史:日本における先天性中枢性低換気症候群について:疫学および遺伝子型と臨床型の関係.第119回日本小児科学会学術集会,札幌:2016年5月13日~15日

2)佐々木綾子,下風朋章,三井哲夫,早坂清.先天性中枢性低換気症候群における神経学的予後について.第61回日本新生児成育医学会・学術集会,大阪,2016年12月

H.知的所有権の取得状況(予定を含む)

1.特許取得

なし

2.実用新案登録

なし

3.その他

{ 1 分担研究報告書【H28】}

厚生労働科学研究費補助金 難治性疾患等政策研究事業（難治性疾患政策研究事業）
先天性中枢性低換気症候群（CCHS）の診断基準・ガイドライン・重症度分類の確立 （分担）研究報告書

表題 先天性中枢性低換気症候群(CCHS)の重症度分類のための 覚醒時低換気の検討

長谷川久弥¹⁾ 山田洋輔¹⁾

1) 東京女子医科大学東医療センター新生児科

研究要旨

CCHSは睡眠時の低換気が主症状であるが、重症例では覚醒時にも低換気を認める。本研究班では、覚醒時にも人工呼吸管理を必要とする症例を重症に分類しているが、国内症例でその評価がなされている症例は少ない。重症度分類のために、覚醒時低換気の評価方法の確立とその実態の検討を行った。

対象は遺伝子検査にてCCHSと診断された17例である。25PARM 2例、26、27PARM計11例、30、31、33PARM計3例、Non PARM 1例で、年齢中央値1歳7か月（2か月～5歳9か月）であった。覚醒時にSpO₂とEtCO₂ (TcPCO₂)を連続モニタリングし、SpO₂ <95%、EtCO₂ (TcPCO₂) >45mmHgの症例を覚醒時低換気(+)とした。(+)群、(-)群について診療録から後方視的に検討した。

(+)群は10例(59%)、(-)群は7例(41%)であった。25PARMは全例が(-)群であったが、26、27PARMは7例(26、27PARMにおいて64%)、30PARM以上は全例が(+)群であった。(+)群は2歳3か月、(-)群は6か月と年齢中央値が高かった。(+)群の8例はCCHS診断時には覚醒時低換気が認知されておらず、6例は睡眠時のみの呼吸管理であった。発達を評価しえた1歳6か月以上の児では、(+群には発達遅滞を5/8例に認めたと、(-)群では1/4例に認めるのみであった。

CCHSの覚醒時低換気は、遺伝子的には中等症である26、27PARMでも64%に認め、高PARMでは必発であった。その多くは乳児期には認知されず、成長とともに明らかになった。覚醒時低換気はCCHSの診断確定後も定期的な評価を行い、早期発見、呼吸管理の見直しが必要である。

A.研究目的

・目的

CCHSにおける覚醒時の低換気の評価方法の確立とその実態を把握すること

・背景

CCHSの主症状は睡眠時の低換気であるが、重症例では覚醒時にも低換気を呈し（覚醒時低換気）呼吸管理を必要とする症例がある。覚醒時低換気が起きている症例では、低換気のダメージ

が蓄積し、成長発達への影響や肺高血圧などへの進展のリスクがあると考えられる。以上のことから、本研究班では、覚醒時にも人工呼吸管理を必要とする症例を「重症」と分類している。しかし、CCHSは高二酸化炭素血症や低酸素血症に対する換気応答の障害があるため、低換気が起きていても呼吸苦を認めず、保護者や担当医から認識されていないことがある。さらにCCHSの希少性のために、覚醒時低換気自体の認識も低いのが現状である。本研究では、CCHSにおける覚醒時低換

{ 1 分担研究報告書【H28】}

気の評価方法の確立とその実態について把握することを目的とした。

B.研究方法

・対象(表1)

遺伝子検査にて CCHS と診断され、当院にて精査を行った 17 例である。これは、未就学児では国内で遺伝子診断されている症例の 37%にあたる。遺伝子変異は、25PARM 2 例、26、27PARM 計 11 例、30、31、33PARM 計 3 例、Non PARM 1 例で、年齢中央値 1 歳 7 か月(2 か月~5 歳 9 か月)であった。全例が気管切開からの人工呼吸管理を受けていた。覚醒時低換気が指摘され、覚醒時にも人工呼吸管理を行っていた症例が 2/17 例(12%)であった。

・方法

安静覚醒時に SpO₂ と EtCO₂ (TcPCO₂)を連続モニタリングした。安静覚醒時は、座位でテレビ、絵本を見るなど、座位でできる遊びをしながら過ごす状態、とした。SpO₂ は PalmSAT™、EtCO₂ は CapnoTrue®、TcPCO₂ は TCM TOSCA にて測定した。二酸化炭素のモニタリングは、EtCO₂ を優先とし、リークが多いなど正確な測定ができない場合に TcPCO₂ のモニタリングを行った。モニタリング時間は、安静覚醒時が保てる間とした。

モニタリングの間は、医療者または家族がモニタと本人を注視し、SpO₂ が 80%を切る場合、そのほかの異常を感じた場合には速やかに中止し、人工呼吸管理を開始する、こととした。

検査中に SpO₂ <95%、EtCO₂ (TcPCO₂) >45mmHg となる症例を覚醒時低換気(+)とした。(+)群、(-)群について診療録から後方視的に検討した。

(倫理面への配慮)

本研究では、標準的な検査方法のみを用いているため検査のための特別な配慮は不要である。家族には、通常の検査施行のため、さらに研究に利

用することについての情報提供を行い、文書にて同意を得た。

C.研究結果

検査は有害事象なく安全に終了した。覚醒時低換気の一例を図 1 に示し、結果のまとめを表 2 に示した。(+)群は 10 例(59%)、(-)群は 7 例(41%)であった。(+)群は平均 96.9 分、(-)群は平均 99.3 分のモニタリングを行った。(+)群の年齢中央値は 2 歳 3 か月、(-)群は 6 か月であり、(+群)の年齢中央値が高かった(図 2)。

遺伝子変異型では、25PARM は全例が(-)群であったが、26、27PARM は 7 例(同遺伝子型の中で 64%)、30PARM 以上は全例が(+)群であった(図 3)。

(+)群の 8 例(80%)は CCHS 診断時には覚醒時低換気が認知されておらず、6 例は睡眠時のみの呼吸管理であった。発達を評価しえた 1 歳 6 か月以上の児では、(+群)には発達遅滞を 5/8 例に認めしたが、(-)群では 1/3 例にのみ認めた。

D.考察

今回の検討では、覚醒時低換気を 59%に認めた。対象に、遺伝子的に軽症である 25PARM が少なかったことなどの影響も考慮されるが、覚醒時の低換気が決して稀ではないことが明らかになった。遺伝子変異型においては、遺伝子的には軽症の 25APRM には覚醒時低換気を認めず、中等症であるとされる 26、27PARM 以上では高率に認め、30PARM 以上では必発であった。26PARM 以上の症例では覚醒時低換気を疑い評価することが必要である。

年齢中央値では、覚醒時低換気を認める群の方が、そうでない群よりも高値であった。このことは、覚醒時低換気が診断時ではなく成長後に明らかになる、という特徴があることを示唆すると考えられた。覚醒時低換気を認めた症例の保護者からは、テレビなどに意識が集中すると顔色が悪くなる印象がある、という訴えが多い。これは成長

{ 1 分担研究報告書【H28】}

後に意識を集中できるようになり覚醒時低換気が顕在化した、という仮定を成り立たせるものであり、今後の検討課題である。

覚醒時低換気を認める群では、そうでない群に比べて発達遅滞の割合が高かった。さらに、認める群で発達遅滞のあった3例のうち2例は覚醒時にも人工呼吸管理が行われている症例であり、認めない群で発達遅滞のあった1例は、M-CM 症候群という発達遅滞が主症状の一つである先天性疾患であった。以上から、覚醒時低換気があり、覚醒時に呼吸管理がなされていない、つまり低換気のダメージが蓄積している症例は、発達遅滞の高リスクである、という可能性が示唆された。

今回の検査機器は NICU や人工呼吸器管理を行う小児科病棟では比較的使用頻度の高い機器が多かった。検査における重篤な有害事象もなく、覚醒時低換気の評価方法として利用できるものと考えられた。また、覚醒時低換気が神経予後に関与している可能性があることは、本研究班による覚醒時の人工呼吸を必要とする症例を、「重症」と分類することの妥当性を示していると考えられた。

E. 結論

CCHS における覚醒時低換気について検討した。覚醒時低換気は決して稀ではなく、26PARM 以上では積極的にその有無を検索するべきである。覚醒時低換気は、成長後に明らかになることも多く、診断時のみならず、定期的に評価し、早期発見に努める必要がある。また、覚醒時低換気は神経予後に関与している可能性があり、覚醒時低換気が疑われる場合には積極的に呼吸管理を行うべきであると考えられた。

今回の検査方法は、覚醒時低換気の評価方法の標準になりえるものであり、結果は本研究班の重症度分類の妥当性を支持するものであると考えられた。

F. 健康危険情報

特になし

G. 研究発表

1. 論文発表

1) 山田洋輔：早産児の呼吸機能の観察ポイント・周産期領域の新しい検査法、新生児 11. 横隔膜電氣的活動 (Electrical activity of diaphragm: Edi) . 周産期医学

2. 学会発表

1) Yamada Y, Hasegawa H, Henmi N, et al. Factors affecting the respiratory center in congenital central hypoventilation syndrome. The 15th International Congress of Pediatric Pulmonology, Napoli, Italy, June, 2016.

2) 山田洋輔、長谷川久弥、邊見伸英、他 . 先天性中枢性低換気症候群 (CCHS) における覚醒時低換気についての検討 . 第 49 回日本小児呼吸器学会学術集会、富山、2016.10.

H. 知的所有権の取得状況 (予定を含む)

1. 特許取得

特になし

2. 実用新案登録

特になし

3. その他

特になし

症例数 (n)	17
検査時年齢中央値	1歳7か月 (2か月-5歳9か月)
遺伝子変異 (n)	25PARM*(2), 26, 27PARM(11) 30, 31,33PARM(3), Non PARM(1)
覚醒時低換気の認知 (n)	2 (12%)
気管切開/マスク換気	17 / 0
睡眠時のみ人工換気(n)	15
覚醒時も人工換気(n)	2

*PARM: polyalanine repeat expansion mutation

表1：対象の患者背景

遺伝子診断されたCCHSで、当院にて覚醒時低換気の有無を検査しえた未就学児17例（国内症例の約37%）

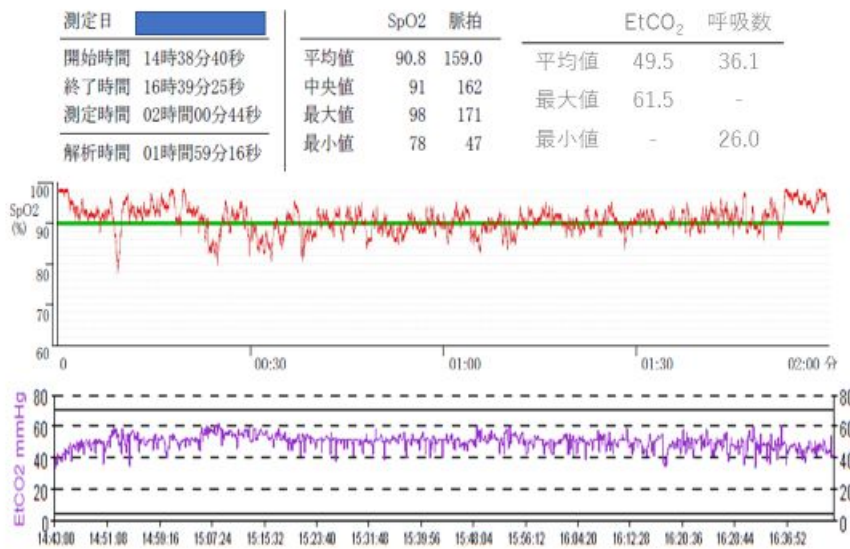


図1：覚醒時低換気の1例

検査開始直後からSpO₂は90%前後で推移し、EtCO₂は開始後から上昇が始まり50mmHg前後で安定した。

{ 1 分担研究報告書【H28】}

	(+) 群	(-) 群
症例数 (n)	10 (59%)	7 (41%)
男/女 (n)	5/4	4/3
平均測定時間	96.9分	99.3分
検査時年齢 中央値	2歳3か月	6か月
遺伝子変異 (PARM)	26, 27, 30, 31, 33	25, 26, 27, Non PARM
発達遅滞* (n)	5/8 (62.5%)	1/4 (25%)

*1歳6か月以上で発達を評価しえた症例

表2：結果のまとめ

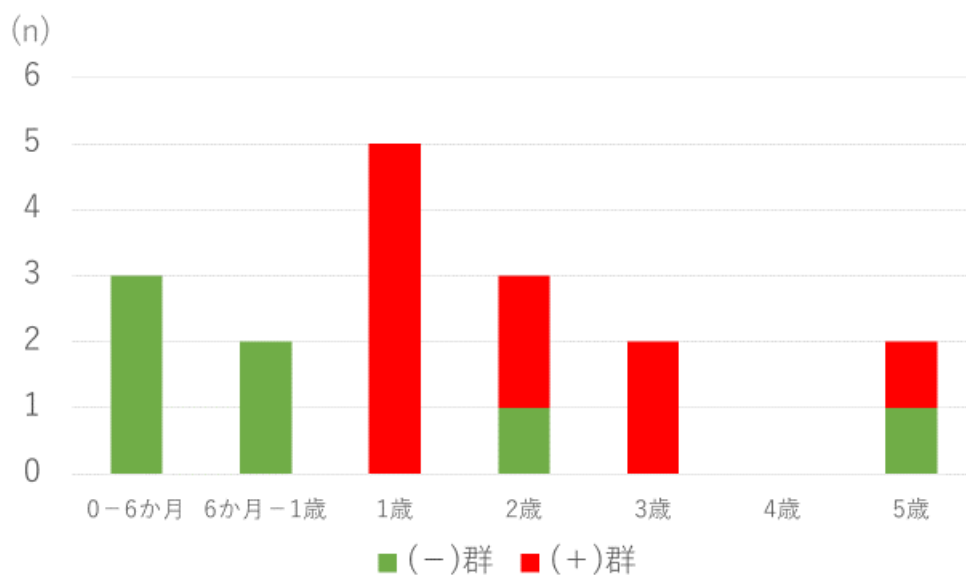


図2：年齢による覚醒時低換気の分布
1歳以上で高率に覚醒時低換気を認める。

{ 1 分担研究報告書【H28】}

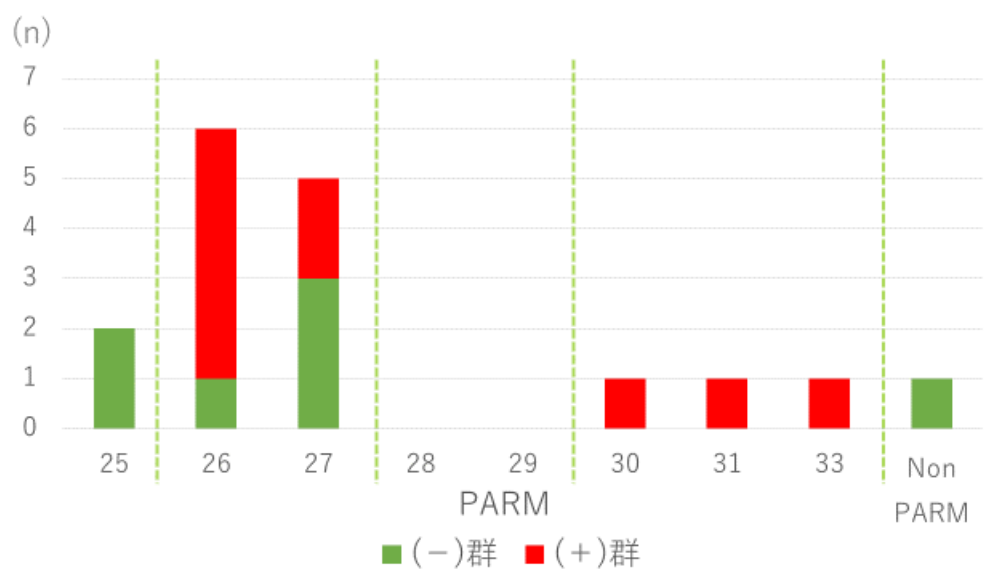


図3：遺伝子変異による覚醒時低換気の分布

遺伝子的に中等症である26、27PARMでも半数以上に、高PARMでは覚醒時低換気は必発であった。

{ 1 分担研究報告書【H28】}

厚生労働科学研究費補助金 難治性疾患等政策研究事業（難治性疾患政策研究事業）
先天性中枢性低換気症候群（CCHS）の診断基準・ガイドライン・重症度分類の確立 （分担）研究報告書

CCHS の呼吸管理方法：横隔神経ペーシングの有用性

鈴木康之

国立成育医療研究センター 手術・集中治療部

研究要旨

CCHS の呼吸管理方法の 1 つの横隔神経ペーシングは普及していない。国内の唯一の植え込みを行った患者の経過をまとめた。横隔神経ペーシングに関して文献的な考察を行い、国内では 1 名のみだが、海外では 18% に使用されている状況と、Avery 社 Mark 、Atrotech 社 Atrostim、Synaps 社 NeuRX DPS の臨床実績を比較検討した。NeuRX DPS は横隔膜に直接刺激してペーシングするシステムで 2014 年に国内 ALS 患者で治験が行われ、呼吸不全の適応で現在許認可を申請中である。今後の CCHS への横隔神経ペーシングの普及が期待される。

先天性中枢性低換気症候群（Congenital Central Hypoventilation Syndrome: CCHS）の呼吸管理方法で、横隔神経ペーシング（Diaphragm Pacing: DP）の有用性が多く報告されているが、わが国には報告がほとんどない。海外での CCHS で DP の状況、CCHS 以外の適応状況と日本での導入の今後の可能性を検討する。

B. 研究方法

自験例が 11 歳時に DP を導入して、11 年となった。その経過、現状、問題点をまとめた。自験例以外での海外での横隔神経ペーシングの挿入状況、成績を文献検索し、検討した。また、2016 年 7 月に米国 University Hospitals Case Medical Center の Onders 医師が日本呼吸療法医学会での講演および情報交換会議をおこない、検討をおこなった。

（倫理面への配慮）

患者データの個人が特定できないように配慮した。

C. 研究結果

症例は 23 歳男児、出生直後より無呼吸があり気

断で人工肛門造設。4 か月国立小児病院へ転医し、炭酸ガス換気応答検査で CCHS の診断。6 か月気管切開、9 か月 Soave 手術。12 か月在宅人工呼吸管理で退院。2005 年 8 月 3 日 11 歳時に、ロサンゼルス小児病院に渡米し、DP の両側胸腔鏡下植え込み術を施行。9 月 27 日からペーシングを開始し、12 月夜間のフルペーシングとなる。2006 年 1 月 5 日気管切開抜去。以後外来で経過観察。2012 年 5 月夜間のペーシング不良で緊急入院。ペーシング不良の原因は上気道閉塞が最も疑われたが、その後鼻マスクによる NPPV による呼吸管理を併用または DP のバックアップ器として導入した。以後は日中も体調不良時にはペーシングをおこない、NPPV の併用は行っていない。2016 年 3 月大学を卒業し、2017 年より医療系専門学校に入学している。

{ 1 分担研究報告書【H28】}

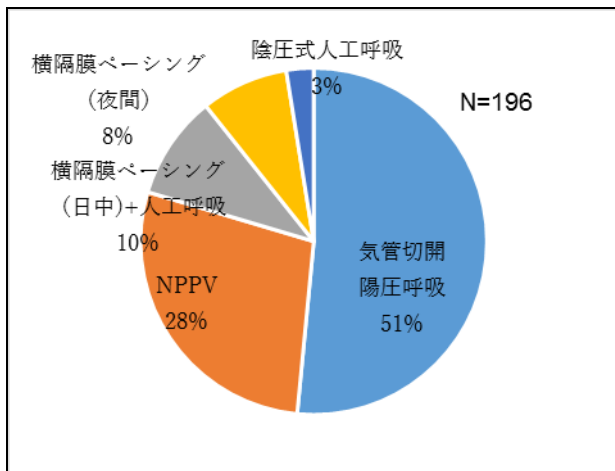


図1 米国、米、独、仏、伊、英、スペイン、豪、デンマーク、スイスにおける呼吸管理状況¹⁾

2002年の米国、ドイツ、フランス等の海外における196例の呼吸管理方法の調査では気管切開陽圧呼吸が51%、NPPVが28%、横隔膜ペーシングが18%、陰圧式人工呼吸器が3%であった。横隔膜神経ペーシング18%のうち約半数の8%が夜間のペーシング、残り10%が日中ペーシング、夜間陽圧人工呼吸管理をおこなっていた。

一方我が国の状況は2006年に長谷川らがおこなった調査によると症例数が35で、気管切開陽圧呼吸が21例(58%)、NPPV14例(39%)、横隔膜ペーシングに関しては1例(3%)のみであった。

2016年4におこなわれた我が国のCCHS患者の実態調査121例の中では横隔膜神経ペーシング1例のみであり、わが国では未だ普及していない治療と言える。

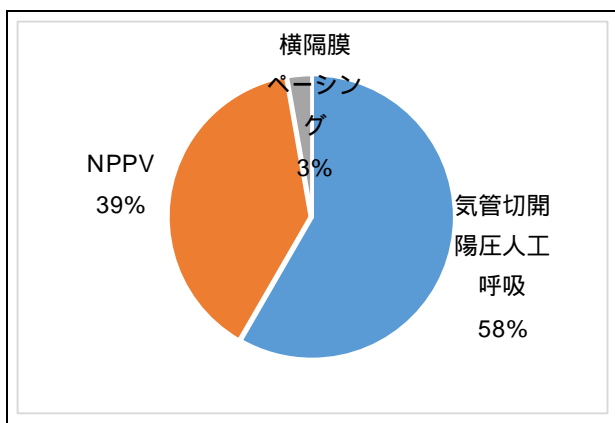


図2 国内CCHS患者の呼吸管理法 (N=35)²⁾

D. 考察

横隔膜神経ペーシングは患者自身の横隔膜を呼吸器として使用する呼吸管理方法である。横隔膜ペーシングで呼吸管理が十分にできると、気管切開を抜去することが可能である。基本的には横隔膜神経を電氣的刺激により横隔膜を収縮させるため、横隔膜神経が正常で、横隔膜の筋肉が正常という条件が必要である。先天性中枢性低換気症候群以外の適応疾患として、C1-2レベルの高位頸髄損傷があり。また最近では筋委縮性側索硬化症(ALS)横隔膜機能不全があげられている。

横隔膜神経ペーシングの歴史は1948年にSarnoffがポリオの患者に使用されたのが1966年Glennらにより高周波誘導型DPが開発され、米国Avery社が40年間に2000例以上の実績がある。また、FinlandのAtrotech社が200例の実績がある。

Avery社は左右の横隔膜神経に電極の植え込み手術を胸腔鏡下でおこなう³⁾。体外式のトランスミッター本体は重量540gで携帯性に優れ(図1)9Vの電池によるバッテリー駆動で、左右1個電池を使用し、通常使用で電池交換は1か月である。トランスミッター本体からの左右の出力刺激を円形コイル状のアンテナ(図2)を通して腹部皮下に植え込んだレシーバーを刺激する。左右胸腔内の横隔膜神経に装着した電極はリード線で500円玉大のレシーバーと接続し、レシーバーは左右の上腹部皮下に植え込みをおこなう(図3)。

ペーシング手術後、ペーシング開始時期は術後6~8週後に初期ペーシング1~2時間をおこない、1週間に30~60分毎徐々にペーシング時間を延長し、18から24週後に夜間フルペーシングとなる。

ロサンゼルス小児病院において、1980年よりCCHS患者にDP植え込み手術をおこなっており、1988年までは両側開胸手術だったが、それ以降は胸腔鏡下に手術を18例おこなった。Diepらはそのうちフォローしている患者18例(男児10例、

{ 1 分担研究報告書【H28】 }

女児 8 例) の解析をおこなった。植え込み手術は 9 か月から 23.5 歳でおこない、平均年齢が 9.6 ± 6.4 歳、最長 34 年間継続している患者は 36 歳である。18 例中 14 例が継続使用しており、1 名が BMI 39 の肥満のため、ペースング不良となり NPPV に移行している。気管切開を抜去できた症例は 18 例中 13 例(72.2%)である。



図 1 Avery 社 transmitter

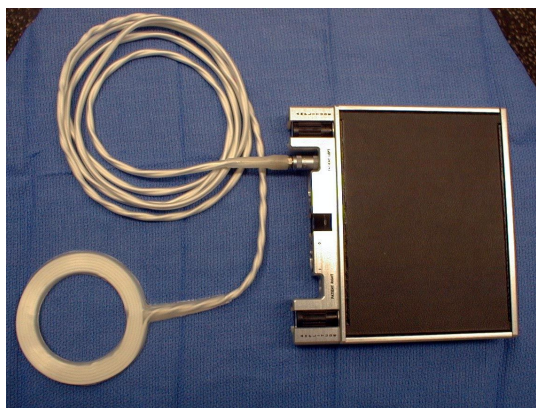


図 2 Tranmitter 本体およびリング状アンテナ



図 3 胸腔内横隔神経に装着する電極および腹部皮下に植え込むレシーバー

Arotech 社の Atrstim PNS V2.0 (図 4) は横隔神経を全周をとりまくように刺激電極を装着し (図 5) 神経の周囲 4 箇所を順次ペースングすることにより、電極刺激による感度低下によるペースング不良を防ぎ、24 時間使用可能なシステムとなっている。1990 年より使用されていて、まだ臨床例は少ないが、CCHS および頸髄損傷患者で多く使用されている。



図 4 Arotech 社 Atrstim PNS V2.0

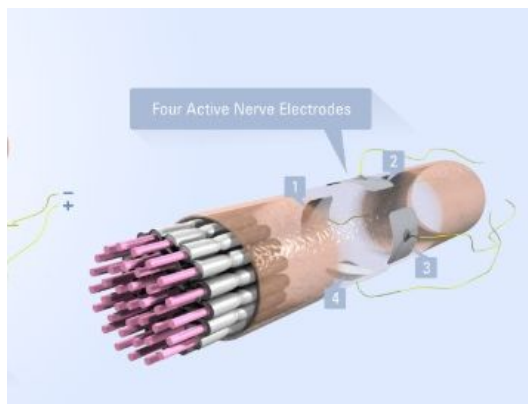


図 5 4 電極システム

近年、米国 Synaps 社が NeuRX DPS を開発し、米国 FDA の認可を受け、頸髄損傷患者 323 例、ALS 患者 181 例で毎月 20 から 30 症例を植え込み術が行われている (図 6)。NeuRX DPS は腹腔鏡下で手術をおこなう。両側横隔膜にマッピングをおこない、刺激ポイントを探し、左右の横隔膜のその部分に 2 本ずつ電極を植え込む手術である (図 7)。本体は体外式で、24 時間ペースングが可能である。

{ 1 分担研究報告書【H28】}



図6 Synaps社 NeuRX

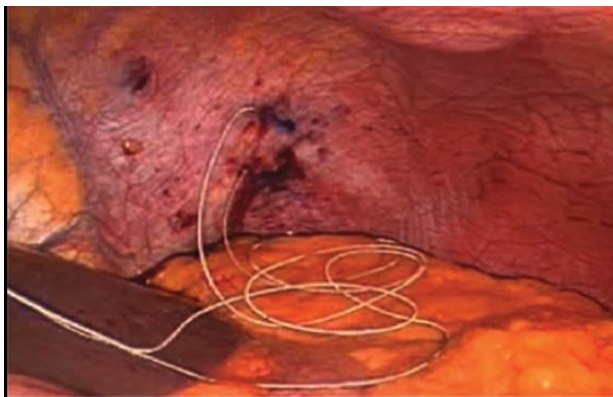


図7 腹腔鏡下に横隔膜マッピング後電極装着

また、横隔膜筋電図をモニタリングすることにより、術後横隔神経麻痺等の患者における横隔膜筋力回復を経時的に測定することも可能である。本システムは既に我が国で2014年にALS患者で医師主導治験が行われ、5名に植え込み手術をこなった。2016年7月に日本呼吸療法医学会でOndars医師が講演をおこなった。その後海外でのSynaps社のNeuRX®の臨床実績をもとに、現在薬事認可の申請中であり、2017の年内には薬事承認の見込みである。

DPの問題点を以下に列挙する。 植え込み手術とともに横隔神経を損傷する可能性がある。しかし、今のところその報告はない。 Averyのシステムでは長時間のペースングは同一刺激による刺激閾値の上昇や横隔膜筋の疲労により、換気量が低下する可能性がある。 ペースングによ

り横隔膜が強く収縮することにより、胸腔内圧が強い陰圧となり、気管の虚脱をおこすことがある。

ペースング時期が早いと成長により、ペースング不良を起こす可能性があるため5歳以上の導入が望まし。 国内にはDP装置、附属品おメンテナンスや購入の体制が整っていない。 現状では国内認可されておらず、保険医療となっていないため、自費診療扱いである。当該患者がロサンゼルス小児病院で11年前に胸腔鏡下の植え込み術を行った時は\$145,089費用がかかっている。内訳はDP装置費用\$64,846、病院費(入院、看護、検査)\$70,000、医師診療、麻酔、手術費用が\$10,243であった。

まとめ：

CCHSの患者に11歳時にロサンゼルス小児病院で、DP植え込みを行った患者は順調に経過している。今後我が国でのCCHS患者へのDP普及が期待され、現在Synaps社のDPが2017年の許認可に向けて準備中である。

F.健康危険情報

特になし

G.研究発表

(発表雑誌名巻号・頁・発行年なども記入)

1. 論文発表

2. 学会発表

1) 鈴木康之：在宅呼吸管理 - 安全で快適な小児在宅・人工呼吸管理を目指して .呼吸・モニタリングセミナー - 新生児・小児～成人まで：基礎と実践 - .東京, 2016.11.26

2) 鈴木康之：CCHSの呼吸管理法 先天性中枢性低換気症候群(CCHS)最近の知見～診断と治療を考える～ .第120回日本小児科学会総会 .東京 2017.4.15

3) セミナー座長 Onders RP: Diaphragm pacing - 横隔膜ペースングによる新たな呼吸療法 .第38回日本呼吸療法医学会 .愛知 2016.7.17

{ 1 分担研究報告書【H28】}

H.知的所有権の取得状況（予定を含む）

- 1.特許取得
- 2.実用新案登録
- 3.その他

参考文献

- 1) Vanderlaan M, Holbrook CR, Wng M, et al. Epidemiologic survey of 196 patients with congenital central hypoventilation syndrome. *Pediatr Pulmomol* 2002;37:217-29.
- 2) 長谷川久弥，川崎一輝，井上壽茂、等
先天性中枢性肺胞低換気症候群（オンディーヌの呪い）の全国アンケート調査．*日本小児呼吸器疾患学会雑誌* 2008；19;80-84.
- 3) Shaul D, Danielson PD, McComb J, et al. Thoracoscopic placement of phrenic nerve electrodes for diaphragmatic pacing in children. *J Pediatr Surg* 2002; 37: 974-8..
- 4) Diep B, Wang A, Kun S, et al. Diaphragm pacing without tracheostomy in congenital central hyperventilation syndrome patients. *Respiration* 2015; 89:534-8.
- 5) Nicholson K, Nosanov LB, Bowen KA, et al. Thoracoscopic placement of phrenic nerve pacer for diaphragm pacing in congenital hypoventilation syndrome. *J Pediatr Surg* 2015;50: 78-81 .

. 研究成果の刊行に関する一覧表

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
長谷川久弥	気管支軟化症は予防できますか？	長 和俊	ステップアップ新生児呼吸管理	メディカ出版	大阪	2017	348-350
長谷川久弥	気管支軟化症は治療できますか？	長 和俊	ステップアップ新生児呼吸管理	メディカ出版	大阪	2017	351-354
山田洋輔	HFNCとCPAPはどのように違うのですか？	長 和俊	ステップアップ新生児呼吸管理	メディカ出版	大阪	2017	124-126
山田洋輔	HFNCはどのような場合に使うのがよいのですか？	長 和俊	ステップアップ新生児呼吸管理	メディカ出版	大阪	2017	127-130
山田洋輔	HFNCからの離脱はどのようにしたらよいのですか？	長 和俊	ステップアップ新生児呼吸管理	メディカ出版	大阪	2017	131-133

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
長谷川久弥	呼吸機能検査	周産期医学	増刊号	954-955	2016
長谷川久弥	気管支ファイバースコーピー	周産期医学	増刊号	959-961	2016
Ando M, Nagase Y, Hasegawa H, Takahashi Y.	External stenting: A reliable technique to relieve airway obstruction in small children.	J Thorac Cardiovasc Surg	153	1167-1177	2017
Muraoka M, Takagi K, Morita Y, Nagano H, Henmi N, Hasegawa H.	Is the neonatal creatine phosphokinase level a reliable marker for fetal hypoxia?	J Obstet Gynaecol Res	43	114-121	2017

Kawashima S, Segawa O, Kimura S, Tsuchiya M, Henmi N, Hasegawa H, Fujibayashi M, Naritaka Y.	A case of cervical esophageal duplication cyst in a newborn infant.	Surg Case Rep	2	30	2016
山田洋輔, 長谷川久弥, 邊見伸英, 他	先天性中枢性低換気症候群に横隔膜電氣的活動(Electrical activity of Diaphragm: Edi)モニタリングを行った3症例の検討.	日本小児呼吸器学会雑誌	26	233-240	2016
山田洋輔	横隔膜電氣的活動(Electrical activity of the diaphragm:Edi)	周産期医学	46	783-785	2016
山田洋輔	HFNC 赤ちゃんが嫌がらない呼吸管理	ネオネイタルケア	秋季増刊	166-173	2016
山田洋輔	CLD (慢性肺疾患)	こどもケア	11	26-30	2016