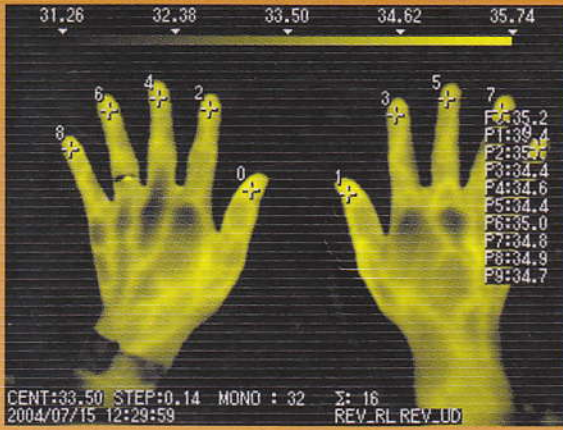


増刊

LISA

Life Support and Anesthesia



体温のバイオロジ— 体温はなぜ 37°Cなのか

監修 山蔭 道明



メディカル・サイエンス・インターナショナル

14

乳幼児突然死症候群は
うつ熱時の「産熱抑制」が原因

久保田 史郎

人間は、命ある限り「熱」を産生し続ける。しかし、何らかの理由で熱産生が減少し続けたとき、生命は脅かされる。例えば、睡眠中の乳幼児を高温多湿環境下に長時間放置した場合、児は体温上昇（うつ熱）を防ぐために放熱を促進し、さらに産熱抑制を目的に筋肉を弛緩させ眠り続ける。大人は、汗が出るような不快な高温環境に直面したとき、冷房や衣服などで環境温を快適に調節することができる。しかし、乳幼児は「暑い」「寒い」を言葉で発することができないばかりか、自分の力で衣服（帽子、靴下など）を脱いだり、布団や暑い車の中から逃げ出すことができない。

我々大人は、乳幼児を不慮の事故から守るために、体温調節機構のトラブル（うつ熱）はどんなときに発生し、生命維持装置にどのような障害を引き起こすのかを知って保育管理をしなければならない。なぜならば、我が国で病気と考えられている乳幼児突然死症候群（SIDS）は、児が産熱抑制（睡眠＋筋弛緩＋呼吸運動抑制）を強いられる育児環境に遭遇したときに発症するからである¹⁻⁶⁾。

SIDS の病態を解明する

乳幼児突然死症候群 sudden infant death syndrome (SIDS) とは、「それまでの健康状態および既往歴からその死亡が予測できず、しかも死亡状況および剖検によってもその原因が不詳である乳幼児に突然の死をもたらした症候群⁷⁾と定義されている。欧米では、仰向け寝運動によって発生頻度は減少したと報告⁸⁾されているが、その理由はわかっていない。これまでの研究では、SIDS の病態は睡眠からの覚醒反応の遅延が原因と考えられている⁹⁾。しかし、なぜ眠りから覚めないで死に至るのか、そのメカニズムも未解決のままである。

SIDS の特徴は、①1歳未満の睡眠中の乳幼児に発生する、②着せすぎ、③うつ伏せ寝に多い、④夏より冬に多い、などである。また、SIDS に特有な剖検所見として、死亡後にもかかわらず、⑤体が温かい、⑥発汗が強い、などが報告されている¹⁰⁻¹²⁾。これらの疫学調査のなかに、SIDS の原因と結果（剖検所見）が潜んでいると仮定すれば、すべてに共通した環境温と高体温こそが本症と最も深いかわりがあるのではないかと考えられる。

そこで、SIDS の病態を明らかにするために、環境温の変化が赤ちゃんの生命維持装置にどのような影響を及ぼすかについて、体温調節機構にスポッ

トを当てそのメカニズムを解説する。体温計測には、テルモ社の深部体温計（PD-3）^{13,14)}を用い、児の前胸部を中枢深部体温（C-DBT）、足底部を末梢深部体温（P-DBT）として、30秒ごとに同時に測定した。

赤ちゃんの
体温調節の仕組み

快適な環境温度下では、赤ちゃんは熱産生に対して放熱量を調節（末梢血管の収縮/拡張）することによって恒温状態を維持している。しかし、ふるえや汗をかくような極端な低温/高温環境に直面した際には、放熱量の調節に加えて、産熱亢進/産熱抑制という体温調節機構が働く。

例えば、分娩直後の著しい環境温度の低下に遭遇した赤ちゃんは、末梢血管収縮（放熱減少）と啼泣（筋肉運動＝産熱亢進）によって体温下降を防ぐ。一方、高温環境下では末梢血管拡張（放熱促進）と睡眠（筋弛緩＝産熱抑制）によって高体温（うつ熱）から身を守る。高温環境におけるヒトの体温調節機構（放熱促進＋産熱抑制）が、呼吸循環器系にどのような悪影響を及ぼすのか、そのことを知ることがSIDSの原因を解明する鍵となる。

快適環境下における体温調節

早期新生児の中枢深部体温（C-DBT）、末梢深部体温（P-DBT）、心拍数、行

動（睡眠/覚醒/啼泣）を同時に観察した（図1A）。↑印（生後3時間目頃）で示した間欠的な啼泣に一致して心拍数の急峻な増加と、C-DBTのわずかな上昇傾向が観察された。

その後、P-DBTが上昇（末梢血管拡張=放熱）し始めると同時に、児は睡眠状態に入り、心拍数は120/min前後に安定、C-DBTは緩やかに下降した。C-DBTがP-DBTと同じ36.8℃まで下降したが、体温の逆転現象（危険）を察知した睡眠中の児は突然泣き出し、C-DBTは37.2℃まで上昇した。

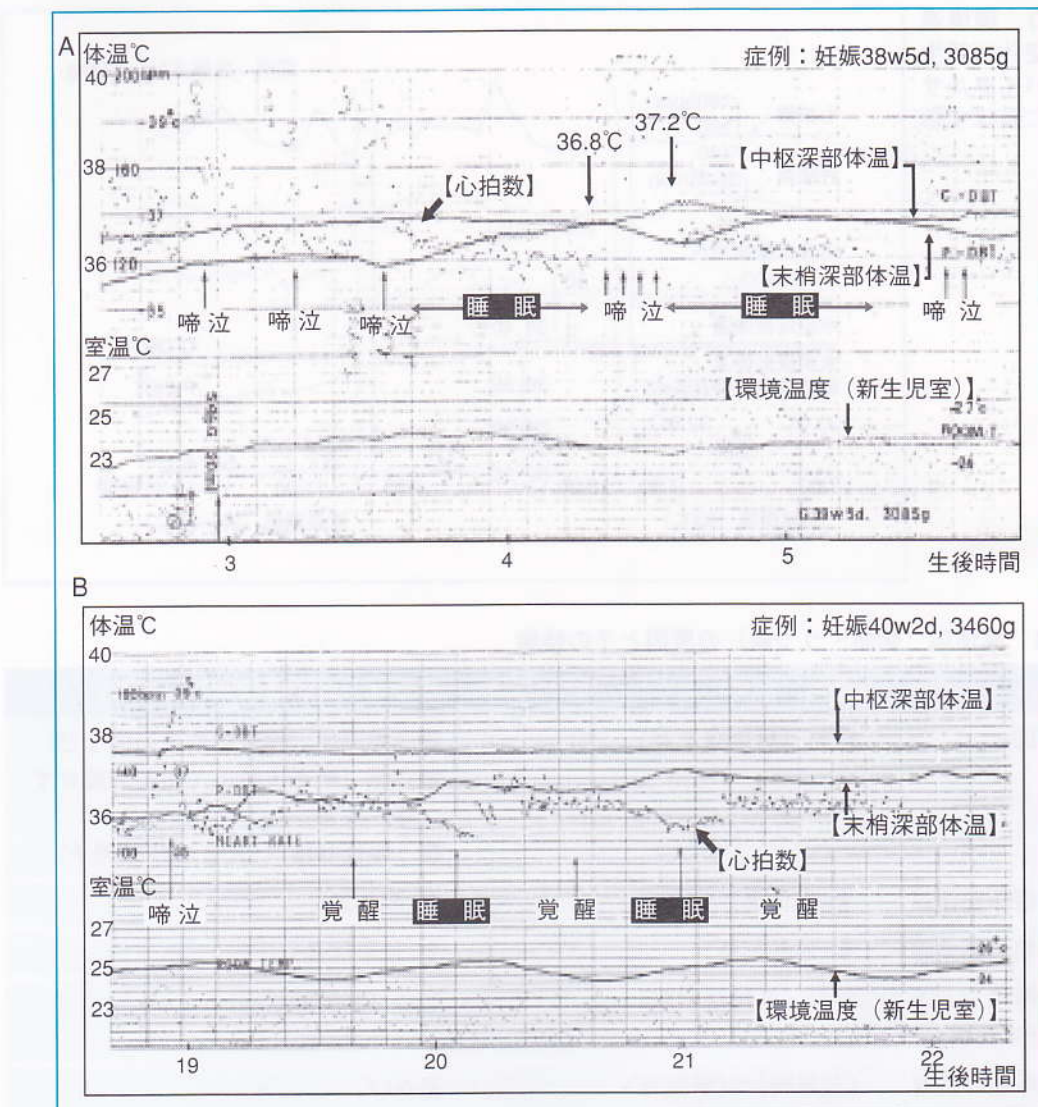
図1Bは、生後19時間目からの同様の記録である。快適な環境温度下では、C-DBTはP-DBTのリズミカルな体温変動、つまり末梢血管の収縮と拡張によって放熱量が調節され恒温状態が保たれている様子が見える。P-DBTの上昇時には、睡眠/心拍数減少/筋弛緩が、下降時には覚醒/心拍数増加/筋緊張亢進が認められた。

以上の観察より、放熱機構には末梢血管の収縮と拡張が、産熱機構には筋緊張（啼泣=産熱亢進）と筋弛緩（睡眠=産熱抑制）が体温調節に重要な役割をしていることがわかった。また睡眠からの覚醒反応の刺激の一つに、体温下降が密に関与していると考えられた。

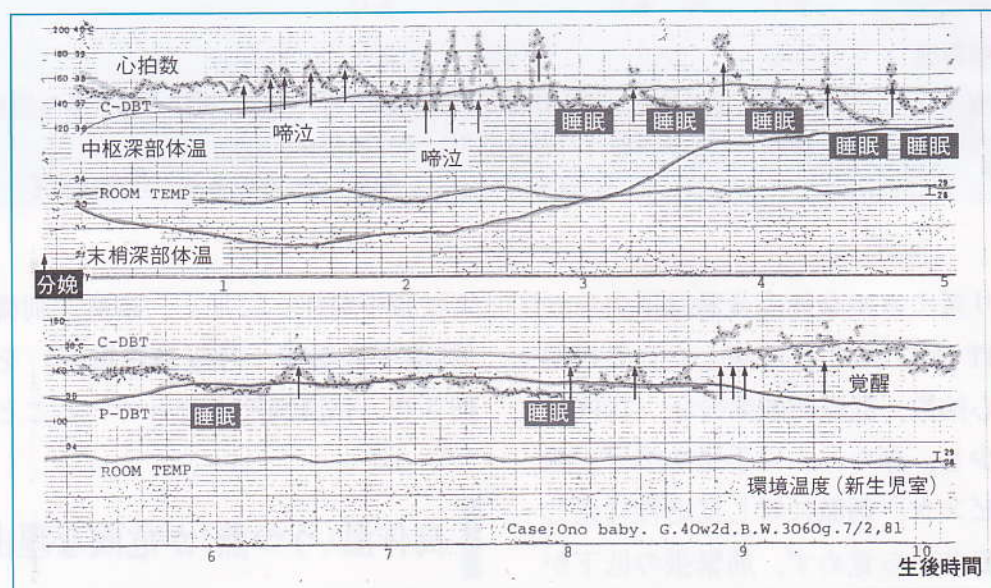
低温環境下における体温調節

胎児は分娩を境に急激な環境温度の低下に遭遇し、生後1時間以内に約2.0℃の体温下降を余儀なくされる¹⁵⁾。体温下降を防ぐために、児は放熱抑制と産熱亢進という体温調節機構を作動させ、生後4~5時間目頃には低体温から恒温状態へと移行する¹⁶⁾。

生まれたばかりの赤ちゃんが、身を縮め、筋緊張を高め、オギャーオギャーと激しく泣き出す光景は、末梢血管収縮によって放熱を防ぎ、啼泣（筋緊張亢進+呼吸運動）によって熱産生を高め、より早く恒温状態に安定



▲図1 新生児の体温/心拍数/行動の記録（詳細は本文参照）
A：生後3~5時間目、B：生後19~22時間目



▲図2 分娩直後からの体温変動と行動の観察（詳細は本文参照）

するための行動である（図2）。

胎内（38℃）と胎外（24~26℃）の環境温度差は、出生直後の新生児にとって“寒冷刺激”として呼吸を促進するうえで重要な役割を果たすことがわかっている¹⁷⁾。寒いとき、大人はふるえるが、赤ちゃんは激しく泣くことによって熱産生を増し、外界の低温環

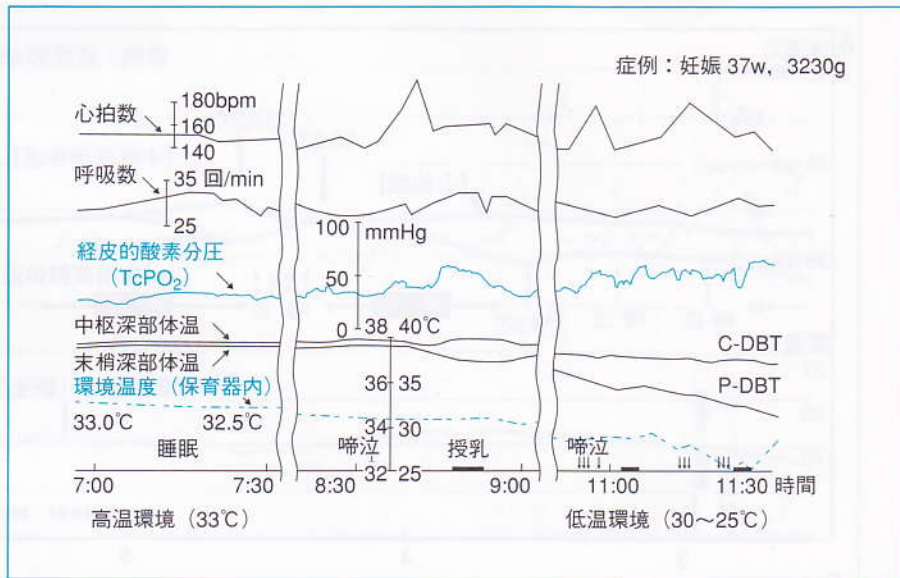
境に巧みに適応していく。

高温環境がバイタルサインと産熱機構に及ぼす影響

環境温度が、C-DBT/P-DBT、呼吸循環機能、産熱量、新生児の行動に及ぼす影響について観察した（図3）。

高温環境下では、P-DBTの特徴で

▶ 図3 環境温度の変化が新生児のバイタルサインに及ぼす影響



▼ 表1 高体温（発熱・うつ熱）の原因とその特徴

	発熱（病気による）	うつ熱（外的環境因子による）
原因	病気（感染症など）	●高温環境（保育器や車の中など） ●衣服（帽子・靴下・布団の着せすぎ）など ●うつ伏せ寝（SIDSの危険因子）
中枢深部体温	↑（高体温）	↑（高体温）
末梢深部体温	↓（放熱抑制）	↑（放熱促進）
筋緊張・ふるえ（産熱機構）	有り（筋緊張状態）	なし（筋弛緩状態）
●手足の温度	《発熱時》⇒《解熱時》 冷たい ⇒ 温かい	温かい
●発汗	なし ⇒ あり	あり
●傾眠	なし ⇒ あり	あり
呼吸抑制	なし	あり
治療	●原疾患の治療（抗生物質など） ●睡眠（血管拡張+筋緊張低下）	●衣服（帽子、靴下など）や布団をぬがせる ●涼しい、風のあるところへ移す

あるリズムカルな体温変動は消失し、P-DBTはC-DBTに収束した。この期間、心拍数、経皮的酸素分圧（TcPO₂）は減少し、赤ちゃんは手足を広げ、顔色はピンク、刺激に対し反応性に乏しく、眠りから覚めず、筋緊張の低下が観察された。その後、環境温の低下とともにC-DBTとP-DBTは離開し、覚醒（啼泣）と心拍数、TcPO₂、筋緊張の増加が観察された¹¹⁾。

以上の観察から、中枢と末梢の体温較差が大きくなるほど、筋緊張が増し産熱量が増加した。つまり、C-DBTとP-DBTが収束するような高温環境下においては、人間は高体温（うつ熱）から身を守るために放熱促進（末梢血

管拡張+発汗）に加え、産熱抑制機構（睡眠+筋弛緩+呼吸運動抑制）を作動させ、体温調節を行っていることがわかった。

高体温（うつ熱）が危険な理由

高体温は、発症メカニズムの違いによって「発熱」と「うつ熱」の二つに大別される（表1）。

「発熱」は末梢血管収縮と“ふるえ”によって体温を上昇させる。高熱にもかかわらず、寒さを感じ“ふるえ”を経験するのは、体温調節中枢が発熱物質などによって錯誤的に高い水準にセットされ、あたかも低温環境下に置かれた場合と同様の体温調節機構（筋

緊張亢進）を営むからである。

一方「うつ熱」は、高温環境や着せすぎ（放熱障害）など、外部環境の異常によって発症する。体内の熱は輻射・対流・伝導・蒸散というメカニズムによって体外へ放熱されるが、衣服内が高温・多湿・無風という環境下においては、放熱効率が悪くなり容易に高体温（うつ熱）となる。乳幼児にとって「うつ熱」が危険な理由は、発熱とは反対に産熱抑制機構が働き、児は眠りから覚めず、筋緊張が低下し続け、呼吸運動の抑制や無呼吸が起こりうるからである。

「着せすぎ」に注意

睡眠中の赤ちゃんに布団や衣服（帽子・靴下なども）を着せすぎた場合、衣服内環境温、C-DBT、P-DBTはどのように変動するかを観察した（図4）。

衣服内温度は着せすぎ前では35～36℃前後であったが、着せすぎ後では上昇し続け、啼泣後では衣服内温度はC-DBTを上回り38.5℃まで急上昇した。同時に、P-DBTも着せすぎ後から緩やかに上昇し、C-DBTとの間に収束化（産熱抑制）傾向を認めた。

以上より、着せすぎは放熱障害を招き、放熱した熱で衣服内温度を上昇（蓄熱）させ、赤ちゃんを容易に高体温（うつ熱）にすることがわかった。死亡後にもかかわらず体が温かい、発汗が強いなどのSIDSに特有の剖検所見は、児の衣服内環境が高温多湿であり、その環境が外部との熱交流がなかったことを裏づけるものである。

SIDSの発症機序

着せすぎとうつ伏せ寝は衣服内環境温を上昇させ、睡眠中の乳幼児を容易に高体温（うつ熱）とする。中枢体温と末梢体温が収束するような高温環境下においては、児は体温上昇を防ぐために放熱促進に加え、産熱抑制機構を作動させる。うつ熱時にみられる児の睡

眠・筋弛緩・呼吸運動抑制そして発汗は、熱産生を低下させ放熱を促進するための体温調節機構そのものである。高温多湿環境下では睡眠に伴う体温下降が生じないため、寒さを感じない赤ちゃんは眠りから覚めない。この覚醒反応遅延は、衣服内温度を放熱した自分の熱で次第に上昇（蓄熱）させ、児をさらに加温する。高体温化が進むにつれて、睡眠は深くなり、筋緊張は低下し続け、呼吸運動は抑制され、低酸素血症は静かに進行する。特に、うつ伏せ寝では筋緊張低下が呼吸運動を妨げ、肺換気量を低下させるためより危険である。一方、心血管系では、環境温の上昇とともに末梢深部体温のリズミカルな体温変動は消失し、自律神経機能は低下する。すなわち、体温調節のために末梢血管は拡張したままで、発汗による脱水、低酸素血症なども手伝って血圧は低下し続ける。

SIDS のメカニズムは、着せすぎ（放熱障害）⇒衣服内高温環境⇒うつ熱⇒放熱促進（交感神経抑制）+産熱抑制機構（睡眠+筋弛緩+呼吸運動抑制）⇒血圧下降+低酸素血症⇒SIDS（図5）である²⁾。

仰向け寝運動によって SIDS はなぜ減ったのか

仰向け寝からうつ伏せ寝への体位変換が、児の体温調節と衣服内温（腹部側、背中側）に及ぼす影響を調べた（図6）。仰向け寝では、背部側の衣服内温は中枢体温と同値で、腹部側の衣服内温より高値を示した。体位変換に一致して腹部側衣服内温は中枢体温より高くなった。同時に、末梢体温の著しい上昇（放熱促進）が観察された。仰向け寝では腹部側衣服内温は、うつ伏せ寝の背部側衣服内温より高いことから、放熱量は背部側より腹部側からのほうが多いことがわかった。

うつ伏せ寝では放熱効率の高い腹部側からの放熱が妨げられ、衣服内（腹

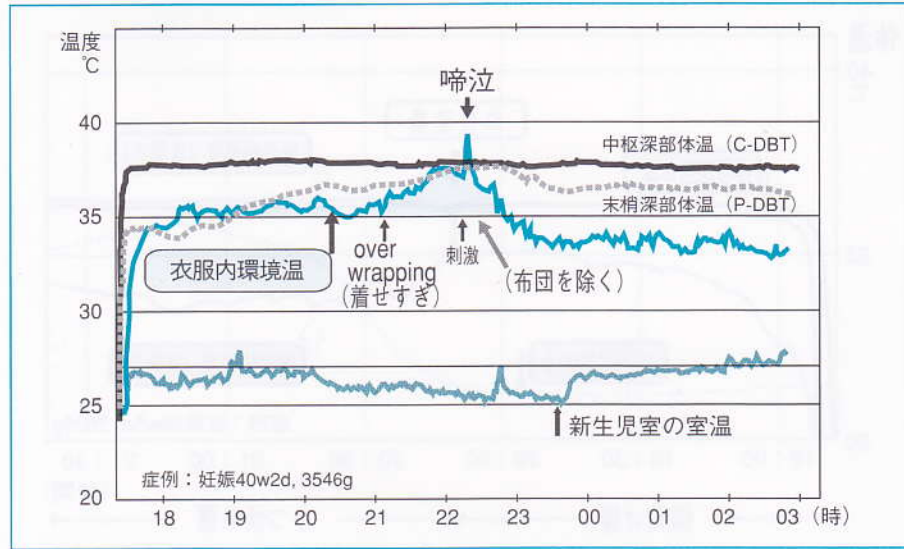


図4 着せすぎが衣服内環境温に及ぼす影響

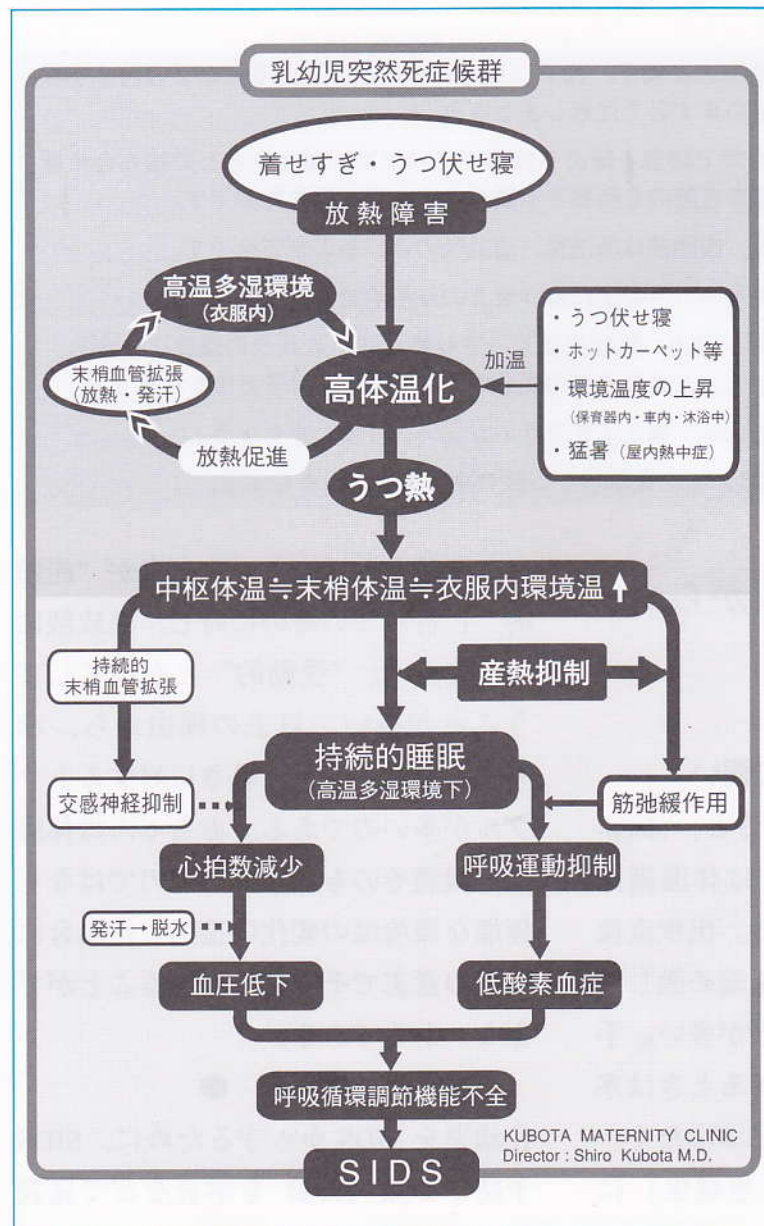
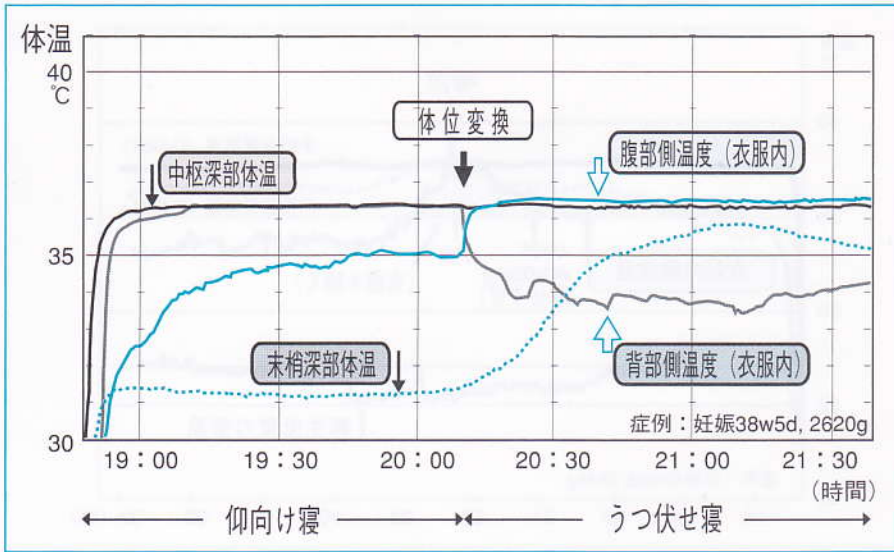


図5 乳幼児突然死症候群 (SIDS) のメカニズム

部側) に放熱した熱が布団との間に蓄熱し腹部を加温する。うつ伏せ寝にすると汗をかきよく眠る理由は、腹部が暖められ高体温（うつ熱）になり¹⁹⁾、放熱促進（末梢血管拡張）と産熱抑制機構（睡眠+筋弛緩）が働くためである。うつ伏せ寝が危険な理由は、解剖学的に胸部（肺）が重力で圧迫され、

特にうつ熱状態では筋緊張低下によって呼吸運動がより妨げられ、肺換気量が減少するからである。仰向け寝運動で SIDS が減少した理由は、うつ熱状態（筋緊張低下）が改善され、呼吸運動の抑制が軽減したためと考えられる。

▶ 図6 うつ伏せ寝が体温調節に及ぼす影響



▼表2 SIDS 予防7か条

1. 室内では、睡眠中の赤ちゃんに帽子、靴下、足付きロンパース、毛布などの着せすぎは、放熱を妨げ、児を暖めますので注意しましょう。
2. うつ伏せ寝は、放熱した熱で腹部を暖める効果があります。着せすぎとの組み合わせはうつ熱を招き、児は汗をかき筋肉を弛緩させ眠り続けます。最も危険です。
3. 睡眠中の赤ちゃんの衣類、布団等は吸湿性、通気性のよいものが安全です。
4. ストープの側やホットカーペットの上に寝かせるのは危険です。
5. 熱すぎる人工ミルクは体を暖め、乳幼児はぐっすり寝ます。ミルクの温度に注意し、必ず抱いて飲ませましょう。人工ミルクの成分がSIDSの危険因子ではありません。
6. 児が静かに眠り続けるときは、着せすぎでないか発汗に注意しましょう。
7. SIDSから赤ちゃんを守るために発熱とうつ熱の違いを学習しましょう。

赤ちゃんをSIDSから守るために

赤ちゃんは「暑さ」に弱い

赤ちゃんの行動を科学すると、sleeping (静) や crying (動) は体温調節機構の一端を表わしている。出生直後の赤ちゃんのように、身を縮め激しく泣き続けるときは寒いことが多い。手足を伸ばし静かに眠り続けるときは寒くない。寒いときには手足は冷たく、そして激しく泣くこと (熱産生) によって“寒い”という“危険信号”を出す。寒くないとき、特に温かすぎるときは、顔色はピンクで手足も暖かく穏やかに眠り続ける。

一般に、“寒いとき”には泣くことによって危険信号を発し、自力で熱を産生し恒温状態を維持しようと努力する。しかし、“暑いとき”の放熱効果は外界の環境因子 (温度・湿度・風など) や大人の育児法に影響される。つ

まり、熱産生は赤ちゃん自身が“能動的”に行っているのに対し、熱放散は他人まかせ、“受動的”となってしまうことが多い。以上の理由から、赤ちゃんは寒さより、暑さに対するトラブルが多いのである。赤ちゃんは体温調節機能そのものが未熟なのではなく、極端な環境温の変化に遭遇した場合に、自分の意志でそれに対応することができないからである。



乳幼児をSIDSから守るために、SIDS予防7か条 (表2) を学会などで発表した。その内容は当院のホームページ²⁰⁾・母親教室などでも紹介している。本稿はSIDS学会 (2002年) 等で発表し、その後、日本小児麻酔学会 (2003年)、臨床体温研究会 (2004年) 等で講演したものをまとめたものである。

参考文献

1. 久保田史郎. 睡眠中における乳幼児の突然死—SIDSの謎の原因について—. 日

- 本産婦人科学会 福岡地方部会雑誌 1999; 23(2): 10.
2. 久保田史郎. 安産と予防医学. In: THE OSAN. 福岡: 紀伊國屋書店福岡本店, 2000.
3. 久保田史郎ほか. SIDSの原因は放熱障害か? 新生児の体温調節と睡眠/呼吸/循環機能から. 第8回SIDS学会抄録集, 2002.
4. 久保田史郎. 乳幼児突然死症候群は着せ過ぎ (放熱障害) が原因. 日本新生児学会雑誌 2003; 39: 437.
5. 久保田史郎. 環境温度が赤ちゃんの体温調節機構に及ぼす影響—乳幼児突然死症候群の原因は放熱障害—. 日本小児麻酔学会誌 (教育セミナー) 2003; 9: 41-3.
6. 久保田史郎. 環境温度が赤ちゃんの体温調節機構に及ぼす影響について—赤ちゃんを発達障害・SIDSから守るために—. 臨床体温研究会第19回学術集会抄録集 (教育講演) 2004; 22(1): 34.
7. 平成9年度厚生省心身障害研究
8. Kattwinkel J, Brooks J, Keenan ME, et al. Infant sleep position and sudden infant death syndrome (SIDS) in the United States: joint commentary from the American Academy of Pediatrics and selected agencies of the Federal Government. Pediatrics 1994; 93: 820.
9. 仁志田博司. 乳幼児突然死症候群. 日本医師会雑誌 1999; 122: 591-6.
10. 吉永宗義. SIDSとその育児環境. 小児内科 1998; 30: 473-7.
11. Bacon C, Scott D, Jones P. Related Articles, Links Heatstroke in well-wrapped infants. Lancet 1979; 24; 1: 422-5.
12. Stanton AN, Scott DJ, Downham MA. Is overheating a factor in some unexpected infant deaths? Lancet 1980; 1: 1054-7.
13. 戸川達夫ほか. 熱流補償法による生体温度計測. 医科器械学雑誌 1975; 45: 505.
14. 辻隆之: 深部体温計—臨床—. 電子医学 1976; 11: 61-7.
15. 久保田史郎ほか. 新生児における体温変動の観察. 産婦人科治療 1979; 39: 9.
16. Kubota S, Koyanagi T, Hori E, et al. Homeothermal adjustment in the immediate postdelivered infant monitored by continuous and simultaneous measurement of core and peripheral body temperatures. Biol Neonate 1988; 54: 79-85.
17. 小川次郎編. 新生児学—基礎と臨床—. 東京: 朝倉書店. 1978: 138.
18. Perlstein PH, Edwards NK, Sutherland JM. Apnea in premature infants and incubator-air-temperature changes. N Engl J Med; 282: 461-6.
19. 船山真人. SIDSとうつ伏せ寝. 小児内科 1998; 30: 521-4.
20. 久保田産婦人科医院
HP: <http://www.s-kubota.net>

執筆者 (執筆順)

- 入來 正躬 山梨医科大学名誉教授・医療法人社団向陽会 ひかりの星クリニック
登倉 尋實 奈良女子大学名誉教授・香港理工大学研究員
永井 正則 山梨県環境科学研究所 環境健康研究部
大渡 伸 長崎大学熱帯医学研究所
Klaus Pleschka retired from Max-Planck-Institut in F. R. Germany
三枝 岳志 山梨大学医学部 生理学講座第1教室
本間 研一 北海道大学大学院医学研究科 統合生理学講座
川真田 樹人 札幌医科大学医学部 麻酔学講座
高橋 稔之 札幌医科大学医学部 麻酔学講座
杉野 繁一 札幌医科大学医学部 麻酔学講座
黒島 晨汎 旭川医科大学名誉教授
中島 敏博 京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科
山本 浩貴 札幌医科大学医学部 麻酔学講座
長尾 雅悦 国立病院機構 西札幌病院 小児科
池上 徹則 岡山大学医学部・歯学部附属病院 救急部
氏家 良人 岡山大学大学院医歯学総合研究科 救急医学
藤村 直幸 岡山大学医学部・歯学部附属病院 救急部
久保田 史郎 久保田産婦人科麻酔科医院
朝山 正己 中京女子大学健康科学部 健康スポーツ学科
橋崎 文隆 東京都恩賜上野動物園 飼育課動物病院
田中 正敏 福島県立医科大学名誉教授・福島学院大学 福祉学部
成松 英智 札幌医科大学 救急集中治療部・高度救命救急センター
馬渡 徹 札幌医科大学医学部 第2外科
渡辺 敦 札幌医科大学医学部 第2外科
渡部 一郎 北海道大学病院 リハビリテーション科
山蔭 道明 札幌医科大学医学部 麻酔学講座
林 成之 日本大学総合科学大学院 生命科学
山内 正憲 札幌医科大学医学部 麻酔学講座
市原 靖子 日本私立学校振興・共済事業団 東京臨海病院 麻酔科
Carlos A. Ibarra M 東邦大学医学部 麻酔科学第一講座
菊地 博達 埼玉医科大学 麻酔学講座
川名 信 北海道立小児総合保健センター 手術部
池田 健彦 防衛医科大学校 麻酔学
風間 富栄 防衛医科大学校 麻酔学
松川 隆 山梨大学医学部附属病院 手術部
根岸 千晴 済生会川口総合病院 麻酔科
池田 誠 テルモ株式会社
小澤 仁 テルモ株式会社
大西 喜英 オムロンヘルスケア株式会社
中山 禎人 札幌南三条病院 麻酔科・札幌医科大学医学部 麻酔学講座
佐野 豊 日本光電工業株式会社
佐藤 亮一 富士通特機システム株式会社
戸川 達男 早稲田大学 人間科学部