

安楽死の方法

安楽死は動物に極力苦痛無く生を終わらせることであるが、その方法は様々であり、動物種ごとにもっとも適切な方法を取る必要がある。最近まとめられた動物の安楽死に関するものとして、2000年に米国獣医学会がまとめた報告書があり、そのなかから小動物（哺乳類、鳥類、爬虫類等）に関連したところを抜粋した。また、以下の付表も添付してあるので参考にされたい。

付表1 動物種別安楽死の方法

付表2 適切な安楽死の方法

付表3 条件により適切な安楽死の方法

付表4 不適切な安楽死の方法

なお、適切、条件により適切、不適切とした基準は以下の通りである：適切な方法とは、単独で安楽死に用いても一貫して人道的な死に至らしめるものである；条件により適切な方法とは、その方法の本質的な特徴、或いは作業者が失敗する可能性の大きさや危険性により、一貫して人道的な死に至らしめることができないもの、または、科学的に検証されていないものである；不適切な方法とは、いかなる条件下でも人道的な死にいたらしめ得ない方法、用いる作業者に大きな危険が伴うと研究会が判断した方法である。この報告書では、単独では安楽死に用いることはできないが、他の方法との併用により人道的な死に至らしめる併用可能な方法についても解説している。

安楽死とは？

安楽死 (euthanasia) の語源はギリシャ語の良い (*eu*) と死 (*thanatos*) に由来する。「良い死」とは、疼痛や苦痛が最少限の死である。この報告書における安楽死とは動物を人道的な死に至らしめる行為である。動物の生命が奪い去られる時、畏敬の念をもって可能な限り疼痛や苦痛を伴わずに死に至らしめることは、獣医師として或いは人としての責任である。安楽死に用いる方法は、速やかに意識を消失させ、続いて心肺機能の停止及び最終的な脳機能の停止を生ずる必要がある。加えて、動物が意識を消失するまでに感じる苦痛や不安は最少限度でなくてはならない。本研究会は、疼痛及び苦痛を全くなくすることはできないと認識している。従って、本報告書では安楽死が実施される各々の状況という現実と動物の疼痛及び苦痛を最少限にするという理想とのバランスをとるよう試みている。

一般的な配慮

本研究会は、安楽死の方法を評価するために、以下の基準を用いた：(1) 疼痛、苦痛、直接的な或いは将来的な不安を伴わずに、意識消失及び死に至らしめること；(2) 意識消失に要する時間；(3) 信頼性；(4) 人に対する安全性；(5) 不可逆性；(6) 要求及び目的との適合性；(7) 傍観者或いは作業者に対する感情的な影響；(8) 安楽死後の評価、実験或いは組織の利用との適合性；(9) 薬剤の利便性及び人の乱用の可能性；(10) 種、年齢及び健康状態との適合性；(11) 用いる器材が適切に作動するよう維持できること；(12) 肉食動物／腐肉食動物が死体を摂食した場合の安全性。

安楽死に用いられる方法の作用機序

安楽死に用いられる方法は次の3つの基本的な機序で動物を死に至らしめる：(1) 直接的或いは間接的な低酸素症；(2) 生命維持に不可欠なニューロンの直接的な抑制；(3) 生命維持に不可欠な脳の活動及びニューロンの物理的破壊。

直接的或いは間接的な低酸素症により死に至らしめる方法は、様々な部位に作用し、意識を消失させる速度も様々である。疼痛及び苦痛を伴わない死のためには、意識の消失が運動機能の消失（筋肉の動き）以前に生ずる必要がある。しかしながら、運動機能の消失が意識の消失及び苦痛の欠如を示すわけではない。従って、意識の消失を伴わずに筋の麻痺を生ずる薬剤（脱分極性及び非脱分極性筋弛緩薬、ストリキニーネ、ニコチン及びマグネシウム塩）を単独で安楽死に用いてはならない。低酸素症を惹起する方法のうちには、意識の消失後も運動機能を維持する場合があるが、これは反射であって動物は知覚していない。

2番目に属する安楽死の方法は、脳の神経細胞を抑制し、意識の消失後、死に至らしめるものである。これらの薬剤には、麻酔の第一ステージにおいて運動機能抑制を開放し、興奮期或いは譫妄期とよばれる相が現れ、動物が鳴き声を発したり、筋収縮を生ずるものがある。これらの反応は意図的なものではない。意識消失後に死亡するが、これは呼吸中枢の直接的な抑制による心停止や低酸素症によるものである。

振盪、脳の直接的な破壊、或いはニューロンの脱分極による脳活動の物理的な破壊は、速やかな意識の消失を生ずる。心臓及び呼吸活動を制御している中脳の破壊、或いは動物を死に至らしめるため付随的に用いられる方法（放血など）により、動物は死に至る。意識の消失後に筋活動の亢進がみられ、これが傍観者を当惑させる場合があるが、動物は疼痛或いは苦痛を感じてはいない。

吸入麻酔薬

吸入麻酔薬（エーテル、ハロセン、メトキシフルラン、イソフルラン、セボフルラン、デスフルラン、エンフルランなど）は多くの動物種の安楽死に用いられている。ハロセンは即効性の麻酔薬で、安楽死には最も効果的な吸入麻酔薬である。エンフルランはハロセンよりも血中溶解度は低いが、蒸気圧の低さと効力の低さのために、導入の程度はハロセンと殆ど変わらない。深麻酔状態の動物は痙攣する場合がある。エンフルランは安楽死に効果的な薬物であるが、痙攣を伴うため、作業員に対する心証が悪い。イソフルランはハロセンよりも溶解度が低く、より速く麻酔効果を発現する。しかし、わずかな刺激臭があり、動物が呼吸を停止するため、意識の消失までに要する時間が遅延する。また、イソフルランはハロセンよりも動物を死亡させるために大量の薬剤を要する。イソフルランは安楽死に用いる薬剤として認められるが、ハロセンの方が優れている。セボフルランはハロセンよりも溶解度が低く臭気もない。しかし、イソフルランやハロセンよりも効力が低く、蒸気圧が低い。容易に麻酔濃度に到達し、維持できる。デスフルランは現在、最も溶解度が低い吸入麻酔薬であるが、刺激臭が強いため、導入が遅延する場合がある。非常に揮発性が高く、酸素と置換するため、酸素の供給をしないと導入中に低酸素症を生ずる。メトキシフルランは溶解度が高く導入が遅いため、動物が興奮する場合がある。げっ歯類の安楽死には、条件により適切な薬剤である。エーテルは血中溶解度が高く導入が遅い。眼や鼻腔への刺激性があり、引火性や爆発性という深刻な危険性を有し、ストレスのモデル作製に用いられている。

吸入麻酔薬を用いる場合、密閉容器の中に動物と適量の麻酔薬を染み込ませた綿花やガーゼを入れるか、気化器から麻酔薬を供給する。後者の方法では導入時間が延長する。呼吸が停止し動物が死亡するまで気体を吸入させる。殆どの吸入麻酔薬は液体では刺激性を有するため、動物には気体のみを曝露させるべきである。また、低酸素症を予防するため、導入時には空気や酸素を供給する必要がある。小さなげっ歯類を大きな容器に入れる場合にはチャンバー内の酸素で充分である。大きな動物を小さな容器に入れる場合には空気か酸素の供給が必要である。

亜酸化窒素（笑気）は他の麻酔薬の導入を早めるために併用されるが、例え100%の濃度であっ

でも単独では動物を麻酔状態へ導くことはできない。笑気を単独で用いると、呼吸停止或いは心停止以前に低酸素症となる。その結果、動物が意識を消失する前に苦痛を与えることとなる。

作業者が職務上吸入麻酔薬に曝露されると健康を害する場合がある。妊娠初期に微量の吸入麻酔薬に曝露されることが、突発性流産や先天奇形の原因になる。吸入麻酔薬へのヒトの曝露に関して、ハロセン、エンフルラン、イソフルランの濃度は2ppm以下、笑気は25ppm以下でなければならない。これらの濃度が安全であるという実験は行われていないが、病院でも達成可能な濃度ということで便宜的に設定されたものである。麻酔薬の蒸気から作業者を保護する措置をとらなければならない。

利点-(1) 小動物 (7kg以下) 或いは静注 が難しい動物には非常に便利である。(2) ハロセン・エンフルラン・イソフルラン・セボフルレン・デスフルレン・メトキシフルレン・笑気には通常の状態では引火性・爆発性はない。

欠点-(1) 気化した麻酔薬は刺激性があり興奮させるため、導入時に苦悶あるいは不安を感じる場合がある。(2) エーテルは引火性・爆発性である。安楽死させた動物を防爆構造でない冷蔵庫或いは冷凍庫に保管したり、袋に入れた動物の死体を焼却処分する際に爆発する。(3) メトキシフルレンでの導入はある動物種では非常に遅いため用いることができない。(4) 亜酸化窒素は助燃性を有する。(5) ガスは作業者や他の動物に危害を及ぼす。(6) 特に笑気などは人為的に悪用される可能性がある。

推奨→小動物 (7kg以下) の安楽死にはハロセン、エンフルラン、イソフルラン、セボフルレン、メトキシフルレン、デスフルレンを単独、或いは亜酸化窒素との併用が許容される。エーテルは州及び連邦の労働健康及び安全基準に合致した適切な環境下でのみ用いられるべきである。これは条件的に使用可能である。亜酸化窒素を単独で用いてはならず、その使用にあたっては、動物の安楽死への適用に関する更なる科学的な検討が必要である。一般的に大動物ではコストと投与の困難さのため、吸入麻酔薬は用いない。

二酸化炭素

二酸化炭素はマウス、ラット、モルモット、ニワトリ、ウサギなどの実験用小動物を群で安楽死させる場合、及びブタの人道的屠殺前の意識消失に用いられる。

1日齢のニワトリを用いた研究では、CO₂が有効な安楽死の方法であることが示された。CO₂の吸入は鳥類に全く苦痛を与えず、神経の活動を抑制し、5分以内に死に至らしめた。

利点-(1) CO₂の速やかな鎮静、鎮痛及び麻酔効果が確立している。(2) 二酸化炭素は取り扱いが容易であり、高圧ガスボンベで購入できる。(3) 二酸化炭素は経済的、不燃性、非爆発性であり、適切な器材を用いる場合、使用者への危険性は低い。(4) 二酸化炭素は食用動物の組織中に残留しない。(5) 二酸化炭素による安楽死は、ネズミのコリン作動性マーカーやコルチコステロン濃度に影響を及ぼさない。

欠点-(1) CO₂は空気より重いいためチャンバーに十分な量を満たさないと、よじ登ったり、頭部を高濃度帯よりもたげて、曝露されない場合がある。(2) 魚類、穴居性及び潜水ほ乳類などの動物種は、極度のCO₂耐性を有する。(3) 爬虫類や両生類は呼吸速度が遅く、CO₂の使用は不適切である。(4) CO₂の曝露による安楽死は他の方法よりも時間を要する。(5) 低濃度 (80%未満) で意識消失を導入する場合、肺及び上部気道に障害を生ずる場合がある。(6) 高濃度のCO₂はある種の動物には苦痛である。

非吸入性薬剤

安楽死用注射剤は、最も急速で確実な安楽死の方法である。動物に恐怖や苦痛を与えなければ、最も望ましい方法である。静脈内投与する際に保定が必要な場合には、動物に苦痛を与え、作業者に危険が及ぶ可能性があるため、鎮静、麻酔或いは他の投与経路を考慮すべきである。狂暴な、怯えている、野生の或いは獰猛な動物には、安楽死用薬剤を静脈内投与する前に鎮静させるか、非麻痺性の不動化薬を投与する必要がある。

静脈内投与が実用的でない或いは不可能と考えられる場合には、非刺激性の安楽死用薬剤の腹腔内投与が好ましく、この場合、薬剤に神経筋遮断薬が含まれていないことを確認する。心内投与は深い鎮静、麻酔或いは昏睡状態の動物にのみ用いられる。

腹腔内に安楽死用薬剤を投与した場合、動物は麻酔の第1及び第2ステージをゆっくりと経過する場合がある。従って、興奮と外傷を軽減するため、静かな場所で狭いケージに収容する必要がある。

バルビツール酸誘導体

バルビツール酸は脳皮質から始まり、順次下方の中樞神経系を抑制し、意識の消失から麻酔状態へと至る。過剰量では深麻酔状態から呼吸中枢の抑制による無呼吸へと進展し、心停止に至る。

麻酔に用いられる全てのバルビツール酸誘導体は、静脈内投与であれば安楽死に用いられる。効果の発現が早いため、バルビツール酸誘導体による意識消失は速やかであり、血管を穿刺する際の最少限或いは一過性の疼痛を与えるだけで済む。理想的なバルビツール酸誘導体は、強力、長時間作用型、溶液中で安定であること及び経済的であることが条件である。ペントバルビタールナトリウムはこれらの条件を満たしており、最も広く用いられているが、他にセコバルビタールなども有用である。

利点—(1) バルビツール酸誘導体の最大の利点は即効性にある。これは用量、濃度、投与経路、投与スピードに依存する。(2) バルビツールは導入がスムーズで、動物に与える不快感は最少限である。(3) バルビツールは他の安楽死用薬剤より安価である。

欠点—(1) 最良の結果を得るためには静脈内投与が必須で、熟練した作業者が必要である。(2) それぞれの動物を保定する必要がある。(3) 現行の連邦基準では厳密な使用記録を要求され、米国薬務局 (DEA) に登録された責任者の管理下で用いることが義務付けられている。(4) 意識を失った状態で動物が鳴き声を発することがあり、感覚的に好ましくない。(5) 死体の中に薬物が残留するため、その死体を摂食した動物にも鎮静を生ずる、或いは死に至ることがある。

推奨—小動物の安楽死にバルビツール酸誘導体を用いることの利点は、その欠点を十分に補うものである。バルビツール酸誘導体の静脈内投与は、イヌ、ネコ、その他の小動物及びウマの安楽死に好ましい方法である。腹腔内投与は、静脈内投与が与える苦痛が大である、或いは危険な場合に限られる。心内投与は動物が深い鎮静、意識消失或いは麻酔状態にある場合に限定される。

ペントバルビタール配合剤

数種の安楽死用製品がバルビツール酸誘導体 (通常、ペントバルビタールナトリウム) に局所麻酔薬、或いは代謝されてペントバルビタールとなる薬剤を加えて調合されている。これらの添加物の中には緩徐な心毒性を有するものがあるが、この薬理的作用は重要ではない。これらの配合剤は DEA により Schedule III の薬物に分類され、ペントバルビタールナトリウムのような Schedule II に分類される薬剤よりも入手、保管及び投与が容易である。ペントバルビタールナトリウムとリドカイン或いはフェニトインとの配合剤の薬理学的特性及び推奨される使用法は、純粋なバルビツール酸誘

導体とほぼ同じである。

ペントバルビタールと神経筋遮断薬との配合剤を安楽死に用いるべきでない。

トリカインメタンсульフォネート (Tricaine methane sulfonate : MS 222, TMS)

MS 222はトリカインメタンсульフォネート (TMS) として市販されており、両生類及び魚類の安楽死に用いられている。トリカインは安息香酸誘導体で、水溶液は弱アルカリ性 (CaCO₃当量として<50mg/l) である；水溶液は重炭酸ナトリウムで緩衝する必要がある。10g/lの保存溶液を調整し、重炭酸ナトリウムを飽和するまで添加するとpH7.0~7.5となる。保存用液は褐色瓶で、冷蔵保存或いは可能であれば冷凍保存する。溶液は毎月、或いは茶色に変色した時点で交換する¹⁰⁵。安楽死のためには250mg/l以上が適切で、魚類は鰓の動きが停止してから10分以上薬液の中に浸しておく¹⁰⁴。米国ではMS 222に21日間の薬物消退期間が設定されている；従って、食用動物の安楽死には適切でない。

麻酔下の塩化カリウム

無麻酔状態の動物に対しては不適切かつ非難される方法であるが、麻酔下の動物への過飽和塩化カリウム溶液の静脈内或いは心内投与は、心停止及び死亡させるための適切な方法である。カリウムイオンは心毒性を有し、1~2mmol/kgを静脈内或いは心内に急速に投与すると心停止に至る。この方法は、安楽死後の動物の死体が肉食動物及び腐肉食動物に摂取される状況では中毒の危険性を低下させるため、家畜や野生動物の安楽死に用いられる。

利点—(1) 塩化カリウムは規制のない化合物である。入手、運搬、屋外での調製が容易である。(2) 意識を消失させる方法と共に塩化カリウムを用いる場合、その死体を処分できなくても、死体を摂取する肉食動物及び腐肉食動物に毒性を示さない。

欠点—注射時やその直後に筋組織の攣縮及び拘縮が認められる。

推奨—この方法を実施する作業者は訓練され、麻酔技術についての知識を有しており、静脈内に塩化カリウムを投与する適切な麻酔深度を評価できることが最も重要である。塩化カリウムの静脈内投与には、意識が無く、筋反射が見られず、痛覚刺激への反応が消失している外科的麻酔状態にあることが必要である。飽和塩化カリウム溶液を心内或いは静脈内へ急速に投与すると心停止を生ずる。麻酔導入後に組織中に残留している麻酔濃度についての記載はない。麻酔薬と塩化カリウムを併用した安楽死後の死体を摂取した肉食動物が中毒に至ったという報告はないが、残留している麻酔薬による中毒の危険性があるため、安楽死後の死体は適切に処分する必要がある。

安楽死に適さない注射剤

付表4にあげた注射剤 (ストリキニーネ、ニコチン、カフェイン、硫酸マグネシウム、塩化カリウム、洗剤、溶剤、消毒剤と他の毒性や塩、及び全ての神経筋遮断薬) は、安楽死に単独で用いてはならない。

物理的方法

適切な装置を用いて熟練者が実施する場合には、物理的な方法は、他の方法に比べて動物に与える恐怖及び不安が少なく、即効性で、痛みを伴わず、人道的かつ確実な方法である。放血、気絶、脊髓破壊は、単独では安楽死の方法として認められず、他の薬剤や方法と併用する必要がある。

物理的な安楽死は感覚的に不快である場合がある。しかし、感覚的に好ましいことと最も人道的であることは一致しない場合がある。物理的な方法は、一定の条件下では疼痛や不快感から速やか

に解放する最適な方法と思われる。物理的な方法を実施する作業者は十分な訓練を受け、実施する方法についての熟練度を検定される必要がある。

頸椎脱臼

頸椎脱臼は長年使用されている方法であり、熟練した作業者が実施すれば人道的である。しかし、これを確証する科学的な研究は全くない。この方法は家禽などの小型鳥類、マウス、幼弱なラット及びウサギに用いられる。マウスやラットでは、一方の手の親指と人差指で頭蓋骨の基部で首の両側を押さえるか、或いは棒で頭蓋骨の基部を押さえる。他方の手で尾根部或いは後肢を素早く引き、頭蓋骨から頸椎を分離する。幼弱なウサギでは、一方の手で頭部を、他方の手で後肢を保定する。動物を伸展し、頸部を過伸展させ背面へ捻ることにより第一頸椎を頭蓋骨から分離する。家禽では大量の安楽死に伸展による頸椎脱臼が用いられるが、意識の消失は瞬時ではない。

頸椎脱臼後、脳の電氣的活動が13秒間持続すること、及び断頭のように放血による意識消失は期待できないことが示されている。

利点—(1) 頸椎脱臼は急速に意識を消失させる手技である。(2) 組織が化学物質で汚染されない。(3) 時間を要しない。

欠点—(1) 頸椎脱臼は感覺的に不快である。(2) 急速に意識を消失させるには熟練を要する。(3) 対象が家禽、小型鳥類、マウス、幼弱なラット及びウサギに限定される。

推奨—家禽、小型鳥類、マウス、幼若なラット(200g以下)、ウサギ(1kg以下)に対する安楽死としての頸椎脱臼は、十分な技術を有する者が実施すれば人道的な方法である。訓練では、頸椎脱臼の前に、鎮静或いは麻酔が必要である。大きなラット及びウサギでは頸部の筋組織の量が増えるため、手での頸椎脱臼は難しくなり、かなりの熟練を要する。研究で用いる際には、研究により科学的な根拠が示されること、及び動物の飼育と使用に関する委員会(Institutional Animal Care and Use Committee)により承認されることが必要である。

責任者は、頸椎脱臼を実施する作業者が十分に訓練されており、常に人道的かつ効果的に実施されていることを確認する。

断頭

断頭は研究施設でげっ歯類や小型のウサギの安楽死に用いられる。この方法を用いると、化学物質に汚染されていない組織や体液を採取できる。また、解剖学的に損傷のない脳組織を得ることが可能である。

断頭の後、脳の電氣的活動は13から14秒間持続することが示されているが、最近の研究では、この活動は疼痛を知覚する能力を示すものではなく、実際には意識の消失は速やかであることが示された。

成熟したげっ歯類及び小型のウサギを容易に断頭するギロチンが市販されている。げっ歯類の新生仔に用いることができるものは市販されていないが、鋭利な刃物で代用できる。

利点—(1) 意識の消失までの時間が短い。(2) 組織が化学物質で汚染されない。(3) 時間を要しない。

欠点—(1) この手技に要する操作と保定が動物に苦痛を与える場合がある。(2) 断頭後に認められる脳の電気活動の解釈については議論の余地があり、広く意見を求めることが重要である。(3) 作業者はギロチンの危険性を良く認識し、危険のないよう注意する必要がある。(4) 作業

者にとっても、傍観者にとっても、断頭は感覚的に好ましくない。

推奨-断頭は正確に実施されるのであれば、条件付きで適切な方法であり、研究手技の上で必須であり、かつ動物の飼育と使用に関する委員会の承認がある場合に、研究施設で用いられるべきものである。断頭に用いる器具はよく整備され、刃を定期的に研ぐことが必要である。動物の保定にプラスチック製のコーンを用いると、操作による苦痛を減少させ、作業者が負傷する危険を低下させ、ギロチンの適切な位置への動物の設置を容易にする。両生類、魚類、爬虫類の断頭については、この報告書に記載されている。

この方法に関する責任者は、作業者が十分に訓練されていることを確認する。

付随的な方法

気絶及び脊髄破壊は、適切に行われれば意識を消失させるが、確実に死に至らしめるわけではない。従って、これらの方法は、動物を安楽死させるため薬剤、放血或いは断頭などの他の方法と併用する必要がある。

放血

気絶或いはその他の方法により意識を消失している動物を確実に死に至らしめるために用いられる。極度の体液減少は不安を伴うため、単独で安楽死に用いることはできない。血液を得るために放血する場合には、鎮静、気絶或いは麻酔で意識を消失させる必要がある¹⁷⁾。

脊髄破壊

脊髄破壊は、一般的に、意識を消失させる方法と併用して確実に死亡させる方法として用いられる。カエルなど解剖学的に中枢神経系への到達が容易な動物種では、安楽死として単独で用いられるが、麻酔薬の過剰量投与が望ましい。

特別な配慮

特殊な種の安楽死：水棲及び変温動物

愛玩、畜産及び実験動物に関する情報と比較すると、水生、変温動物などの安楽死については、ほとんど研究されておらず、ガイドラインもほとんど定められていない。特異な、或いは普通ではない特徴を有する動物種においても、動物を安楽死させる場合には、常に疼痛がなく可及的速やかに死に至らしめる必要がある。

両生類、魚類及び爬虫類

変温動物の安楽死においては、代謝、呼吸及び中枢神経系の酸素欠乏に対する耐性の違いを考慮しなければならない。加えて、死亡の確認がしばしば困難な場合がある。両生類、魚類及び爬虫類特有の安楽死について紹介する。

注射剤-ペンタバルビタールナトリウム(体重1kg当たり60-100mg)は、解剖学的特徴によるが、静脈内、腹腔内或いは胸腔内投与が可能である。カエル及びカメには皮下リンパ腔も用いられる。効果が発現するに要する時間はばらつくが、30分までには死に至る。ペンタバルビタール以外のバルビツール系薬剤は、投与の際に疼痛を生ずる。

丁子油-魚類に対する効果を評価する適切で妥当な臨床試験が実施されていないため、丁子油の使用は認められない。

外用剤または**局所適用剤**—トリカインメタンсульフォネート (TMS, MS-222) は、種々の経路で安楽死に用いられる。魚類、両生類においては、この化合物を水中に投入する。大型の魚類は、水中から取り出して鰓に適切な濃度の溶液をシリンジ等で振りかける。MS 222は酸性で 500mg/L以上の濃度で重炭酸ソーダに飽和させると、pH 7.0 - 7.5の溶液となる。MS 222はリンパ腔や胸腹腔への注入もできる。これらの手法は安楽死としては確実ではあるが、高価である。

TMS類似の化合物である塩酸ベンゾカインは、魚類または両生類の安楽死に、浴液や循環システム液として適用される。ベンゾカインは不溶性のため、魚類の組織を刺激すると思われるアセトンまたはエーテルを用いて保存液 (100g/L) を準備する。対照的に塩酸ベンゾカインは水溶性で直接麻酔または安楽死に用いることができる。250mg/L以上の濃度で安楽死に用いる。魚類は溶液中に鰓停止後 10分間は放置しなければならない。

麻酔薬であるフェノキシエタノールは 0.5 - 0.6 ml/Lあるいは 0.3 - 0.4 mg/Lの濃度で魚類の安楽死に用いる。呼吸停止により死に至る。他の薬物と同様に鰓蓋停止後 10分間は溶液中に放置しなければならない。

吸入剤—カメを含む爬虫類及び両生類の多くは呼吸を停止し、嫌気性代謝に変更することができるため、酸素欠乏下で長時間 (種によっては27時間以上) 生存できる。酸素欠乏に対する耐久力のため、吸入薬を用いた場合、麻酔の導入や意識の消失に要する時間が延長する。これらの種は長時間吸入薬に曝された場合でも死に至らないことがある。トカゲ、ヘビ及び魚類はそれほどには呼吸を停止しないので、吸入剤により安楽死できる。

二酸化炭素—両生類、爬虫類及び魚類はCO₂で安楽死できる。意識の消失は急速に広がるが、安楽死に要する時間は延長する。この手法は活発に活動する種や呼吸を停止する傾向の少ない種ではより有効である。

物理的方法—爬虫類、魚類及び両生類の中樞神経系は低血圧及び低酸素状態に耐性であるため、断頭後脊髄破壊を実施する必要がある。

冷却—変温動物に物理的な安楽死の方法を用いる場合、4℃に冷やすことで代謝が低下し、取り扱いが容易になるとされているが、全身の低温化が疼痛を減少させたり、臨床的に有用であるという証拠はない。カエルにおける局所の低温化は痛覚を麻痺させ、これはオピオイド受容体を介していると考えられている。低温化による爬虫類の不動化は、他の生理的あるいは化学的な安楽死の方法を併用したとしても、不適切であり、非人道的であると考えられている。低温化により不動化したヘビやカメは、その後凍結により死亡させられるが、この手法は推奨できない。皮膚や組織に結成された氷の結晶は痛みや不快感をもたらす。深麻酔下にある動物の急速冷凍は可能である。

出典：2000 Report of the AVMA Panel on Euthanasia (黒澤努訳) 抜粋

付表 1

動物種別安楽死の手段（不適切な手段については付表 4 参照）

動物種	適切な手段(注 i) (詳細は付表 2 と別紙 4 を参照のこと)	条件により適切な手段(注 ii) (詳細は付表 3 と別紙 4 を参照のこと)
両生類	バルビツール酸誘導体, 吸入麻酔薬 (動物種による), CO, CO ₂ , トリカインメタンсульフォネート (TMS, MS 222), 塩酸ベンゾカイン, 二段式脊髄破壊	貫通ボルト, 銃撃, 気絶後の断頭, 断頭及び脊髄破壊
鳥類	バルビツール酸誘導体, 吸入麻酔薬, CO ₂ , CO, 銃撃 (自由行動の場合)	N ₂ , Ar, 頸椎脱臼, 断頭, 胸部の圧迫 (小型のもの, 自由行動の場合)
ネコ	バルビツール酸誘導体, 吸入麻酔薬, CO ₂ , CO, 全身麻酔下の塩化カリウム	N ₂ , Ar
イヌ	バルビツール酸誘導体, 吸入麻酔薬, CO ₂ , CO, 全身麻酔下の塩化カリウム	N ₂ , Ar, 貫通ボルト, 感電
魚類	バルビツール酸誘導体, 吸入麻酔薬, CO ₂ , トリカインメタンсульフォネート (TMS, MS 222), ベンゾカイン, 抱水クロラル, フェノキシエタノール	断頭と脊髄破壊, 気絶後の断頭/脊髄破壊
ヒト以外の霊長類	バルビツール酸誘導体, 吸入麻酔薬,	吸入麻酔薬, CO ₂ , CO, N ₂ , Ar
ウサギ	バルビツール酸誘導体, 吸入麻酔薬, CO ₂ , CO, 全身麻酔下の塩化カリウム	N ₂ , Ar, 頸椎脱臼 (1kg以下), 断頭, 貫通ボルト
爬虫類	バルビツール酸誘導体, 吸入麻酔薬 (動物種による), CO ₂ (動物種による)	貫通ボルト, 銃撃, 断頭と脊髄破壊, 気絶後の断頭
げっ歯類とその他小動物	バルビツール酸誘導体, 吸入麻酔薬, CO ₂ , CO, 全身麻酔下の塩化カリウム, 極超短波照射	メトキシフルラン, エーテル, N ₂ , Ar, 頸椎脱臼 (ラットは 200g以下), 断頭
ブタ	バルビツール酸誘導体, CO ₂ , 全身麻酔下の塩化カリウム, 貫通ボルト	吸入麻酔薬, CO, 抱水クロラル (iv, 鎮静後), 銃撃, 電撃, 頭部の強打 (3 週齢以下)
自由行動をす る野生動物	バルビツール酸誘導体 (ivまたはip), 吸入麻酔薬, 全身麻酔下の塩化カリウム	CO ₂ , CO, N ₂ , Ar, 貫通ボルト, 銃撃, 捕殺用罠 (科学的な目的の場合)

出典：2000 Report of the AVMA Panel on Euthanasia (黒澤努訳) 抜粋

注 i：安楽死の手段として単独で実施しても人道的なものを「適切な手段」としている。

注 ii：手技そのものの性質上,あるいは作業者の失敗の可能性や安全上の問題のため常に人道的な死に至らせることができないものや,その手技に関する科学的な文献が不十分であるものを「条件により適切な手段」としている。

付表2

適切な安楽死の手段 — その特徴と作用機序 (詳細は別紙4参照)

方法	分類	作用機序	作用発現時間	難易度	作業者の安全性	適する動物種	効果, その他
バルビツール酸誘導体	生命維持中枢の機能低下による低酸素症	大脳皮質, 皮質下部, 生命維持中枢, 心筋を直接的に抑制する。	速やかに麻酔状態となる。	動物の確実な保定と静注の技術が必要とする。	安全だが, 濫用の危険がある。DEAで規制対象物質である。	ほとんどの動物種	適切に投与されれば非常に効果的である。静脈内か小動物では腹腔内に投与する。
塩酸ベンゾカイン*	生命維持中枢の機能低下による低酸素症	中枢神経系を抑制する。	非常に速い。用量に依存する。	容易である。	安全である	魚類と両生類	効果的だが, 高価である。
二酸化炭素 (高圧ガスボンベのみ)	生命維持中枢の機能低下による低酸素症	大脳皮質, 皮質下部, 生命維持中枢, 心筋を直接的に抑制する。	やや速い。	密閉容器内で使用する。	危険性は非常に小さい。	実験用小動物, 鳥類, ネコ, 小型犬, ウサギ, ミンク (高濃度を必要とする), 動物園動物, 両生類, 魚類, 爬虫類の一部, ブタ	効果的であるが, 幼若動物や新生動物では時間がかかる。
一酸化炭素 (高圧ガスボンベのみ)	低酸素症	ヘモグロビンと結合することによって, 酸素とヘモグロビンの結合を阻害する。	やや時間がかかるが, 動物が認識する前に効果が現れる。	使用機器を適切に維持する必要がある。	危険性・毒性は非常に強く, 検出も困難である。	イヌ, ネコ, げっ歯類, ミンク, チンチラ, 鳥類, 爬虫類, 両生類, 動物園動物, ウサギなどほとんどの小動物	効果的である。機器が適切に設計・管理されている場合のみ使用可能である。
吸入麻酔薬	生命維持中枢の機能低下による低酸素症	大脳皮質, 皮質下部, 生命維持中枢を直接的に抑制する。	やや速いが, 麻酔導入時に興奮する場合がある。	密閉容器を用いれば容易である。大動物はマスクで代用できる。	作業者への曝露が最小限となるよう, 排気や換気を適切に行う。	両生類の一部, 鳥類, ネコ, イヌ, 毛皮用動物, ウサギ, 爬虫類の一部, げっ歯類, その他小型哺乳動物, 動物園動物, 魚類, 自由生活を営む野生動物	十分に曝露させれば非常に効果的である。エーテルは条件により使用可能。
2-フェノキシエタノール	生命維持中枢の機能低下による低酸素症	中枢神経系を抑制する。	非常に速い。用量に依存する。	容易である。	安全である。	魚類	効果的だが高価である。
塩化カリウム (全身麻酔下で心内または静脈内投与の場合)	低酸素症	心停止に続発する大脳皮質・皮質下部・生命維持中枢の直接的抑制。	速い。	訓練と麻酔薬を離れた場所から注射する特別な装置, 塩化カリウムを静脈内投	人間が麻酔薬に曝露されると危険である。	ほとんどの動物種	非常に効果的である。筋組織の間代痙攣が観察されることがある。

のみ)				与する能力を必要とする。			
トリカイン メタンスル フォネート (TMS, MS 22 2)	生命維持中枢 の機能低下に よる低酸素症	中枢神経系を抑制 する。	非常に速い。 用量に依存す る。	容易である。	安全である。	魚類, 両生類	効果的だが高価である。

* : 塩酸ベンゾカインは米国食品医薬品局により認可されていません。

出典 : 2000 Report of the AVMA Panel on Euthanasia (黒澤努訳) 抜粋

付表 3

条件により適切な安楽死の手段 — その特徴と作用機序 (詳細は別紙 4 参照)

方法	分類	作用機序	作用発現時間	難易度	作業者の安全性	適する動物種	効果, その他
二酸化炭素 (容器に詰められたもののみ)	生命維持中枢の機能低下による低酸素症	大脳皮質, 皮質下部, 生命維持中枢, 心筋を直接的に抑制する。	やや速い。	密閉容器を使用する。	危険性は小さい。	ヒト以外の霊長類, 自由生活を営む野生動物	効果的ではあるが, 幼若動物や新生動物では時間がかかる。
一酸化炭素 (容器に詰められたもののみ)	低酸素症	ヘモグロビンと結合することにより, 酸素とヘモグロビンの結合を阻害する。	やや時間がかかるが, 動物が認識する前に効果が現れる。	使用機器を適切に維持する必要がある。	危険性・毒性は非常に強く, 検出も困難である。	ヒト以外の霊長類, 自由生活を営む野生動物	効果的である。機器が適切に設計・管理されている場合にのみ使用可能である。
頸椎脱臼	生命維持中枢の機能低下による低酸素症	脳を直接抑制する。	やや速い。	訓練と技術が必要である。	安全である。	家禽, 鳥類, マウス, 200g 以下のラット, 1kg 以下のウサギ	不可逆的である。頸椎脱臼後に激しい筋の収縮が起こりうる。
抱水クロラール	呼吸中枢の機能低下による低酸素症	脳を直接抑制する。	速い。	作業者は静脈内注射を実施する必要がある。	安全である。	ウマ, 反芻獣, ブタ	動物は投与に先立ち, 鎮静させておくべきである。
断頭	生命維持中枢の機能低下による低酸素症	脳を直接抑制する。	速い。	訓練と技術が必要である。	ギロチンで作業者が負傷する危険性がある。	実験用げっ歯類, 小型ウサギ, 鳥類, 魚類の一部, 爬虫類, 両生類 (魚類・両生類・爬虫類は脊髄破壊も併用)	不可逆的である。断頭後に激しい筋の収縮が起こりうる。
吸入麻酔薬	生命維持中枢の機能低下による低酸素症	大脳皮質, 皮質下部, 生命維持中枢の直接的抑制。	麻酔の効果はやや速いが, 導入時に興奮する可能性がある。	密閉容器を用いれば容易である。大動物はマスクで吸入させることができる。	作業者への曝露が最小限になるよう, 適切に排気や換気を行う必要がある。エーテルは爆発性があり, 曝露されれば非常に不	ヒト以外の霊長類, ブタ。エーテル・メトキシフルランは条件によっては, げっ歯類や小型哺乳類に許容される。	十分に曝露させれば非常に効果的である。

窒素, アルゴン	低酸素症	血液と結合可能な酸素分圧を減少させる。	速い。	密閉容器を使用し, 素早く気体を充填する。	快であろう。 換気しながら行えば安全である。	ネコ, 小型犬, 鳥類, げっ歯類, ウサギ, その他小動物, ミンク, 動物園動物, ヒト以外の霊長類, 自由生活を営む野生動物	幼若・新生動物を除き, 効果的ではあるが, 他の方法が望ましい。
脊髄破壊	生命維持中枢の機能低下による低酸素症, 脳の物理的損傷	脳と脊髄の組織を破壊する。	速い。	容易だが, 技術が必要。	安全である。	変温動物の一部	効果的だが, 脳と脊髄を破壊しなければ, すぐには死亡しない。

出典: 2000 Report of the AVMA Panel on Euthanasia (黒澤努訳) 抜粋

付表 4

不適切な安楽死法の手段（詳細は別紙 4 参照）

方法	コメント
空気栓塞	空気を栓塞させると痙攣や強直発作及び、鳴き声を生ずることがある。麻酔下の動物にのみ実施する。
頭部の強打	ほとんどの動物種で不適切である。
焼却	化学薬品や高温で動物を焼却することは、安楽死の手段として不適切である。
抱水クロラール	イヌ、ネコ、その他小動物には不適切である。
クロロホルム	肝毒性と発癌性があることが知られているため、作業者に対する危険性が非常に高い。
シアン化合物	作業者に対する危険性が非常に高く、感覚的に好ましくない。
減圧	減圧は欠点が非常に大きいため、安楽死法として不適切である。 (1)多くの容器は動物に最適と推奨される速度の 15 ~ 60 倍の速さで減圧するように設計されており、体腔内の気体の膨張による疼痛及び苦痛が生じる。 (2)幼若動物や新生動物では酸素欠乏状態に抵抗をもち、呼吸停止までに長時間の減圧を要する。 (3)誤って常圧に戻した場合、動物はダメージを受けながらも蘇生する。 (4)動物の意識が消失している状態で用いても、膨張、出血、嘔吐、痙攣、失禁及び脱糞が認められ、感覚的に不快である。
溺死	溺死させるのは安楽死ではなく、人道的でない。
放血	極度の失血による苦痛のため、放血は鎮静下、意識の消失下あるいは麻酔下の動物のみに実施する。
ホルマリン	安楽死の手段として動物を直接ホルマリンに浸漬するのは、人道的でない。
家庭用薬剤と溶剤	アセトン、四基化合物（四塩化炭素など）、緩下剤、丁子油（注 i）、ジメチルケトン、第 4 級アンモニウム塩（注 ii）、制酸剤、その他市販薬、家庭用薬剤あるいは溶剤などは安楽死には不適切である。
低体温	安楽死の手段として適切でない。
神経筋遮断薬（ニコチン、硫酸マグネシウム、塩化カリウム、すべての Ca 化合物）	単独で用いた場合、意識を消失する前に呼吸を抑制する。そのため運動能力を消失後に動物は疼痛及び苦痛を感じる。
急速冷凍	安楽死を目的にした急速冷凍は人道的な手段ではない。実施する場合には、冷凍する以前に麻酔が必要である。
ストリキニーネ	ストリキニーネは激しい強直と痛みを伴う筋収縮が起こる。
気絶	気絶とは動物の意識を消失させることで、安楽死の手段ではない。実施する場合は確実に死亡させる手段を併用する。
トリカインメタン スルフォネート (TMS, MS 222)	安楽死のため、食物に混入して用いるべきでない。

出典：2000 Report of the AVMA Panel on Euthanasia（黒澤努訳）抜粋

注 i：丁子の実や木から精製される芳香性の油脂で、香り付けや香油として使用するほか、歯痛の一時的な痛み止めにも用いられる。

注 ii：Roccal D Plus, Pharmacia & Upjohn, Kalamazoo, Mich