

救急・集中治療  
アドバンス

# 急性循環不全

専門編集●藤野裕士 大阪大学  
編集協力●坂田泰史 大阪大学

編集委員●藤野裕士 大阪大学  
松田直之 名古屋大学  
森松博史 岡山大学

中山書店

# 序

救急・集中治療領域における全身管理は多岐にわたるが、その中で循環管理は根幹をなす存在である。対象となる主たる病態はショックであるが、原因によって対処法は異なる。しかし適切な治療が行われなければ多臓器不全に至るのは同じである。ショックの原因は心疾患を代表とするポンプ機能障害と心疾患以外の原因によるものに分かれる。本書『急性循環不全』では、いずれの領域も診断、モニタリング、治療法と治療戦略に関して解説されている。

本シリーズの対象となる読者は救急・集中治療領域の医療関係者であるが、心疾患関連の知識はきわめて重要であるとともに、新しい治療法やエビデンスの蓄積が豊富かつ多岐にわたるため救急・集中治療領域の医師がすべてに精通することは難しい。それらに対応するために、大阪大学大学院医学系研究科循環器内科学の坂田泰史教授にご協力を仰ぎ、循環器内科の専門家を選定していただき、ポンプ機能障害の項目を執筆していただくことにした。近年、進歩が著しい補助循環に関しては、とくに重点をおくように配慮した。また救急・集中治療領域における主要病態の一つである敗血症に関しては、最新のガイドラインに基づく解説をお願いした。敗血症の循環管理はRiversらのearly-goal directed therapyの登場以後、各要素に関してさまざまな検討が行われることでガイドライン改定ごとに少しずつ変化している。日常的に敗血症患者を診療する読者においても知識の確認にお役立ていただければと思う。

本書の特長として、用語の解説を豊富に行い初学者や医師以外の職種の読者にも理解できるように心がけた。また記述の根拠となる参考文献を充実させることで、読者がさらに理解を深めることが可能となるように配慮した。内容に関連した基礎生理学・薬理学の項目も設けることで、本書の理解をいっそう助けるものと期待している。

編集にあたって原稿を通読させていただいたが、本シリーズの他領域とひけを取らない素晴らしい内容であると確信している。読者が本書を通読することで最新の知識を得て循環管理に関する理解を深め、日常臨床の質向上につながることを祈念している。

2019年4月

藤野裕士

大阪大学大学院医学系研究科生体統御医学講座麻酔・集中治療医学教室教授



# Contents

## 1章 定義と診断

### 1-1 循環不全の定義と診断 ..... 橋本壮志, 天谷文昌 2

1 循環の生理学的意義 2 / 2 循環不全ならびにショックの定義 2 / 3 ショックの定義の変遷 3 / 4 循環不全の診断 4

### 1-2 急性循環不全の病態 ..... 松田直之 9

1 急性循環不全の病態の基本 9 / 2 急性循環不全を誘導する4つの病態 9 / 3 ずり応力に依存した血管径調節作用 11 / 4 急性循環不全における虚血領域の血管拡張反応の病態 12 / 5 急性循環不全における心機能抑制の病態 14 / 6 急性循環不全に伴伴する全身性病態 17

Column  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ 交換系 (NCX) 16

### 1-3 急性循環不全の重症度評価 ..... 高橋一則, 中根正樹 22

1 初期評価 22 / 2 それぞれの病態に対する重症度評価 23

Column ショック症状をきたさない低血圧 29

## 2章 診断補助

### 2-1 モニタリング総論 ..... 森松博史, 松崎 孝, 廣井一正 32

1 画像診断 32 / 2 生理学的検査/血液検査 34 / 3 血管内デバイス 36

### 2-2 胸部X線 ..... 立木規与秀, 安宅一晃 37

1 臥位撮影での注意点 37 / 2 心原性における所見 38 / 3 循環血液量減少性における所見 41 / 4 閉塞性における所見 42

### 2-3 心電図 ..... 水野裕八 44

1 モニター誘導と標準12誘導 44 / 2 基本パラメータの把握 45 / 3 緊張性の高い心電図と注意すべき心電図変化 47 / 4 注意すべき心電図 48 / 5 心電図に影響を与える病態 49

**Column** Cabrera format 49

**Column** 12誘導心電図から心室性不整脈の起源を同定する 50

## 2-4 血液ガス分析 ..... 藤野裕士 52

**1** 血液ガス分析の実際 52 / **2** 体外循環におけるPaCO<sub>2</sub>管理 55

## 2-5 心エコー ..... 山田 聡 57

**1** 心エコー法の役割 58 / **2** 左室収縮機能と1回拍出量の評価 59 / **3** 左室拡張機能と左室充満圧の評価 60

**Advice** 初期の心エコー検査の適応 58

**Topics** ASEによる左室拡張機能評価のアルゴリズム 61

## 2-6 CT ..... 小山靖史, 林 祐作 66

**1** CT検査で行う triple rule out 66 / **2** 急性大動脈解離の診断 66 / **3** 急性肺血栓塞栓症の診断 70 / **4** 急性心筋梗塞の診断 71

## 2-7 心臓カテーテル検査 ..... 小林欣夫, 立石和也 73

**1** 冠動脈造影検査 73 / **2** 右心カテーテル検査 80 / **3** 心筋生検 81

**Column** door-to-balloon time 76

**Column** 抗血小板薬のローディング 77

**Column** CULPRIT-SHOCK試験 77

## 2-8 バイオマーカー ..... 佐藤幸人 82

**1** 心筋梗塞診断における心筋トロポニンT, 心筋トロポニンI測定 82 / **2** 急性心不全診断におけるBNP, NT-proBNP測定 83 / **3** 肺動脈血栓塞栓症診断におけるD-ダイマー測定 85 / **4** 急性心不全の治療経過におけるバイオマーカーの推移 86

**Advice** バイオマーカーの一般的注意 84

## 2-9 心拍出量モニター ..... 小竹良文 89

**1** 急性循環不全の原因鑑別とモニタリング 89 / **2** 動脈圧波形解析法の原理 89 / **3** 酸素需給バランスの指標としての静脈血酸素飽和度 91 / **4** モニターから得られる指標に基づいた輸液蘇生 91

**Topics** プロトコール化された輸液蘇生 90

**Column** 肺動脈カテーテル 90

**Topics** 呼気終末閉塞テスト 95

## 3章 症状・疾患における病態と治療

### [1. ショック]

#### 3-1-1 閉塞性・拘束性ショック ..... 京 道人, 志馬伸朗 98

1 定義 98 / 2 閉塞性・拘束性ショックの病態 98 / 3 閉塞性・拘束性ショックの身体所見 100 / 4 閉塞性・拘束性ショックの検査所見 102 / 5 鑑別 104 / 6 閉塞性・拘束性ショックの治療 104

**Column** 肺血栓塞栓症の否定 101

#### 3-1-2 出血性ショック ..... 浅香葉子, 瀬尾龍太郎 110

1 定義 110 / 2 出血性ショックの身体所見 111 / 3 出血性ショックの検査所見 113 / 4 鑑別, 原因疾患 116 / 5 出血性ショックの治療 116

**Topics** トロンボエラストグラフィー (TEG®), トロンボエラストメトリー (ROTEM®) 114

#### 3-1-3 心原性ショック ..... 大塚将秀 122

1 定義 122 / 2 心原性ショックの病態 122 / 3 心原性ショックの身体所見 124 / 4 心原性ショックの検査所見 125 / 5 鑑別 126 / 6 心原性ショックの原因疾患 127 / 7 心原性ショックの治療 128

#### 3-1-4 敗血症性ショック ..... 赤塚正幸, 升田好樹 129

1 敗血症性ショックの病態 129 / 2 敗血症性ショックの治療 132 / 3 今後の展望 136

#### 3-1-5 アナフィラキシーショック ..... 大藤 純 138

1 定義と診断基準 138 / 2 アナフィラキシーショックの病態生理 138 / 3 アナフィラキシーショックの身体所見 140 / 4 アナフィラキシーショックの検査所見 142 / 5 アナフィラキシーショックの治療 143 / 6 症例提示 146

**Column** Kounis 症候群 140

**Column** Bezold-Jarisch 反射 142

#### 3-1-6 神経原性ショック ..... 土井賢治, 武居哲洋 148

1 定義 148 / 2 神経原性ショックの病態 149 / 3 神経原性ショックの原因 149 / 4 神経原性ショックの診断 149 / 5 神経原性ショックの治療 152

#### 3-1-7 産科ショック ..... 安田則久, 後藤孝治 155

1 産科ショックと妊産婦死亡の発生状況 155 / 2 産科ショックをきたす疾患 155 / 3 産科DIC 160 / 4 産科危機的出血への対応 161

**3-1-8 内分泌疾患によるショック** ..... 高橋 完 164

- 1** 甲状腺クリーゼ 164 / **2** 粘液水腫性昏睡 166 / **3** 急性副腎不全 (副腎クリーゼ) 169  
/ **4** 高血糖緊急症 171

**Column** 副腎クリーゼと胃腸炎 170

**[2. 重症心疾患]**

**3-2-1 虚血性心疾患** ..... 澤田賢一郎, 川上将司, 安田 聡 174

- 1** 急性冠症候群 174 / **2** 心原性ショックを合併する急性冠症候群 180 / **3** 急性心筋梗塞に合併する機械的合併症 181 / **4** 右室梗塞 183

**Column** PCI vs CABG 180

**Column** 肺動脈カテーテル 182

**3-2-2 非虚血性心筋症** ..... 坂田泰史, 余西智香 186

- 1** 主な非虚血性心筋症 186 / **2** 非虚血性心筋症の診断 186 / **3** 非虚血性心筋症の治療 188

**3-2-3 重症不整脈** ..... 野上昭彦 193

- 1** 重症心室性不整脈の病態 193 / **2** 重症心室性不整脈の検査 196 / **3** 重症心室性不整脈の治療 197

**Column** アブレーション施行群と非施行群の無作為化比較試験 200

**3-2-4 劇症型心筋炎** ..... 猪又孝元 202

- 1** 劇症型心筋炎の病態 202 / **2** 劇症型心筋炎の診断 203 / **3** 劇症型心筋炎の治療 204

**Column** 心筋炎の定義と疾患概念のズレ 202

**3-2-5 たこつぼ症候群** ..... 明石嘉浩 207

- 1** たこつぼ症候群の診断基準 207 / **2** たこつぼ症候群の病態 207 / **3** たこつぼ症候群の症状と検査所見 210 / **4** たこつぼ症候群の治療 211 / **5** たこつぼ症候群の予後 213

**4章 治療選択**

**4-1 呼吸管理** ..... 内山昭則 218

- 1** 右心機能と呼吸 218 / **2** 陽圧換気と胸腔内圧 221 / **3** 肺水腫とPEEP 223 / **4** 左心不全とPEEP 224 / **5** 非侵襲的陽圧換気 (NPPV) 225 / **6** 侵襲的呼吸管理 225 / **7** 換気量の設定をどうするか? : 肺保護換気について 226 / **8** 人工呼吸からのウィーニングと循環 226

<b>4-2 カテコラミン</b> .....	松本聡治朗, 原 哲也	228
<b>1</b> カテコラミンの生合成および代謝	228 / <b>2</b> カテコラミンの生理作用	229 / <b>3</b> 各種カテコラミン
232 / <b>4</b> 薬物-受容体相互作用	236 / <b>5</b> PDE-III阻害薬	236
<b>Column</b> カテコラミンとPDE-III阻害薬		237
<b>4-3 輸液療法</b> .....	渡邊誠之, 讀井將満	238
<b>1</b> 初期輸液の考え方	238 / <b>2</b> 輸液製剤の選択	238 / <b>3</b> 輸液の生理学
242 / <b>4</b> 輸液方法		244
<b>4-4 IABP：導入と管理のポイント</b> .....	那須崇人, 森野禎浩	249
<b>1</b> 背景	249 / <b>2</b> IABPの原理	249 / <b>3</b> IABPの導入：適応
251 / <b>4</b> IABPの禁忌		252 / <b>5</b> 管理上のポイント
252 / <b>6</b> IABPの離脱		254
<b>4-5 ECMO：導入と管理のポイント</b> .....	竹田晋浩, 大山慶介	256
<b>1</b> ECMOの適応	257 / <b>2</b> VA-ECMOの導入方法	257 / <b>3</b> 導入時の3段階
258 / <b>4</b> 導入後	262 / <b>5</b> VA-ECMO特有の合併症	263 / <b>6</b> 離脱
264 / <b>7</b> IMPELLA		265
<b>Topics</b> PCPSとVA-ECMO		256
<b>Column</b> Dirty double		259
<b>Column</b> 鼠径部の穿刺		260
<b>Column</b> 各社カニューレの特徴		261
<b>4-6 補助人工心臓：導入と管理のポイント</b> .....	絹川弘一郎	267
<b>1</b> 体外設置型VADの適応	267 / <b>2</b> 体外設置型VAD挿入後の予防的管理	269 / <b>3</b> 心機能回復への試み
272		
<b>Column</b> LVAD装着後のリバースリモデリングとは？		274
<b>4-7 一時ペーシングとペースメーカー植込み</b> .....	石川利之	275
<b>1</b> 一時ペーシング	275 / <b>2</b> 永久ペースメーカー植込み	277
<b>Column</b> 生理的ペースメーカーと非生理的ペースメーカー		275
<b>4-8 植込み型除細動器 (ICD)・着用型自動除細動器 (WCD)</b> .....	庭野慎一	281
<b>1</b> 器質的疾患を有する症例の突然死リスクとICD	281 / <b>2</b> 急性期病態における突然死リスクと除細動デバイス	284 / <b>3</b> 着用型自動除細動器 (WCD) とその適応
286		
<b>Column</b> 突然死の一次予防と二次予防の疫学		283
<b>Column</b> 心筋梗塞発症後早期のICD使用		286

**4-9 輸血** ..... 大田典之 289

**1** 輸血の危険性 289 / **2** restrictive strategy (制限輸血), liberal strategy (非制限輸血)の是非 290 / **3** 大量輸血 293

**4-10 利尿薬** ..... 内田篤治郎 296

**1** ループ利尿薬 296 / **2** 抗アルドステロン薬 298 / **3** サイアザイド系利尿薬 299 / **4** ヒト心房性ナトリウム利尿ペプチド (hANP) 300

**Column** 利尿薬への抵抗性を形成する要因 298

**Topics** 敗血症における急性腎障害とバソプレシン 301

**4-11 心筋保護薬** ..... 奥村貴裕 302

**1** 心筋保護薬とは 302 / **2** 左室駆出率からみた心不全の分類とリバースリモデリング 302 / **3** 心筋保護薬のエビデンス 303 / **4** 服薬遵守の重要性 308 / **5** 心筋保護薬使用のタイミング, コツとピットフォール 309 / **6** HFpEFに対する心筋保護薬のエビデンス 309

**4-12 抗血小板薬・抗凝固薬** ..... 奥山裕司 311

**1** 抗血小板薬・抗凝固薬の作用機序 311 / **2** 急性循環不全を呈する病態での使用法 311 / **3** 抗血小板薬・抗凝固薬内服中の出血への対処法 316

**4-13 抗不整脈薬** ..... 池田隆徳 319

**1** 抗不整脈薬の分類と種類 319 / **2** 抗不整脈薬の作用機序 319 / **3** 抗不整脈薬の使用目的 320 / **4** 抗不整脈薬の適応疾患 322 / **5** 各薬剤の使用ポイント 322 / **6** 併用療法 324 / **7** 抗不整脈薬の副作用 325 / **8** 禁忌疾患 325

**Column** Naチャンネル遮断薬とKチャンネル遮断薬の作用の違い 321

**Column** 発作性心房細動に対する停止法としての“pill-in-the-pocket” 322

**Advice** 抗不整脈薬の排泄経路と主な副作用 324

**4-14 ステロイド** ..... 江木盛時 326

**1** 急性循環不全におけるステロイド 326 / **2** 敗血症に対するステロイド療法 326 / **3** 敗血症性ショック患者すべてにステロイドを使用すべきか? 330 / **4** 敗血症性ショックに対するステロイド投与に関し不明確な事項 331

**索引** ..... 334

# 3-1-3 心原性ショック

## 1 定義

- 心原性ショック (cardiogenic shock) とは、心臓のポンプ機能低下で生じるショックをいう。心筋そのものの収縮力が低下した場合だけでなく、不整脈、弁疾患、シャント性心疾患などのために全身への有効な心拍出量が得られない病態も広く含める (表1)。
- 不整脈が原因のものには、一回拍出量は保たれていても徐脈のために1分あたりの心拍出量が減少する場合、頻脈や期外収縮のために心室の充満時間が確保できず一回拍出量が減少する場合、心臓全体として統合された収縮がない心室細動などがある。
- 弁疾患には、狭窄のために血液が駆出できない場合と弁逆流のため一度駆出した血液が逆流する場合がある。
- シャント性心疾患とは、心室中隔穿孔や心室中隔欠損症などのように正常以外の経路でも血液が流れるために大動脈への拍出量が減少することをいう。一部の先天性心疾患のように、大血管や心臓の発生異常で正常の循環経路が形成されていない場合もある。

## 2 心原性ショックの病態 (図1)

- 他のショックと同様に、末梢組織への血流が減少する。全身の細胞は低酸素症を呈し、好気性代謝は抑制される。嫌気性代謝は亢進するが、細胞内エネルギーレベルは低下する。細胞および組織の活動は低下し、長引けば細胞壊死・臓器不全となる。
- 他の多くのショックと異なって心原性ショックで特徴的なことは、心臓の前負荷が増加することである。直接的な原因は、心室からの拍出量が減少して心房・大静脈に血液がうっ滞することにあるが、体内への二次的な水分貯留も大きく関与している。
- 血圧の低下は交感神経の興奮度を高め、末梢の動脈を収縮させて血圧を維持するとともに心収縮力増強と心拍数増加で心拍出量を増加させるように働く。腎動脈の灌流圧低下および交感神経刺激は傍糸球体細胞からのレニン分泌を増加させる。レニン活性の上昇は、アンジオテンシノーゲンからアンジオテンシンIへの変換を促進する。アンジオテンシンIは、肺循環系の内皮細胞表面にあるアンジオテンシン変換酵素の作用でアンジオテンシンIIとなる。アンジオテンシンIIには強力な血管平滑筋収縮作用があるので、末梢組織の細動脈収縮はより顕著となる。同時にアンジオテンシンIIは副腎皮質球状層でのアルドステロン分泌を促進し、遠位尿細管でのナトリウムと水の再

表1 心原性心不全の分類

心筋収縮力低下
不整脈
<ul style="list-style-type: none"> <li>●徐脈</li> <li>●頻脈・期外収縮</li> <li>●心室細動</li> </ul>
弁疾患
<ul style="list-style-type: none"> <li>●弁狭窄</li> <li>●弁逆流</li> </ul>
シャント性心疾患
<ul style="list-style-type: none"> <li>●心室中隔穿孔</li> <li>●先天性心・大血管疾患</li> </ul>

### ここがポイント!

心原性ショックの特徴は、ポンプ機能低下による前負荷増大と体内への水分貯留

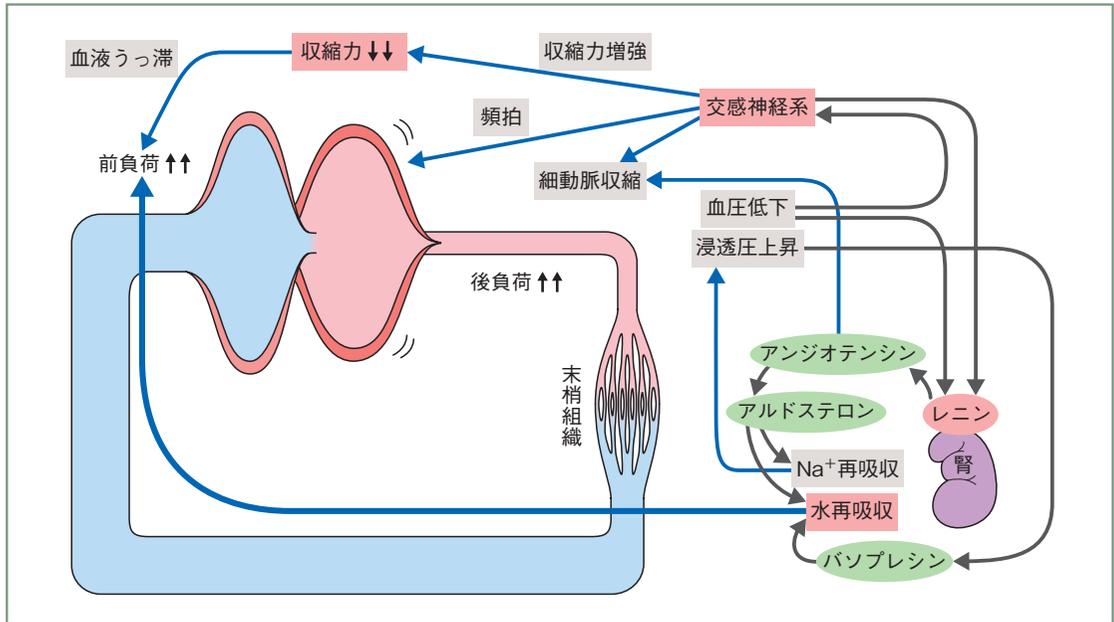


図1 心原性ショックの病態

左室のポンプ機能低下と、それに伴う前負荷の増大・体内水分貯留が特徴である。

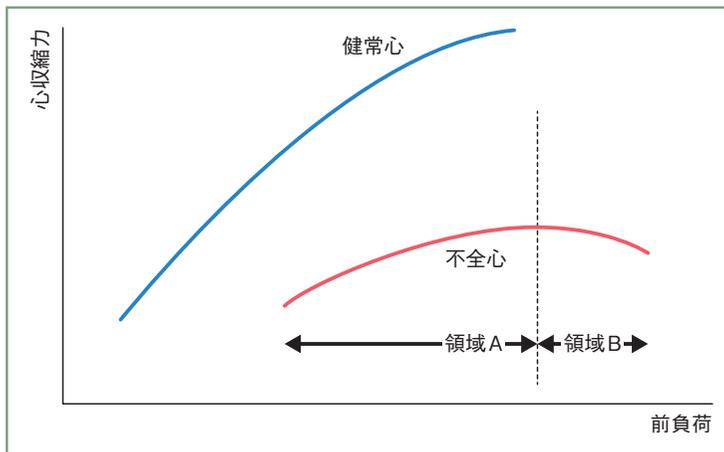


図2 Frank-Starling曲線と心不全の関係

横軸は左室前負荷、縦軸は心収縮力を表す。健常心に比べて不全心では曲線が右下方に偏移する。不全心でも、Aの領域では前負荷に応じて心収縮力が増す領域で、代償性心不全とよばれる。Bの領域は前負荷が増すと心収縮力が低下する領域で、非代償性心不全とよばれる。

吸収を増加させる。ナトリウム再吸収で上昇した血清浸透圧は抗利尿ホルモン分泌を刺激し、腎の集合管および遠位尿細管での自由水再吸収を増加させる。これらの結果、心拍出量減少・前負荷増大・末梢血管収縮(後負荷増大)・体液貯留(循環血液量増加)の病態が完成する。

- 一般に、筋細胞は収縮直前の線維長が長いほど収縮力が強くなる。これは心筋細胞も例外ではなく、心筋の線維長が長いほど、つまり収縮直前の左室容量が大きい(前負荷が大きい)ほど心収縮力は大きくなる(図2の領域A)。心拍出量減少で水分貯留が促進される機序は、この点で目的性をもった生体の適応反応といえる。しかし、過剰な心拡大は逆に心収縮力の低下を招く

▶1章「1-3 急性循環不全の重症度評価」図2(p.25)も参照

表2 心原性ショックの身体所見

心拍出量減少に伴うもの	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 血圧低下</li> <li>• 脈圧減少</li> <li>• 毛細血管再充満時間の延長</li> <li>• 尿量減少</li> <li>• 意識レベル低下</li> </ul>
交感神経系の活動亢進に伴うもの	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 頻脈, 不整脈</li> <li>• 末梢冷感, 中心-末梢温度較差増加</li> <li>• 冷汗</li> </ul>
うっ血・水分貯留に伴うもの	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 頸静脈怒張</li> <li>• 心拡大</li> <li>• 全身浮腫</li> <li>• 肝腫大</li> <li>• 胸水貯留</li> <li>• 肺水腫: 湿性ラ音, チアノーゼ, 泡沫状痰, 呼吸困難, 努力呼吸</li> <li>• 起座呼吸</li> </ul>

(図2の領域B). この状態になってもレニン・アンジオテンシン・アルドステロン系は水分貯留を促進し続けるため, さらに前負荷が増大して心収縮力の減弱を加速するという悪循環に陥る. この状態を「非代償性心不全」という. これに対して, 心収縮力は低下しているが前負荷は図2の領域Aにあるものを「代償性心不全」という. 非代償性心不全になると循環動態を自ら維持することは不可能で, 治療介入が必須となる.

### 3 心原性ショックの身体所見

- 心原性ショックの病態は, 心拍出量の減少とそれに伴う交感神経系活動の亢進, うっ血, 水分貯留なので, それらに応じた身体所見が観察される(表2). 心拍出量減少と交感神経系活動の亢進は他の多くのショックと共通するが, うっ血や水分貯留など前負荷増加に起因した所見は心原性ショックと閉塞性・拘束性ショックに特徴的である.
- まず, 重症の非代償性心不全患者は臥位より座位を好む. 座位のほうが腹部や下肢に血液が集まるため心臓の前負荷が減少して心拍出量が増加するからで, これを起座呼吸という. 起座呼吸は非代償性心不全以外にも呼吸不全でみられる. ショックが進行して血圧低下が著しくなると, 頭部の挙上は脳灌流圧を減少させるため, 起座呼吸は明らかでなくなる.
- バイタルサインなどの全身所見では, 心拍数は増加して脈は微弱となり, 脈圧は減少する. 収縮期血圧も低下するが, 初期には交感神経系の活動亢進で低下しないこともある. 呼吸数は増加して呼気ポーズ★1が消失する促進呼吸となり, 呼吸補助筋を使用した努力呼吸となる. 肺水腫が進行すれば経皮的動脈血酸素飽和度(SpO<sub>2</sub>)が低下する. 心原性ショックそのもので体温が上昇することはないが, 原因が感染性心内膜炎の場合には発熱を認める. 精神状態では興奮・不安・不穏・せん妄がみられることもあり, 重症化すると意識レベルが低下する.

#### ★1 呼気ポーズ

呼気の呼出後, 次の吸気が開始されるまでの期間をいう. 通常, この時間の長短で呼吸回数が調節される.

▶ SpO<sub>2</sub>:  
percutaneous arterial oxygen saturation

表3 心原性ショックの検査所見

心拍出量減少に伴うもの	<ul style="list-style-type: none"> <li>代謝性アシドーシス</li> <li>血清乳酸イオン濃度の上昇</li> <li>心拍出量減少(超音波検査, 肺動脈カテーテル)</li> <li>混合静脈血酸素飽和度低下</li> <li>上大静脈血酸素飽和度低下</li> <li>心収縮力低下, 心拡大, 左室駆出率低下</li> </ul>
交感神経系の活動亢進に伴うもの	<ul style="list-style-type: none"> <li>洞性頻拍, 頻拍性不整脈</li> <li>脈圧減少</li> <li>中心-末梢温度較差増加</li> </ul>
うっ血・水分貯留に伴うもの	<ul style="list-style-type: none"> <li>中心静脈圧上昇</li> <li>肺動脈拡張期圧上昇, 肺動脈楔入圧上昇</li> <li>心胸郭比上昇, 胸水, 肺水腫</li> </ul>
原疾患によるもの	<p>[虚血性心疾患の場合]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>心電図異常: ST-T変化, QRS変化, 不整脈, 分節性の心収縮異常</li> <li>BNP上昇</li> <li>血清トロポニン値上昇, 心筋逸脱酵素値上昇</li> </ul> <p>[弁膜症の場合]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>弁逆流, 弁狭窄</li> <li>BNP上昇</li> </ul>

BNP: 脳性ナトリウム利尿ペプチド。

- 頸部では外頸静脈の怒張が目立つ。軽症の場合は臥位のみでみられる所見だが、重症化すると座位でも視認できる。
- 胸部では、打診で心拡大と肝濁音界の頭側への移動を認める。肝濁音界の移動は胸水貯留や肝腫大による。肺水腫を伴えば全肺野でcoarse crackleが聴取される。心不全の原因が弁膜症の場合は、原疾患に起因する心雑音が聴取される。
- 腹部では肝腫大を認め、腸管の浮腫をきたせば腸蠕動音の低下・消失を認めることもある。
- 四肢では、交感神経系の活動亢進に伴って末梢冷感が著しくなり、冷汗すなわち精神性発汗を認める。毛細血管再充満時間は延長し、下腿に浮腫を認める。末梢のチアノーゼがしばしば観察され、肺水腫が進行すればチアノーゼは全身性となる。

## 4 心原性ショックの検査所見

- 検査でも、心拍出量の減少とそれに伴う交感神経系活動の亢進、うっ血・水分貯留に応じた所見を呈する(表3)。

### a—血液ガス分析

- 代謝性アシドーシスがみられる。エネルギーレベル低下でアデノシン三リン酸が分解されて水素イオンを生じること、ミトコンドリアの酸素欠乏で水素イオンが処理されないことによる。
- 乳酸イオン濃度が測定できれば、値の上昇を認める。これは、ミトコンドリ

# 4-4 IABP：導入と管理のポイント

## 1 背景

- IABP (intra-aortic balloon pumping) とは大動脈内バルーンパンピングのことをさす。バルーンカテーテルを患者の胸部下行大動脈に留置し、心臓の拍動に同期してバルーンを拡張・収縮させることで心臓の圧補助を行う補助循環装置である。駆動装置の自動化やIABPカテーテル細径化による挿入合併症率の減少もあり、日本で年間2万件以上駆動されている。現在、治療抵抗性のある急性心不全や心原性ショックを併発した冠動脈疾患に対し、最も使用頻度の高い機械的補助循環装置として多くの施設で使用されている。

## 2 IABPの原理

- IABPの効果は、diastolic augmentation (拡張期におけるバルーン拡張) と systolic unloading (収縮期直前におけるバルーン収縮) によるもので、圧補助である(図1)。ここでは各々の効果を解説する<sup>1)</sup>。

### a— diastolic augmentation：拡張期におけるバルーン拡張

- 一般にIABPを要する急性循環不全では、他臓器灌流が低下すると同時に冠血流の低下を併発し、心筋虚血状態に陥っている。IABPは拡張期にバルーンを急速拡張させることで拡張期血圧を上昇させる。冠血流の大部分は拡張

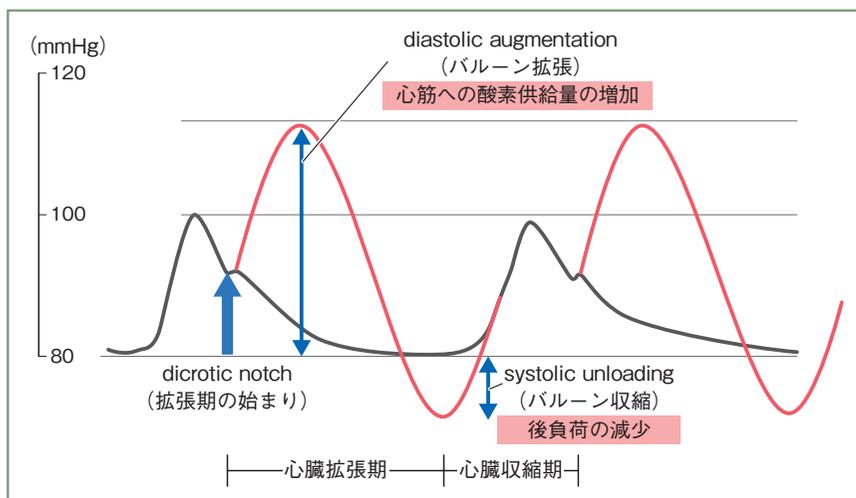


図1 IABPの圧波形

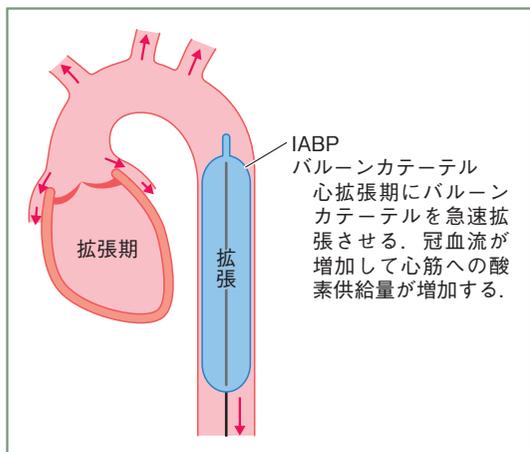


図2 diastolic augmentationの原理



図3 ドップラー法で確認された冠血流の違い  
a: IABP補助なし, b: IABP 2:1 (黄色丸: IABP駆動時).

期に流れるため、冠血流が増加し心筋への酸素供給量が増加する。また平均大動脈圧を上昇させることで臓器灌流を増加させることができる(図2)。実際の冠血流をドップラー心臓超音波検査で測定した波形を図3に示す。明らかにIABP駆動時に冠血流が増加していることが確認できる。

### b—systolic unloading：収縮期直前におけるバルーン収縮

- 心収縮直前にバルーンを収縮させることで後負荷を低下させ、心筋酸素消費量を減少させる(図4)。
- IABPは圧補助であり流量補助としては効果が少ないため、導入後に血行動態が改善しない場合は補助循環用ポンプカテーテル(IMPELLA)や体外式膜型人工肺(ECMO)・心室補助人工心臓(VAD)が必要となる。その判断が遅くなってはならない。

▶ECMO :  
extracorporeal membrane  
oxygenation

▶VAD :  
ventricular assist device

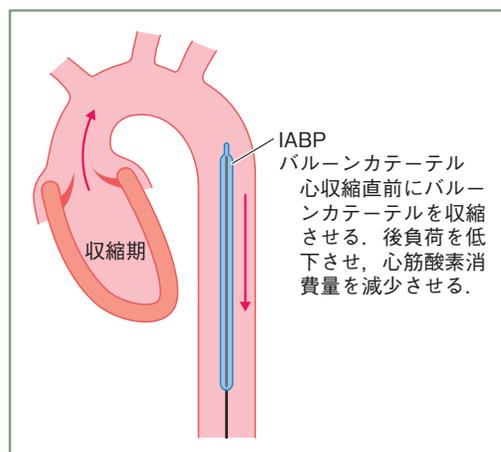


図4 systolic unloadingの原理

表1 INTERMACS分類

INTERMACS profile	
1	重症心原性ショック
2	進行性衰弱
3	強心薬依存で安定
4	安静時症状あり
5	運動不耐容あり
6	軽労作可能
7	安定

IABPは1, 2の重症心不全に対して適応がある。

(Stevenson LW, et al. J Heart Lung Transplant 2009; 28: 535-41<sup>3)</sup>より抜粋)

### 3 IABPの導入：適応

- IABPの適応は一般に心原性ショック，治療抵抗性心不全，劇症型心筋炎，治療抵抗性不安定狭心症，心筋梗塞後機械的合併症，ハイリスクな経皮的冠動脈形成術に対する圧補助というように，低灌流の改善または冠血流の維持と考えてよい。臨床試験ではIABP-SHOCK II試験において，IABPの使用によって急性心筋梗塞による心原性ショックの予後が改善しなかったという報告<sup>2)</sup>があり，ルーチンによる使用は推奨されていないが，前述の作用機序から心原性ショックを伴う冠動脈疾患にとくに効果的であると考えられている。
- 2018年に改訂された「急性・慢性心不全診療ガイドライン(2017年改訂版)」ではINTERMACS/J-MACS分類(表1<sup>3)</sup>)のprofile 1・2に属する重症心不全に対して適応があるとされている<sup>4)</sup>。ただし，IABP-SHOCK II試験をはじめとした臨床試験でIABPの優位性が証明されていないにもかかわらず，IABPが現在使用されている背景として心原性ショックに対して簡便に導入できる機械的補助装置がIABP以外にないことが考えられる。今後，IMPELLAを含むその他の補助循環装置が普及した際にはIABPの適応が変わる可能性があり，エビデンスの集積が待たれる。
- 導入を検討する臨床的指標として尿量<0.5mL/時/kgまたは末梢循環不全を示唆する所見(四肢冷感・チアノーゼ)，血行動態的指標では収縮期血圧<80mmHg，肺動脈楔入圧>20mmHg，心係数<2.0L/分/m<sup>2</sup>とされているが，実臨床では患者の病態に合わせて早期に導入されることもしばしばある。
- ただし，IABPには限界があることを忘れてはならない。圧補助で心拍出量は10~20%程度の増加しか見込めず，血行動態が改善しない場合にはすみやかにECMO/VADへの移行を検討するべきである。

#### ここがポイント!

IABPは心原性ショックを伴う冠動脈疾患にとくに効果的である

#### ここに注意!

IABPには限界があり，血行動態が改善しなければすみやかにPCPS/VADへ移行する

## 4 IABPの禁忌

- IABPは補助循環装置の中では比較的容易に導入が可能であるが、以下に禁忌を記す。

### ● 胸腹部大動脈瘤

- 穿刺部から中枢側に大動脈瘤を認める場合はカテーテル挿入による瘤の破裂リスクが非常に高いため禁忌となる。また、バルーンの拡張・収縮によって大動脈壁の応力が変化し、カテーテル挿入が可能であったとしても破裂リスクが上がるため、ステントグラフト挿入後も同様に禁忌と考えるのが妥当である。

### ● 大動脈解離

- IABP駆動によって解離腔が進展する可能性が高いため禁忌とされている。

### ● 閉塞性動脈硬化症/大動脈蛇行

- バルーンカテーテルが通過できず、無理に挿入することで穿孔の危険が高いことから禁忌となる。また、高度な閉塞性動脈硬化症の場合、挿入に成功したとしても穿刺側の下肢虚血を認めることがあり注意が必要である。

### ● 高度な凝固異常

- 高度な凝固異常は穿刺部からの出血を引き起こすため、原則禁忌である。

### ● 高度な大動脈弁閉鎖不全症

- 高度な大動脈弁閉鎖不全症がある場合、IABP使用下では拡張期に左室に血液が逆流するため冠血流が増加せず、左室拡張期圧が上昇するため左室仕事量の増加と酸素消費量の増加により心負荷となる。どの程度の大動脈弁閉鎖不全症が禁忌となるかについて明確な基準はなく、実臨床ではそれぞれのケースに委ねられているのが実情である。

## 5 管理上のポイント

### a—バルーン拡張・収縮のタイミング

- いつバルーンを拡張させ、いつ収縮させるかで大きく効果が変わってくる。大動脈弁の閉鎖時に拡張期へ移行するため、このタイミングでのバルーン拡張が望ましい。大動脈弁閉鎖によって動脈圧が一時的に上昇するタイミング(dicrotic notch)に拡張を合わせるとよい。

### ● 拡張が早すぎる場合

- 大動脈弁の閉鎖前にバルーンが拡張しており、dicrotic notchよりも前にdiastolic augmentationが開始となる(図5)。大動脈弁の早期閉鎖の可能性があり、左室拡張終期容積(LVEDV)、左室拡張終期圧(LVEDP)、肺毛細管楔入圧(PCWP)の上昇の可能性がある。左室壁ストレス、後負荷の増加と大動脈弁逆流の増悪、それに伴う心筋酸素需要量の増加を認める。アシスト比を1:1でIABPを駆動するとdicrotic notchを確認することが難しいこともあるので、2:1で駆動することでdicrotic notchの位置を確認できる。

#### ここポイント!

IABPバルーン拡張のタイミングはdicrotic notchに合わせる

▶LVEDV :  
left ventricular end-diastolic volume

▶LVEDP :  
left ventricular end-diastolic pressure

▶PCWP :  
pulmonary capillary wedge pressure