

低体温事故 Accidental Hypothermia (総説、Current Concepts)

NEJM, Nov.15,2012

西伊豆早朝カンファランス H25.3

著者

Douglas J.A.Brown, M.D. ブリティッシュコロンビア大学救急科、カナダ

Jeff Boyd, M.B., B.S., ミネラルスプリング病院救急科、バンフ、カナダ

Hermann Brugger, M.D. 山岳救急医学研究所、ボルツァノ、イタリア

Peter Paal, M.D., インズブルック医科大学救急科、インズブルック、スイス

NEJM, Nov.15, 2012 に低体温事故(あるいは偶発的低体温症)の総説(current concepts)がありました。大変実践的で役に立つと思いましたのでまとめてみました。

著者は、カナダのバンフ、ブリティッシュコロンビア、スイスのインズブルック、イタリアのボルツァノ(山岳医学研究所)など、まさに低体温の本場のドクター達です。山岳医学って分野があるのは知りませんでした。こういう本場のドクターたちの総説ですから説得力があります。

昔、信州大医学部のスキー部だったという同僚が、「静岡大学スキー部は弱かった」と言ってましたがそりゃ、静岡にまともなスキー場なんてありませんから無理からぬところですよ。

昨年末、グーグル会長が北朝鮮を訪問したのですが、娘さんのソフィーを連れていきました。19歳の女の子が先入観なしで北朝鮮を見た時、どういうふう感じたのかブログがあります。まさか北朝鮮当局も19歳の小娘が、全世界にブログで北朝鮮のネガティブ情報を発信してしまうなんて考えてもみなかったでしょう。

<https://sites.google.com/site/sophieinnorthkorea/>

(ブログ:北朝鮮のソフィー、Sophie in North Korea)

彼女が大変驚いたことの一つは、VIPとしてビョンヤンの最先端のテクノロジー、名所、学校を見学したのですが、真冬だということにどこにも暖房がなかったということです。室内で吐く息が白く、暖房が効いていたのは宿舎の招待所(超豪華)だけだったそうです。しかしそう言えば静岡も昔は学校に冷暖房なんてなかったなあ。

また金日成総合大学を見学したのですが、一行がどやどやと教室に入っていくのに、誰も動かさず首を回しめせず目も合わさず、全員がシーンと机のパソコンモニターを眺めているだけだったそうです。きっと大がかりな芝居で、一行が去ると同時にすべてが片付けられるのではないかと思ったとのことですよ。

この数カ月で低体温患者を2例経験しました。

2週前、小生が当直中の夜に来たのは直腸温26度、体幹にさわるとギョッとするほど冷たく、血圧は測定できず脈は30、呼吸18、意識障害もあります。ご家族に聞くと別に外にいたわけでもなくコタツを使っていた

というのです。小生の頭の中ではハテナマークが三つ位でした。結局、肺炎による二次性の低体温でした。

電気毛布や手術室の温水ブランケット、加温輸液、胃、膀胱の温水洗浄をしたのですが、遅々として体温が上昇しません。1人でてんでこ舞いしていたら、医局から皆がカンファを中止して来てくれて助かりました。結局、ノルアドを使い、大腿静脈にカテをいれて透析を回しやっとなり復温しました。低体温時の透析の威力を実感しました。

この総説によると、能動的外加温(強制エア加温ブランケット、電気毛布など)や最小侵襲再加温(加温輸液)での復温率は0.1から3.4度/時間、血液透析では2度から4度/時間で体温が上昇するそうです。(本文内に復温率の一覧表があります)

この総説によると低体温患者は四肢でなく体幹を触れとのこと。

また低体温では脈が触知しにくいので60秒間丹念に触ります。

山岳現場ではコア体温なんて測れませんから、従来の低体温の分類(mild, moderate, severe, profound hypothermia)は「使えねえ」ということです。

「Swiss staging system of hypothermia」というのを勧めています。

これは、現場においては「戦慄、意識、バイタルサイン」の三つの有無でステージ分類します。

低体温は35度未満ですが、覚えるべき数字は、32、28、24(4つおき)です。HTはhypertensionでなくhypothermiaです。

HT Iは震えて意識がありコア体温35度から32度です。

メチャクチャ震えているうちは32度以上あるわけです。

HT IIは戦慄がなく意識障害が始まります。

コア体温は32度から28度です。32度未満になると震えなくなることに注意です。

HT IIIは戦慄もなく意識もありませんがバイタルはありコア体温28度から24度です。2週前の小生の症例はこのHT IIIでした。

HT IVはバイタルがなく24度未満です。

20年以上前、小生、西伊豆に来る直前、3週間ほどニュージーランド南島を家族でドライブ旅行しました。クイーンズタウンという町の公園に南極で死亡したスコット大尉(captain)の記念碑がありました。何で、こんなところにスコットの碑があるんだろうと不思議に思いました。

読んでみるとスコット大尉は1912年に亡くなったのですが、ニュージーランドの第42中隊(company)の士官達がカンパして100年前の1913年に建てたものでした。ニュージーランドは南極探検隊の最終寄港地です。碑にはスコットの最期の日記が刻まれていました。

イギリスのスコット隊は南極一番乗りを目指して5人の隊員で出発します。

しかし犬ゾリやスキーの経験がなかった為、徒歩だったのです。ソリも人力で引っ張ります。その方がより高貴(noble)だと考えたのです。1912年1月17日、漸く南極点に到達した時、そこには既にノルウェーのアムンゼン隊の旗が立っていたのに愕然とします。アムンゼン隊は52頭の犬ゾリ(犬は食用にも使った)、スキーを使用していたのです。

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Antarctic_expedition_map_\(Amundsen_-_Scott\)-en.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Antarctic_expedition_map_(Amundsen_-_Scott)-en.svg)

(アムンゼンとスコットの経路)

失意の内に1300kmの帰路に就くのですが途中、エバンスが、頭部外傷が元で2月17日死亡、オーツも凍瘡などで歩けなくなり皆の足手まといになることを案じて「I am just going outside, may be sometime.」と言い残して3月16日、吹雪の中、テントを去り行方不明となります。3月29日、寒冷、空腹、燃料不足でついに残る3人全員が死亡します。

スコットの日記は「Last entry (最後の記入)、For God's sake look after our people.」で終わっています。食料、燃料の貯蔵庫まであと20kmの地点だったとのこと。8カ月後スコット隊のなかば雪に埋もったテントが発見され日記から最期の様子がわかりました。状況から3人の内、スコットが最後に亡くなったと推測されました。3人の遺体はそのままその地点に埋葬されました。

この総説によると雪崩に埋もれた場合の最大冷却率は9度/時間だそうです。

雪崩に埋もれて35分未満では致命的低体温は起こりにくいそうです。

ですから雪崩犠牲者は発生後35分以内の発見を目指します。

救出されたらまず口腔、気道に雪が詰まっていないか見よとのこと。

雪崩に埋もって35分以上で、かつ気道に雪が詰まっていたら低体温より低酸素が先行したということで蘇生は困難です。もし気道に雪がなければ治療開始せよとのこと。

HTI(震えて意識ありコア体温35度から32度)の治療は、温かな部屋、温かい甘い飲料を与え積極的運動をさせます。なぜ甘い飲料なのかよくわかりませんが味噌汁よりは御汁粉、クズ湯がよさそうです(以前、吉野で本場のクズ湯を飲んだらひどく高くて呆れた)。

寒冷利尿と言って、寒冷で血管が収縮し血管容積が小さくなる為ADHが減少し利尿になるそうです。寒いとトイレが近くなるのはそういうことだったかと目からうろこです。低体温症では寒冷利尿と加温による血管拡張でかなりの量の輸液が必要になるそうです。

コア体温は、プローブを食道の下三分の一か直腸内15cmに入れよとのこと。

食道の上方だと換気ガスにより高めに出ます。直腸温の場合、コア体温より遅れて上がるので直腸温より食道温がお勧めだそうです。

Afterdrop という言葉があり救助後もコア体温が下がり続けることを言います。
これは人工的クーリング実験で見られ、また直腸温とコア体温との乖離から推測されました。しかし加温と同時の食道体温計測では afterdrop は記録されなかったそうです。
Afterdrop と似た言葉で Backdrop がありますが、これはジャンボ鶴田のプロレス技です。

<http://file.iriskena.blog-mmo.com/798141111.jpg>

(プロレス技 バックドロップ)

HT II (戦慄なし意識障害ありコア体温 32 度未満から 28 度) の治療は、全身を覆い、能動的外加温 (強制エアヒーティングブランケットや湯たんぽ等で外から温める、石巻日赤では津波の時、輸液パックを湯たんぽ代わりにした)、最小侵襲再加温 (加温輸液等のこと) を行います。輸液は 38 度から 42 度に加温します。

体温 32 度未満から心停止が起こり易くなり心房細動はよく見られるそうです。

強制エアヒーティングブランケットって何だろうと調べてみたところ下記のようなもので、「何だ、日本の布団乾燥機と全く同じじゃん！」と思いました。

こんなものなら家電店で数千円で売ってます。

我が家も冬は寝る直前、布団の中に入れて使ってます。ものの 2, 3 分で布団が温まり毎晩超幸せです。猫が入って来たがるのもよくわかります。

http://www.mcfarlanemedical.com.au/28264CA/BAIR-HUGGER-BLANKET-PAEDIATRIC-----BOX_or_10/pd.php

(Bair Hugger , forced-air heating blankets)

病院にも数台あります。ナースに電気毛布とどのように使い分けているのかと聞いたら、手術が短時間で、緊急で病室の布団を温めておくときは布団乾燥機、そうでない時は電気毛布を使うのだそうです。次回、低体温患者が来たら布団乾燥機をぜひ使ってみようと思いました。

コア体温が 28 度以下に下がると HT III で、意識なし戦慄なしですがバイタルサインはあります。小生が 2 週前経験したのは HT III でした。28 度以下から逆説的脱衣 (雪の中で衣服を脱ぎだす) が始まります。また 28 度以下になると心停止リスクは更に増します。

不用意に体を動かすと不整脈を誘発するので気をつけよとのこと。

またカテ先を心臓に近付けるなどのことです。これも不整脈を誘発するからです。

HT III では気道確保して ECMO (extracorporeal membrane oxygenation) か CPB (cardiopulmonary bypass) を使います。

ECMO は extracorporeal membrane oxygenation で本来、心臓は OK だけど肺が悪い時に使われるものです。心臓の手前で静脈血を回収、人工肺で酸素化した心臓の手前に戻す venovenous (V-V) ECMO が主流だそうです。

この総説によると V-V ECMO による復温率は 4 度/時間だそうです。
V-A(venoarterial) ECMO だと復温率は 6 度/時間です。

CPB (cardiopulmonary bypass)は日本では PCPS (percutaneous cardiopulmonary support) と呼ばれていると思います。

PCPS は酸素化だけでなく心臓のポンプ機能があり、肺と心臓の補助を行います。

ですから呼吸、循環が保てないときは CPB (PCPS)、循環は保てているが呼吸が保てないときは ECMO を使いますが、低体温では両者は復温に有効というわけです。CPB (PCPS)による復温率は 9 度/時間だそうです。

もし ECMO も CPB (PCPS)もない場合は胸腔内洗浄を行えとのことでした。

胸腔内洗浄による復温率は 3 度/時間位です。

また低体温患者を復温して 24 時間位たつと MOF (多臓器不全)、とりわけ肺水腫が起こるので、CPB より ECMO の方が有用だそうです。

ECMO というと、小生、小泉八雲の「耳なし芳一」を思い出します。

以前、家族旅行で壇ノ浦に行きました。

平家物語の「先帝身投」で、平家の滅亡が迫り、8 歳の安徳天皇を抱いた二位の尼殿が「浪のしたにも都のさぶらうぞ」と舟から海に身を投げます。続いて安徳天皇の母親の建礼門院も硯などを重りにして身を投げるのですが、源氏勢に熊手を髪にひっかけられ助けられます。

平家一門の墓は壇ノ浦近くの赤間神宮にあります。ここが耳なし芳一の舞台です。

<http://www.tiki.ne.jp/~akama-jingu/>

(赤間神宮ホームページ)

目の見えぬ芳一がここで平家一門の亡霊の前で「先帝身投」を琵琶を弾きながら語るのですが、身投げの下りで亡霊たち皆が泣き叫びはじめるのです。

特に下記の部分は心を打たれます。

Then all the listeners uttered together one long, long shuddering cry of anguish; and thereafter they wept and wailed so loudly and so wildly that the blind man was frightened by the violence and grief that he had made.

建礼門院は安徳天皇が身に着けていた、まだわが子の香が残る衣を幡(ばん:仏前に置く旗)に作り直し長楽寺に献納します。

長楽寺は京都の知恩院のすぐ横の小さな寺です。以前ここを訪れたところ、驚いたことにまだこの幡が残されており深く感動しました。糸の縫い目のひとつひとつに母親の愛を感じました。

数年後、カルチャーで平家物語を読んでいた義母を伴って再訪したのですが、

まったく新しいものに作りかえられておりがっかりしました。

HT IV は体温 24 度未満、バイタルがない場合です。

この場合は、ECMO、CPB が安全かつ有効であることは意見が一致しているそうです。ECMO や CPB で治療した場合、神経障害なしで社会復帰できる確率は 47 から 63% です。そんなに高いとは思いませんでした。HT IV で ECMO や CPB を使わなかった場合の生存率は 37% 未満だそうです。

バイタルが出るまで CPR しますが体外循環 (ECMO、CPB) で神経学的完全回復した CPR 最長記録は 190 分です。

一方、強制 air-heating blanket と腹膜環流で回復した例の CRP 最長記録は 390 分とのこと。

なおエピネフリンは末梢循環が悪くなるのでヨーロッパ蘇生協会は 30 度になるまで心停止でエピネフリンを使用しないのだそうです。また 35 度になるまでエピネフリン使用間隔は普段の倍の 6 分から 10 分にするそうです。

検査でとりわけ注意すべきは血清 K 値です。Ph や乳酸値は参考にならないそうです。低体温事故で蘇生し最もカリウムが高かった記録は、31 カ月児のなんと 11.8mEq/l で驚きです。

この総説では血清 K が 12mEq 以上なら CPR 中止も考慮せよとのこと。

血清 K が 10 から 12mEq では ECMO、CPB のスタッフと相談します。

血清 K が 10mEq 未満では社会復帰の可能性があり CPR を継続せよとのこと。

沈水して社会復帰した最長記録は 66 分、2.5 歳児、コア体温 19 度です。

なお社会復帰した世界最低体温記録はなんと 14 度です！！！！

NEJM, Feb13, 2013 にこの総説に対する往復書簡 (correspondence) があり

最近の Int J Emerg Med 2012;5,7、Mark E らの「Hypothermic cardiac arrest far away from the center providing rewarming with extracorporeal circulation」によると、ノルウェーで 42 歳男性、23.2 度、低体温の心停止患者 (asystole→Vf) で 6 時間半の CPR で完全社会復帰したとのこと。

今のところ、これが CPR 世界最長記録のようです。

低酸素状態、外傷などの他の原因がなければ、心停止した低体温患者は体外再加温が完了するまで CPR を行えとのこと。

すなわち「No one is dead until warm and dead !」だそうです。

繰り返します。No one is dead until warm and dead !

NEJM「低体温事故」の要点は以下の 43 点です。

なお、NEJM, Dec.31,2009 の MGH 症例検討会で「凍傷と低体温の 16 歳少年」がありましたがこれもよくまとまっていたので、次のメールで再掲します。

.....
NEJM 総説 低体温事故 要点

1. 低体温は体幹が冷たくコア体温 35 度未満
2. 28 度未満で逆説的脱衣 (paradoxical undressing) が始まる。
3. 32 度未満で心停止リスク増し心房細動よくあり。
4. 28 度未満で心停止リスクは更に増す。
5. 低体温はスイス分類で HT (hypothermia) I から IV に分ける。

6. フィールドでは症状から分類推定、コア体温で確定する。
7. HT I は意識あり戦慄ありコア体温 35 度から 32 度。
8. HT I 治療は温かな部屋、温かい甘い飲料、積極的運動。
9. HT II は意識障害あり戦慄なし、コア体温 32 度未満から 28 度。
10. HT II 治療は全身を覆い強制 air heating blanket、毛布、加温輸液。

11. HT III は意識なし戦慄なし、vital sign あり、体温 28 度未満から 24 度。
12. HT III 治療は気道確保して ECMO か CPB 使用して加温。
13. HT IV は vital sign なく 24 度未満。
14. HT IV 治療は心マ、ボスミン 3A、除細動 3 回まで。ECMO、CPB 使用。
15. HT IV で ECMO、CPB 使用し社会復帰率 47 から 63%。

16. HT IV で ECMO、CPB 使用しなかった時の社会復帰率 37% 未満。
17. バイタルサインがない場合の ECMO、CPB の有用性は明らか。」
18. CPB(cardiopulmonary bypass)より ECMO の方が効果的。
19. ECMO、CPB 使用できぬ時は胸腔洗浄を行え。
20. 入院 24 時間後 MOF、特に肺水腫が起こり ECMO が有効。

21. コア体温のプローブは食道の下 1/3 か直腸内 15 cm に。
22. 低体温患者の脈触知は難しく 60 秒探せ。
23. 輸液は 38 度から 42 度に加温せよ。
24. 寒冷利尿:寒冷で血管収縮、ADH 減少し利尿起こる。
25. 寒冷利尿と加温による血管拡張でかなりの量の輸液が必要。

26. 低血圧に昇圧剤使うと不整脈誘発、末梢循環悪化するので注意。
27. 体外循環で神経学的完全回復した CPR 最長記録は 190 分。
28. 低体温で社会復帰した CPR 最長記録は 6 時間半！
29. 血清 K が 12mEq 以上は CPR 中止も考慮。
30. 血清 K が 10 から 12mEq では ECMO、CPB のスタッフと相談。

31. 血清 K が 10mEq 未満では社会復帰の可能性あり CPR 継続。
32. 低体温で社会復帰した最高 K 濃度は 11.8mEq。
33. Rescue collapse: 救助搬送後の心停止。
34. Afterdrop : 加温後もコア体温が低下、その存在ははっきりしない。
35. ヨーロッパ蘇生協会は 30 度になるまで心停止で epinephrine 使用しない。

36. 35 度になるまでエピネフリン使用間隔は倍の 6 分から 10 分。
37. 雪崩に埋もれた場合の最大冷却率は 9 度/時間。
38. 雪崩に埋もれて 35 分未満は致命的低体温は起こりにくい。
39. 雪崩 35 分以上で気道に雪あれば蘇生困難、雪なければ治療せよ。
40. 沈水して社会復帰した最長記録は 66 分、2.5 歳児、コア体温 19 度。

41. 社会復帰した最低体温記録は 14 度！
42. 低体温患者は入院 24 時間 MOF 起こり特に肺水腫が死因。
43. No one is dead until warm and dead !

低体温事故 Accidental Hypothermia (総説、Current Concepts)

NEJM, Nov.15,2012 西伊豆早朝カンファランス H25.3

著者

Douglas J.A.Brown, M.D. ブリティッシュコロンビア大学救急科、カナダ
Jeff Boyd,M.B.,B.S.,ミネラルスプリング病院救急科、バンフ、カナダ
Hermann Brugger,M.D. 山岳救急医学研究所、ボルツァノ、イタリア
Peter Paal,M.D.,インスブルック医科大学救急科、インスブルック、スイス

低体温事故(コア体温が強制的に 35 度未満に低下)は罹病、致死率が大変高い。

米国では死亡診断書(death certificate)からは年間 1500 例の発生がある。

しかし、一次的低体温、二次的低体温の発生率と、その罹病率、致死率ははっきりしない。ある 3 次救急センターでは 84 例の低体温事故に対し 14 種類の加温法が使用されていた。これは、治療法、合併症の不確実さを示している。

治療法によっては特殊なセンターでなければ利用できないので、患者を現地で治療するのか、それともセンターに搬送するのかの選択の解明が必要である。

従来の推奨法は、加温法の最近の発展を織り込んでいないし搬送決定にも役に立たない。

1. Presentation

寒冷曝露されると人体は運動や不随意的振戦(shivering)によりコア体温を 37 度に保とうとする。一次性低体温(primary hypothermia)は健康人で体内エネルギーが枯渇し寒冷ストレスに打ち勝てなくなる場合である。

二次性低体温(secondary hypothermia)は様々な疾患の患者で色々な場合に発生し下記(この項目の最後に掲載)のような原因がある。温かい環境でも起こりうる。

二次性低体温による死亡は、低体温そのものよりもその基礎となる疾患によることが多い。すべての低体温で、意識、呼吸、循環は当初正常であるが体温が低下するに従い障害されていく。

コア体温が 28 度未満になると 逆説的脱衣(paradoxical undressing)が始まることもある。

コア体温 32 度未満になると心房細動がよくみられるがその他の心不全徴候がなければそれほど心配はいらない。コア体温 32 度未満では心停止リスクが増加し 28 度未満ではさらにそのリスクは増す。

<低体温の分類>

A. 体温調節不調

a. 中心性の不調(central failure)

神経性食欲不振、脳血管障害、脳外傷、視床下部不全、代謝障害、腫瘍、パーキンソン、薬剤、クモ膜下出血、中毒

b.末梢性の不調(peripheral failure)

急性脊髄離断、熱産生減少、ニューロパチー

c. 内分泌障害

アルコール性または糖尿病性ケトアシドーシス、副腎不全、下垂体不全、乳酸アシドーシス

d. エネルギー不足

極端な運動、低血糖、栄養失調

e. 神経筋肉の不全

出生直後、高齢と無活動

B. 熱損失の増加

a. 皮膚疾患

熱傷、薬物とトキシソ

b. 医原性

緊急出産、熱中症治療、冷浸剤(cold infusion)

c. その他

癌腫症、心肺疾患、重症感染症(細菌、ウイルス、寄生虫)

多発外傷、ショック

2. 低体温の診断

もし患者の体幹が冷たくコア体温が 35 度未満だったり、寒冷曝露があるか二次性低体温を起こすような疾患があれば低体温があると考える。

低体温はバイタルサインから「Swiss staging system of hypothermia」により HT I から HT IV の 4 段階のステージに分類する。

この分類はコア体温が簡単に測れないような場合に、従来の低体温分類 (mild, moderate, severe, profound hypothermia) よりも便利である

.....

「Swiss staging system of hypothermia」

HT I 意識あり、戦慄 (shivering) あり、コア体温 35 度から 32 度

治療: 温かな環境、温かい甘い飲料、可能なら積極的運動

HT II 意識障害、戦慄なし、コア体温 32 度未満から 28 度

治療: 心モニターし不整脈を避ける為、体動を最小限に。体は水平に固定。

コア体温 32 度心停止リスク上昇、28 度未満で更に心停止リスク急上昇。

全身を覆う (insulation)、外から再加温 (external rewarming: 温かな環境、化学的、電氣的、強制エアヒーティング、毛布、加温輸液

HT III 意識(-)、戦慄なし、vital sign(+)、コア体温 28 度未満から 24 度

治療: HTII の治療に加え必要なら気道確保

内科治療に反応せず心臓が不安定なら ECMO (extracorporeal membrane oxygenation) か CPB (cardiopulmonary bypass) の使用。

HT IV バイタルサインなし、コア体温 24 度未満の場合。

治療: HT II と HT III の治療に加え CPR、エピネフリン 1 mg を 3A まで。除細動、必要に応じそれ以上の量を。ECMO か CPB による再加温、

外または内からの再加温と CPR

.....

コア体温計測によりステージが確定し搬送や治療が決まる。

低体温が較正、計測できる体温計が必要であるが病院前のレベルでは使えるとは限らない。体温は身体部位、環流、環境気温により変化する。

挿管した患者なら食道の下三分の一にサーミスタープローブを入れても良い。

食道上方にプローブを入れると暖かい換気ガスにより計測を間違え。

鼓膜に接したプローブは脳の温度を正確に反映する。ただし外耳道に雪や耳垢がなく身体全体が絶縁保温 (insulate) されていないなければならない。

皮膚、耳、口腔の赤外線 (infrared) 体温計は低体温患者では不正確である。
膀胱体温は、腹膜温水環流中は高めに出る。
直腸プローブは深さ 15cm まで入れるが、再加温中、タイムラグがありコア体温より低く出る。
コア体温計測はフィールドでは困難であり治療決定は臨床的な Swiss staging に依るべきである。

3. 病院前治療 (Prehospital treatment)

病院前治療の優先順位は患者を注意深く扱うこと、BLS、ACLS の準備、他動的 (passive) あるいは能動的 (active) 再加温、適切な施設への搬送である。

低体温患者の脈の触知は難しく 60 秒間丹念に探す。

呼吸や体動があれば注意深く観察 (watchful waiting) を続けるが生命徴候がなければ CPR を開始する。

CPR の妨げにならぬ限り、保温の為、全身をくるむ (full body insulation)。

病院前の再加温には化学的、電気的あるいは強制エアヒーティングブランケット (forced-air heating blanket) などによりかなりの熱伝導が可能である。

http://www.mcfarlanemedical.com.au/28264CA/BAIR-HUGGER-BLANKET-PAEDIATRIC-----BOX_or_10/pd.php

(Bair Hugger , forced-air heating blankets)

<http://www.firesa.co.za/medsport/id177.php>

(Operatherm: 医療用電気ブランケット)

適応があれば advanced air way (挿管、LM、コンビチューブなど) を使用する。エアウェイで重症不整脈を誘発するリスクは少ない。

< 再加温法の効果 >

a. 心拍出補助なしの場合

・温かな部屋、衣服、温かい甘い飲料、積極的運動

復温率 2 度/時間 (代謝率による) HT I に適応。

・積極的外加温、最小侵襲再加温

(温かな部屋、化学的、電気的加温、強制エア加温ブランケット、加温輸液)

復温率 0.1-3.4 度/時間、循環安定した HT II、HT III に適応

・腹膜透析

復温率 1 度-3 度/時間、適応ははっきりしない

- ・血液透析
復温率 2度－4度/時間、 適応ははっきりしない
- ・胸腔洗浄
復温率 3度/時間、 HT IV (ECMO や CPB がない時)
- ・静脈－静脈 (venovenous) ECMO
復温率 4度/時間、 適応ははっきりしない

b. 心拍出補助を行う場合

- ・静脈－動脈 (venoarterial) ECMO
再加温率 6度/時間、適応: HT IV、循環不全のある HT III
- ・CPB (cardiopulmonary bypass)
再加温率 9度/時間、
適応: HT IV、循環不全のある HT III (ECMO がない時)

4. 輸液

輸液はそれ以上の熱のロスを防ぐため 38 度から 42 度に加温する。

病院前の寒冷環境では輸液は急速に冷え低体温を助長する。

寒冷利尿 (cold diuresis: 低体温で血管収縮と ADH 減少が起こり腎で体液の wasting が起こる) による体液ロスと再加温による血管拡張の為、かなりの量の輸液が必要になる。

温かな crystalloid (リンゲルや生食) を、脱水状況、血糖、電解質、PH に応じて投与する。大量の生食を投与するとアシドーシスを悪化させることがあり代替の crystalloid が必要である。

血管拡張による低血圧に対し昇圧剤を使用することもあるが、不整脈を誘発すること、特に凍瘡のある患者では末梢循環を悪化させるので注意が必要である。

5. 搬送 (Transport)

意識があり戦慄している患者 (HT I) で外傷がなければフィールドで治療してもよいし、再加温ができなければ直近の病院へ搬送してもよい。

意識障害のある患者 (stage HT II, HT III, HT IV) では心臓の不安定性を評価すべきである。循環が安定していれば能動的外加温あるいは最小侵襲の再加温 (温かい部屋、化学的、電氣的、強制エアヒーティングパック・ブランケット、加温輸液など) を行うべきであり、そのようなことが可能な直近の病院へ搬送すべきである。

病院前 (prehospital) に心臓不安定性がある場合 (例えば血圧 90 未満、心室性不整脈がある等) やコア体温 28 度未満、心停止患者は合併症 (外傷など) で直近の病院へ即座に送る必要が無い限り ECMO (Extracorporeal Membrane Oxygenation) や CBP (Cardiopulmonary bypass) の可能なセンターへ搬送する。

寒冷により脳酸素需要が減少しているため、数時間の CPR 後でも神経的合併症なく回復する可能性がある。

体外循環で再加温後、神経学的に完全回復した CPR 最長記録は 190 分である。

強制エアヒーティングブランケットと腹膜環流での再加温で完全神経回復した CPR 最長記録は 390 分である。

搬送途中の施設で血清 K が測定できれば ECMO や CBP ができるセンターへ、バイパスできる。血清 K が 12mEq を越えている場合は CPR 中止も考える。

もし搬送時間がかかりかかる場合は機械を用いた CPR (mechanical chest-compression device) 使用も考える。これにより救急隊員の疲労も防げる。搬送先の病院へ前もって連絡し ECMO や CBP の準備をしておいてもらう。

遠隔地では搬送担当者は長時間輸送のリスクと、ECMO、CBP が可能なセンターへ送るリスクとのバランスを考えなければならない。

6. Rescue Collapse と Afterdrop

Rescue collapse とは低体温患者 (HT III) の救助、搬送に関連した心停止のことをいう。Hypovolemia や介入により誘起された不整脈 (患者の体動や中心静脈路留置などによる) などが原因である。

Afterdrop とは救助後もコア体温が下がり続けることをいう。

人工的クーリング実験で見られ、また直腸温とコア体温との乖離から推測された。しかし能動的外加温、最小侵襲再加温 (minimally invasive rewarming) と同時の食道体温計測では afterdrop は記録されていない。

7. 病院内での治療 (In-hospital treatment)

循環の安定した低体温患者や、二次性低体温を起こす様々な疾患では能動的外加温や最小侵襲再加温が適応である。

侵襲的再加温、例えば胸腔、腹腔内環流 (body cavity lavage)、血管内器具、ECMO などでは出血や血栓の危険が増加する可能性があり、またこれらの方法がアウトカムを改善するエビデンスがないことから、最善の方法は能動的外加温と最小侵襲再加温であろう。

再加温の方法、頻度の選択に当たっては、医師は適切な施設、人材の有無、リソース、患者の状態を考慮すべきである。中心静脈にアクセスする場合、不整脈リスクを最小にするため、カテ先端やガイドワイヤが心臓から十分離れていることが重要である。

一方、循環が不安定な低体温患者が内科的治療で反応しない場合、ECMO や CPB を考慮する。コア体温が 28 度の場合、酸素消費量や脈拍は普通 50%減る。

しかし最小必要循環量はわからないから、どの時点で ECMO や CPB を導入すべきかは不明である。エコーや近赤外線スペクトロスコーピーで血流や脳の酸素化を測定でき将来、決断に役立つかもしれない。

生命徴候、バイタルサインがないステージ HT IV の場合は、ECMO、CPB が安全かつ有効であることは意見が一致している。

ECMO や CPB で治療した場合、神経障害なしで社会復帰できる確率は 47 から 63%である。HT IV で ECMO や CPB を使わなかった場合の生存率は 37%未満である。

ECMO や CPB の利点は再加温中の血流の回復に関連する。

従来の CPB に比し、ECMO の方がアウトカムは優れているがおそらく、再加温後に重症の肺不全を起こし、これは ECMO により治療が可能であるためと思われる。

もし ECMO や CPB が使用できず、また転送も出来ない場合、再加温中、循環は CPR で確保し地方病院で使用できる代替の内加温法を使用するしかない。

ある症例報告によると ECMO や CPB がない場合、胸腔内洗浄 (thoracic lavage) で 2 時間以内に自発循環が回復し代替法として合理的である。

自発循環が再開した場合、多臓器不全 (MOF) を起こす危険があり ECMO による肺のサポートが必要なことがある。

心停止後は標準的方法が推奨され、専門家によっては 32 度から 34 度で 24 時間の治療的低体温が勧められているがこのアプローチのエビデンスはない。

もし低体温で心停止の患者が 32 度以上に加温され、なお無収縮ならば心停止は不可逆であり CPR の中止を考慮する。

.....

<低体温患者の搬送と治療のアルゴリズム>

a. HT I の治療

患者の体幹が冷たい、或いはコア体温 35 度未満だがバイタルサインあり意識もあれば HT I であり直近の病院へ送る。

治療は部屋を温かくし暖かい衣服に替えて、温かく甘い飲料を与え運動を勧める。

b. HT II と HT III の治療

患者の体幹が冷たいかコア体温 35 度未満、バイタルサインあるが意識障害がある。血圧は 90 以上でコア体温 28 度以上、心室性不整脈なければ直近の病院へ搬送する。不整脈誘発を避けるため体の動きは最小限に、能動的再加温、最小侵襲再加温を行う。必要なら気道確保。

もし血圧 90 未満か、心室性不整脈がある、コア体温 28 度未満の場合は、ECMO か CPB の可能なセンターへ搬送する。

c. HT IV の治療

患者の体幹が冷たいかコア体温 35 度未満、バイタルサインがない。

CPR 中止を考慮するのは、はっきりした死の徴候があるか、DNR 希望がある、救助者が危険、雪崩に埋もれて 35 分以上、気道に雪が詰まっていた無収縮等の場合。

そうでなければ(はっきりした死の徴候がない、DNR(do not resuscitate) 希望がない、救助者に危険が無い、雪崩に埋まって 35 分未満、気道に雪が詰まっていない、心無収縮等でない)、CPR 開始、熱のロスを防ぎ気道確保し、エピネフリン 1 mg 3 回まで経静脈的、或いは経骨髄内投与、除細動を行う。

ECMO、CPB を考慮するのは、「低体温になる以前の心停止」でない、大外傷がない、正常体温時に目撃された心停止でない、雪崩に埋まって 35 分未満等の場合。コア体温 32 度未満、血清 K が 12mEq 未満なら、CPR しつつセンターへ搬送し ECMO、CPB で再加温を行う。ECMO、CPB がなければ能動的外加温、内加温を行いコア体温 32 度まで加温する。

循環不安定性が改善すれば MOF(多臓器不全)に備え ECMO によるサポートを考慮する。

また心停止後の治療を考慮し、24 時間 32 度から 34 度の低体温療法も考える。

.....

8. ACLS の標準法か、修正法を使うか？

低体温での心停止動物モデルで昇圧剤の使用の効果ははっきりしないが、多少の効果があったとする報告もある。ヨーロッパ蘇生協会(the European Resuscitation Council)のガイドラインでは ACLS の修正法を推奨している。

すなわち 3 回までの除細動を行うこと、エピネフリンはコア体温 30 度以上になるまで使わないこと、35 度になるまで、エピネフリン投与間隔(3 分から 5 分)は倍にすること(つまり 6 分から 10 分)。

一方、米国 AHA(American Heart Association)の推奨法では「再加温中、ACLS 標準法に従った昇圧剤投与を行うことは妥当(reasonable)である」とあり矛盾するものである。

従って、3 回までの除細動と昇圧剤投与は妥当であり用量は患者の反応により決めればよいだろう。

9. 血清カリウム

血清カリウムの上昇は低酸素による細胞死や、薬剤(脱分極性筋弛緩剤)、様々な疾患で起こる。血清カリウム上昇は死亡につながり、冷却が始まりだすときの低酸素状態を示唆する。

低体温事故で蘇生でき、最もカリウムが高かった記録は、31 カ月児の 11.8mEq/l、13 歳児の 9.5mEq/L、34 歳男性の 7.9mEq/L、雪崩で生還した成人の 6.4 mEq/L である。

研究者によると CPR 中止のカットオフ値は 12mEq/L か 10mEq/L、雪崩に埋もれた成人は 8mEq/L としている。

我々は、K が 12mEq/L 以上だったら CPR を中止することを提唱する。

K が 10 から 12mEq/L だったら ECMO や CPB のスタッフと相談する。

10mEq/L 未満の場合、社会復帰が可能であり復温するまで CPR を継続する。

ただし低カリウムだからといって生存を保障するものではない。

その他の予後因子として乳酸値、Ph 値も有用との報告もあるがはっきりしない。

10. 特殊な状況での低体温事故

a. 外傷

外傷、とりわけショック状態、脳脊髄損傷では体温調節が不安定となるため、多発外傷や中枢神経損傷では低体温になりやすい。低体温では出血しやすく輸液が必要となり致死率が上昇する。34 度未満では凝固因子や血小板機能が低下し重症の凝固障害を起こす。

採血検査前に血液は投与前に温められるため低体温による凝固障害は測定されていない。

Cardiopulmonary bypass はヘパリンコーティングされるため、全身のヘパリン化の必要なく重症外傷を再加温できる。

b. バイタルサインのない雪崩犠牲者

完全に雪崩に埋もれた場合の最大冷却率は 9 度/時間である。

雪崩に埋もれて 35 分未満なら冷却時間が少ない為、生命を脅かすような低体温は起こりにくく、もしバイタルサインがない場合は、低酸素か外傷が原因と考える。

もし雪崩に埋もれて35分以上で、気道に雪が詰まり心無収縮である場合は、低体温前に低酸素がおこっており CPR の効果は疑わしい。

もし雪崩に埋もれて35分以上で、気道に雪が詰まっていなければ重症の低体温を疑って治療せよ。

雪崩に埋もれた時間がわからない場合はコア体温から推測できる。

コア体温が32度以下なら35分以上埋まっていたと考える。

c. バイタルサインのない溺水

冷水にいた患者は、温水よりも予後はよい。

もし低体温患者が冷水にいて呼吸ができる状態であったのならば、低酸素、心停止が起こる前に低体温となったと判断し(stage HT IV) 社会復帰が可能かもしれないので蘇生を行う。

もし低体温患者が冷水に沈水して呼吸ができない状態であったのならば予後は悪い。沈水して社会復帰した最長時間記録は、2.5歳児の66分でありコア体温は19度であった。

11. アウトカム

低体温事故患者で完全社会復帰した最低体温記録は14度であり、冷却を行っての最低体温記録は9度である。

あるセンターでの Stage IV 低体温患者の調査では、入院24時間で臓器不全が起こり、とくに死因となるのは肺水腫である。

一次性低体温で循環が安定している患者を能動的外加温、最小侵襲再加温を行った場合、社会復帰率はほぼ100%である。

一方、心停止している場合は体外循環で再加温した場合、社会復帰率は50%である。

心停止患者では、もし低体温になる前に低酸素状態になったのであれば、また他に重症合併症や外傷がなければ、また体外循環を使えば完全社会復帰の可能性はある。

12. まとめ

再加温法の安全性の進歩、使用により低体温患者の予後は改善してきた。

とりわけ心停止症例を体外循環による再加温で治療した例で予後の改善がみられた。

循環が安定している低体温患者は、能動的外加温と最小侵襲再加温をおこなうべきである。

心停止患者は、もし低体温に低酸素状態が先行していない、重大な合併症か外傷がない、体外循環による再加温が使用されれば蘇生できる可能性がある。

心停止或いは循環が不安定な低体温患者で現在最善の治療は ECMO であり CPB より優れる。

初期に必要な機器のある施設に搬送し適切な方法が選択されれば合併症軽減、生存率改善につながるであろう。治療戦略の改善には低体温患者登録の分析とプロスペクティブ研究が必要である。

.....

NEJM 総説 低体温事故 要点

1. 低体温は体幹が冷たくコア体温 35 度未満
2. 28 度未満で逆説的脱衣 (paradoxical undressing) が始まる。
3. 32 度未満で心停止リスク増し心房細動よくあり。
4. 28 度未満で心停止リスクは更に増す。
5. 低体温はスイス分類で HT (hypothermia) I から IV に分ける。

6. フィールドでは症状から分類推定、コア体温で確定する。
7. HT I は震えて意識ありコア体温 35 度から 32 度。
8. HT I 治療は温かな部屋、温かい甘い飲料、積極的運動。
9. HT II は意識障害あり戦慄なし、コア体温 32 度未満から 28 度。
10. HT II 治療は全身を覆い強制 air heating blanket、毛布、加温輸液。

11. HT III は意識なし戦慄なし、vital sign あり、体温 28 度未満から 24 度。
12. HT III 治療は気道確保して ECMO か CPB 使用して加温。
13. HT IV は vital sign なく 24 度未満。
14. HT IV 治療は心マ、ボスミン 3A、除細動 3 回まで。ECMO、CPB 使用。
15. HT IV で ECMO、CPB 使用し社会復帰率 47 から 63%。

16. HT IV で ECMO、CPB 使用しなかった時の社会復帰率 37% 未満。
17. バイタルサインがない場合の ECMO、CPB の有用性は明らか。
18. CPB (cardiopulmonary bypass) より ECMO の方が効果的。
19. ECMO、CPB 使用できぬ時は胸腔洗浄を行え。
20. 入院 24 時間後 MOF、特に肺水腫が起こり ECMO が有効。

21. コア体温のプローブは食道の下 1/3 か直腸内 15 cm に。
22. 低体温患者の脈触知は難しく 60 秒探せ。
23. 輸液は 38 度から 42 度に加温せよ。
24. 寒冷利尿: 寒冷で血管収縮、ADH 減少し利尿起こる。
25. 寒冷利尿と加温による血管拡張でかなりの量の輸液が必要。

26. 低血圧に昇圧剤使うと不整脈誘発、末梢循環悪化するので注意。
27. 体外循環で神経学的完全回復した CPR 最長記録は 190 分。
28. 低体温で社会復帰した CPR 最長記録は 6 時間半！
29. 血清 K が 12mEq 以上は CPR 中止も考慮。
30. 血清 K が 10 から 12mEq では ECMO、CPB のスタッフと相談。

31. 血清 K が 10mEq 未満では社会復帰の可能性あり CPR 継続。
32. 低体温で社会復帰した最高 K 濃度は 11.8mEq。
33. Rescue collapse: 救助搬送後の心停止。
34. Afterdrop : 加温後もコア体温が低下、その存在ははっきりしない。
35. Europe 蘇生協会は 30 度になるまで心停止で epinephrine 使用しない。

36. 35 度になるまでエピネフリン使用間隔は倍の 6 分から 10 分。
37. 雪崩に埋もれた場合の最大冷却率は 9 度/時間。
38. 雪崩に埋もれて 35 分未満は致命的低体温は起こりにくい。
39. 雪崩 35 分以上で気道に雪あれば蘇生困難、雪なければ治療せよ。
40. 沈水して社会復帰した最長記録は 66 分、2.5 歳児、コア体温 19 度。]
41. 社会復帰した最低体温記録は 14 度！
42. 低体温患者は入院 24 時間 MOF 起こり特に肺水腫が死因。
43. No one is dead until warm and dead !