

臨床 麻醉 科学書

Clinical Anesthesiology

監修

森田 潔 岡山大学名誉教授

編集

川真田樹人 信州大学教授

齋藤 繁 群馬大学教授

佐和貞治 京都府立医科大学教授

廣田和美 弘前大学教授

溝渕知司 神戸大学教授

中山書店

まえがき

近年の麻酔科学の進歩は驚くほど速く、10年前の麻酔と現在の麻酔は全く異なるものと言ってよいほどです。麻酔科医として医療に携わる人は、この日々進化する麻酔科学の知識、技術を常に学び続ける必要があります。

昨今、その新しい知識・技術を習得するための、マニュアル的な書籍は数多く出版されています。しかしいわゆる成書と呼べるような、臨床麻酔科学の基本を網羅した日本語の教科書は見当たりません。麻酔科医は進歩の速い最新の知識をアップデートするだけではなく、基礎的な内容の学習もおろそかにはできません。今、すべての麻酔科医が一読すべき、臨床麻酔科学の教科書が求められています。

本書は、臨床麻酔科学の成書を作成する目的のもと企画されました。日常の臨床麻酔の指針となる必携書として位置づけ、基礎から現在の最新知見を遺漏なく集成し、研修医・専攻医から専門医に至る麻酔科で働くすべての医師にとって有益となる、日本人が書いた教科書の決定版をつくることを目指し、このたび発刊の運びとなりました。

編集に当たっては、編集委員の間で議論を重ね、麻酔科医が知っておくべき生理学、薬理学などの基礎分野から、日常臨床で遭遇する場面を網羅するというコンセプトで内容を構成しました。現役の麻酔科医に読んでいただきたいのはもちろんのこと、医学生や初期研修医、専攻医には、医師の基礎学習用教材として活用していただきたいと思います。

執筆者には、現在の麻酔科学で臨床的にも学術的にもその領域で日本を代表する方々を選ばせていただきました。執筆者の皆様のご努力とご協力で、素晴らしい成書が完成したことに心から感謝申し上げます。

本書が、日本の臨床麻酔を担う方々の一助となり、日本の麻酔科学の発展、さらには日本における安全、安心な周術期医療の提供につながることを心から願っています。

2022年5月

岡山大学名誉教授
川崎医科大学特任教授

森田 潔

目次 *contents*

まえがき	iii
執筆者一覧	xiv

1章 総論 1

1.1 麻酔とは	萩平 哲	2
1.1.1 区域麻酔 (Regional Anesthesia)		2
1.1.2 全身麻酔 (General Anesthesia)		2
1.1.3 現代の麻酔管理		4
1.2 麻酔科学の歴史	松木明知	5
1.2.1 日本の歴史		5
1.2.2 外国の歴史		9
1.3 周術期における麻酔科医の役割	江木盛時	14
1.3.1 麻酔担当者としての麻酔科医		14
1.3.2 集中治療医としての麻酔科医		16
1.3.3 ペインクリニシャンとしての麻酔科医		17
1.4 周術期患者安全の向上	小林 求	18
1.4.1 麻酔科学における患者安全に関するヘルシンキ宣言		18
1.4.2 WHO 手術安全チェックリスト		20
1.4.3 周術期管理チーム		21
1.5 麻酔科学研究の現状と今後	廣田和美	27
1.5.1 麻酔科学研究の現状		27
1.5.2 麻酔科学研究の今後の展望		29

2章 生理学 31

2.1 意識・記憶と麻酔		32
2.1.1 覚醒と意識消失の生理	相川勝洋	32
2.1.2 記憶と認知の生理	河野 崇	36
2.2 脳生理	石田裕介	41
2.2.1 脳循環・脳代謝と麻酔薬の影響		41
2.2.2 中枢神経の生理		43
2.3 神経生理・疼痛生理	田中 聡, 石田高志	49
2.3.1 自律神経の生理		49
2.3.2 疼痛の生理		52

2.4	循環生理	重見研司	58
2.4.1	心周期・電気的物理的心機能		58
2.4.2	心収縮の生理と病態生理		63
2.4.3	抵抗血管と容量血管からみた全身循環		64
2.4.4	LVPVRと循環モデルの統合		68
2.4.5	おわりに		69
2.5	呼吸生理	磯野史朗	70
2.5.1	内呼吸と外呼吸		70
2.5.2	換気と酸素化のための呼吸調節機構		73
2.5.3	換気と酸素化のための呼吸効果器		77
2.5.4	上気道生理		78
2.5.5	気道閉塞に対する生体の反応		81
2.6	腸管生理	数馬 聡, 升田好樹	82
2.6.1	消化管運動の生理		82
2.6.2	腸管免疫		83
2.6.3	水・電解質・栄養吸収		86
2.6.4	腸管の病態生理		88
2.7	代謝・内分泌		90
2.7.1	代謝・エネルギー産生と手術による代謝異常	岩永浩二, 池田健彦	90
2.7.2	内分泌の生理と手術による内分泌異常	庄司詩保子, 長坂安子	96
2.8	酸塩基平衡・電解質	山本剛史, 谷口 巧	102
2.8.1	酸塩基平衡の生理と周術期の異常		102
2.8.2	電解質の生理と電解質異常		105
2.9	輸液・輸血		111
2.9.1	体液調節	飯島毅彦	111
2.9.2	毛細血管機能・末梢循環の生理的構造	飯島毅彦	112
2.9.3	血液バランスと周術期輸血	香取信之	115
2.10	造血能と凝固系	田村高廣, 西脇公俊	119
2.10.1	造血能の生理		119
2.10.2	止血凝固・線溶系の生理と周術期の変化		120
2.10.3	止血凝固・線溶系の評価と治療		127
2.11	免疫・アレルギー		131
2.11.1	免疫機能と術後感染	杉山由紀, 川真田樹人	131
2.11.2	周術期のアレルギーとアナフィラキシー	高澤知規	135

3章

薬理学

141

3.1	吸入麻酔薬	茶木友浩, 山藤道明	142
3.1.1	ガス麻酔薬		142

3.1.2	揮発性麻酔薬	146
3.1.3	悪性高熱症	153
3.2	静脈麻酔薬	斎藤淳一 158
3.2.1	バルビタール麻酔薬：チオペンタール，チアミラール，メトヘキシタール	158
3.2.2	ベンゾジアゼピン麻酔薬	159
3.2.3	プロポフォール	166
3.2.4	ケタミン	169
3.3	オピオイド	山口重樹 173
3.3.1	オピオイドとオピオイド受容体	173
3.3.2	オピオイド受容体の活性機序	174
3.3.3	オピオイド受容体のサブタイプ	174
3.3.4	内因性オピオイド	174
3.3.5	オピオイド受容体を介した鎮痛効果	175
3.3.6	ノシセプチン受容体	175
3.3.7	μ 受容体作動薬	176
3.3.8	δ 受容体作動薬	184
3.3.9	κ 受容体作動薬：ペンタゾシン	184
3.3.10	オピオイド拮抗薬	185
3.3.11	ノシセプチン受容体作動薬：ブプレノルフィン	187
3.3.12	オピオイド依存	188
3.4	鎮痛薬（オピオイド以外）	杉本真由，小幡英章 190
3.4.1	非ステロイド性抗炎症薬	190
3.4.2	アセトアミノフェン	192
3.4.3	カルシウムチャネル $\alpha_2\delta$ リガンド	194
3.4.4	デュロキセチン	196
3.4.5	アミトリプチリン	197
3.4.6	イソプロピルアンチピリン	198
3.4.7	カンナビノイド	200
3.5	筋弛緩薬	鈴木孝浩 201
3.5.1	脱分極性筋弛緩薬	201
3.5.2	非脱分極性筋弛緩薬	204
3.5.3	非脱分極性筋弛緩薬拮抗薬	209
3.6	局所麻酔薬	小田 裕 216
3.6.1	ナトリウムチャネルおよび局所麻酔薬の作用機序	216
3.6.2	エステル型とアミド型	216
3.6.3	pK _a ，タンパク結合率	216
3.6.4	エステル型局所麻酔薬	217
3.6.5	アミド型局所麻酔薬	218
3.6.6	新たな局所麻酔薬	220
3.6.7	局所麻酔薬中毒	221
3.7	循環作動薬	田中克哉 225

3.7.1	強心薬	225
3.7.2	血管収縮薬	231
3.7.3	血管拡張薬・降圧薬	233
3.7.4	抗不整脈薬	236
3.8	抗菌薬・消毒薬	黒田美聡, 川前金幸 240
3.8.1	抗菌薬	240
3.8.2	消毒薬	242
<hr/>		
4章	モニタリング	245
4.1	麻酔深度モニタリング	林 和子 246
4.1.1	麻酔深度モニタリングを要する背景・意義	246
4.1.2	麻酔深度モニタリングの種類	247
4.2	心血管モニタリング	小嶋亜希子, 北川裕利 257
4.2.1	心血管モニタリングを要する背景・意義	257
4.2.2	心血管モニタリングの種類	257
4.2.3	心電図 (ECG) モニタリング	257
4.2.4	非観血的動脈血圧モニタリング	259
4.2.5	観血的動脈血圧モニタリング	259
4.2.6	中心静脈圧 (CVP) モニタリング	263
4.2.7	肺動脈圧モニタリング	264
4.2.8	心拍出量モニタリング	267
4.3	経食道心エコー	秋山浩一 269
4.3.1	経食道心エコーを要する背景・意義	269
4.3.2	経食道心エコープローブの種類と操作方法	270
4.3.3	経食道心エコーモニタリング	271
4.4	呼吸モニタリング	鬼頭和裕, 飯田宏樹 279
4.4.1	呼吸モニタリングを要する背景・意義	279
4.4.2	呼気ガス分析	279
4.4.3	呼吸回路圧・換気量メータ	282
4.4.4	自発呼吸のモニタリング	287
4.5	血液酸素化モニタリング	平田直之 289
4.5.1	血液酸素化モニタリングを要する背景・意義	289
4.5.2	血液酸素化モニタリングの種類	289
4.5.3	パルスオキシメータ	290
4.5.4	静脈血酸素飽和度	293
4.5.5	局所酸素飽和度	296
4.6	神経モニタリング	大井彩子, 川口昌彦 300
4.6.1	神経モニタリングを要する背景・意義	300
4.6.2	神経モニタリングの種類	300

4.6.3	最後に	309
4.7	筋弛緩モニタリング	羽間恵太, 中塚秀輝 310
4.7.1	筋弛緩モニタリングを要する背景・意義	310
4.7.2	筋弛緩モニタリングの原理	310
4.7.3	筋弛緩モニタリングの方法	313
4.8	体温モニタリング	和田啓一, 松川 隆 316
4.8.1	体温モニタリングを要する背景・意義	316
4.8.2	体温モニタリングの種類	318
4.8.3	測定部位別体温モニタリング	320
<hr/>		
5 章	基本手技の実践	323
5.1	脊髄くも膜下麻酔 (脊麻)	内海 功, 近江禎子 324
5.1.1	脊髄くも膜下麻酔に必要な解剖	324
5.1.2	脊髄くも膜下麻酔に必要な生理	325
5.1.3	脊髄くも膜下麻酔の適応と必要な器具・使用薬剤	328
5.1.4	脊髄くも膜下麻酔の準備・手技	330
5.1.5	麻酔域, 麻酔高	332
5.1.6	脊髄くも膜下麻酔の禁忌症例	333
5.1.7	脊髄くも膜下麻酔の合併症と対策	333
5.2	硬膜外麻酔	川股知之 336
5.2.1	脊柱と硬膜外腔の解剖	336
5.2.2	硬膜外麻酔の禁忌・相対禁忌	337
5.2.3	硬膜外麻酔・カテーテル留置の手技	337
5.2.4	仙骨硬膜外ブロック	341
5.2.5	硬膜外腔穿刺やカテーテル留置に伴う合併症とその対応	343
5.3	神経ブロック	中本達夫 346
5.3.1	神経同定法の変遷と実際	346
5.3.2	使用薬剤と器具	346
5.3.3	神経ブロックの適応と禁忌	349
5.3.4	神経ブロックの実際	350
5.3.5	偶発症の予防と対応	361
5.3.6	まとめ	362
5.4	気道確保	小澤章子 364
5.4.1	気道確保の重要性	364
5.4.2	解剖	365
5.4.3	頭位・体位の影響	365
5.4.4	用手的マスク換気	366
5.4.5	頭位・体位と用手的マスク換気	368
5.4.6	エアウェイ	368

5.4.7	声門上器具	369
5.4.8	気管挿管	369
5.4.9	外科的気道確保	372
5.5	中心静脈路確保	徳嶺譲芳, 中澤春政 375
5.5.1	中心静脈路確保の歴史と必須知識	375
5.5.2	超音波ガイド法	375
5.5.3	穿刺部位の解剖学的特徴	376
5.5.4	合併症	379
5.5.5	まとめ	381
5.6	末梢血管カテーテル留置	志馬伸朗 383
5.6.1	血管の選択	383
5.6.2	準備	384
5.6.3	挿入手順	385
5.6.4	超音波ガイド下穿刺	387
5.6.5	維持管理	389
5.6.6	留置中の合併症と予防・対応	390
6章	麻酔の実践	393
6.1	術前評価	394
6.1.1	術前評価	枝長充隆 394
6.1.2	術前準備	谷口英喜 396
6.2	気道評価	404
6.2.1	気道評価法	木村哲朗, 五十嵐寛 404
6.2.2	気道確保法	浅井 隆 407
6.3	麻酔器の基本構造	414
6.3.1	麻酔器の構造	石川晴士 414
6.3.2	気化器	中島芳樹 419
6.4	人工呼吸器の基本構造とモード	425
6.4.1	麻酔器における人工呼吸器の構造	佐藤暢一 425
6.4.2	人工呼吸モード：呼吸モードと肺傷害対策	内田篤治郎 429
6.5	麻酔と体位	434
6.5.1	さまざまな術中体位と呼吸循環への影響	渡邊亮太, 森 隆 434
6.5.2	手術体位と合併症	井上莊一郎 438
6.6	脳神経外科の麻酔	444
6.6.1	脳血管障害手術の麻酔	垣花 学, 中村清哉 444
6.6.2	脳腫瘍等の手術の麻酔	位田みつる 449

6.7	心臓血管外科の麻酔	454
6.7.1	心臓手術の麻酔	一ノ宮大雅, 原 哲也 454
6.7.2	大血管手術の麻酔	土井健司, 野村 実 460
6.7.3	小児心臓血管外科手術の麻酔	岡本浩嗣 464
6.8	胸部外科の麻酔	470
6.8.1	肺外科手術の麻酔	田中具治 470
6.8.2	縦隔, 胸壁手術の麻酔	花崎元彦 474
6.9	整形外科の麻酔	479
6.9.1	脊椎手術の麻酔	松本美志也, 山下敦生 479
6.9.2	四肢の整形外科手術の麻酔	堀田訓久 484
6.10	耳鼻咽喉・頭頸部領域外科の麻酔	489
6.10.1	耳鼻咽喉科手術, 頭頸部手術の麻酔	溝渕有助, 佐藤哲文 489
6.10.2	歯科口腔外科手術の麻酔	宮脇卓也, 樋口 仁 494
6.11	泌尿器科の麻酔	499
6.11.1	成人泌尿器科手術の麻酔	新山幸俊 499
6.11.2	経尿道的手術の麻酔	橋本 篤 502
6.11.3	小児泌尿器科の麻酔	鈴木康之 504
6.12	眼科の麻酔	509
6.12.1	眼球手術の麻酔	三好寛二, 堤 保夫 509
6.12.2	眼球外眼科手術の麻酔	植木隆介, 廣瀬宗孝 514
6.13	産科の麻酔	520
6.13.1	帝王切開術の麻酔	大瀧千代 520
6.13.2	無痛分娩	角倉弘行 525
6.14	小児の麻酔	531
6.14.1	小児の解剖・生理	宮澤典子 531
6.14.2	小児の薬理	宮澤典子 535
6.14.3	小児に対する手術の麻酔	上園晶一 541
6.15	高齢者の麻酔	548
6.15.1	高齢者の解剖学的, 生理学的, 薬理学的特徴	稲垣喜三 548
6.15.2	高齢者に対する手術の麻酔(麻酔の注意事項)	合谷木徹 554
6.16	移植外科の麻酔	560
6.16.1	腎移植の麻酔(献腎・生体腎移植)	稲富千亜紀, 原 哲也 560
6.16.2	肝移植手術の麻酔	柴田純平 563
6.16.3	心臓移植手術の麻酔: 脳死ドナーからの心臓移植	大西佳彦 566
6.16.4	肺移植手術の麻酔	岡原修司, 森松博史 569
6.17	腹腔鏡下およびロボット手術の麻酔	572
6.17.1	腹腔鏡下手術の麻酔	佐藤祐子, 藤原祥裕 572
6.17.2	ロボット手術の麻酔	武部真理子 577

6.18	日帰り手術の麻酔	584
6.18.1	日帰り手術施設の運営	白神豪太郎 584
6.18.2	日帰り麻酔の実際	南 遼平, 香川哲郎 589

7章

特殊症例の麻酔

593

7.1	気道確保困難患者の麻酔	北村祐司 594
7.1.1	術前評価	594
7.1.2	術前準備	596
7.1.3	麻酔法・麻酔薬の選択	600
7.1.4	術後管理	603
7.1.5	その他の注意事項	605
7.2	肥満患者の麻酔	白石としえ 606
7.2.1	肥満患者の定義と概要	606
7.2.2	肥満の病態生理	606
7.2.3	術前評価	608
7.2.4	術前準備	611
7.2.5	肥満患者の全身麻酔	613
7.2.6	術後管理の概要	617
7.3	透析患者の麻酔	林 優里, 井口直也 619
7.3.1	透析患者の病態生理	619
7.3.2	術前評価	621
7.3.3	術前準備	624
7.3.4	麻酔法・麻酔薬の選択	624
7.3.5	術中管理	625
7.3.6	術後管理	626
7.3.7	まとめ	627
7.4	精神神経疾患患者の麻酔	小幡典彦 628
7.4.1	術前評価と術前準備	628
7.4.2	電気痙攣療法 (ECT) の麻酔	631
7.4.3	精神神経疾患患者の麻酔	635
7.5	筋疾患患者の麻酔	佐伯 昇 638
7.5.1	重症筋無力症患者の麻酔	638
7.5.2	筋ジストロフィー患者の麻酔	640
7.5.3	悪性高熱症リスク患者の麻酔	641
7.6	ペースメーカー・ICD 植え込み患者の麻酔	山浦 健 645
7.6.1	ペースメーカーの適応と設定	645
7.6.2	ICD の適応と設定	647
7.6.3	術前評価	649
7.6.4	術前準備	650

7.6.5	導入・術中管理	651
7.6.6	術後管理	653
7.7	ステロイド使用患者の麻酔	青木優祐, 祖父江和哉 655
7.7.1	ステロイド使用による影響	655
7.7.2	ステロイドの種類	656
7.7.3	術前・術中・術後の管理(ステロイドカバー)	657
7.8	内分泌・代謝異常患者の麻酔	野村有紀 659
7.8.1	糖尿病患者の麻酔	659
7.8.2	褐色細胞腫患者の麻酔	661
7.8.3	クッシング症候群患者の麻酔	664
7.8.4	尿崩症患者の麻酔	665
7.8.5	甲状腺機能異常患者の麻酔	666
7.9	止血・凝固異常患者の麻酔	小川 寛 670
7.9.1	抗凝固薬と術前休薬	670
7.9.2	血小板減少症患者の麻酔	672
7.9.3	血友病・von Willebrand 病患者の麻酔	674
7.10	感染症患者の麻酔	山下千鶴, 西田 修 677
7.10.1	感染が生体を与える影響	677
7.10.2	感染症患者の術前評価と術前準備	677
7.10.3	ワクチン接種と麻酔	682
7.10.4	COVID-19 感染症と麻酔	683
7.10.5	敗血症患者の麻酔と周術期管理	686
7.11	宗教的輸血拒否患者の麻酔	稲田英一 689
7.11.1	宗教的輸血拒否患者の背景	689
7.11.2	成人の宗教的輸血拒否患者の術前確認事項	689
7.11.3	未成年者における対応	691
7.11.4	宗教的輸血拒否患者の麻酔と周術期管理	694
7.12	手術室外での麻酔	大江克憲 696
7.12.1	MRI 室での麻酔管理	696
7.12.2	IVR 室での麻酔管理	698
7.12.3	内視鏡室(消化器内視鏡)での麻酔管理	701
8 章	術後管理	705
8.1	術後管理一般	706
8.1.1	術後呼吸管理	恒吉勇男 706
8.1.2	術後循環管理	恒吉勇男 708
8.1.3	術後せん妄対策	山下幸貴, 恒吉勇男 710
8.1.4	術後早期離床・リハビリテーション	荒川英樹, 恒吉勇男 712

8.2	術後疼痛管理	松田 愛, 天谷文昌	715
8.2.1	術後疼痛が生体に与える影響		715
8.2.2	術後疼痛管理の実際		719
<hr/>			
9 章	関連分野		725
9.1	ペインクリニック	高雄由美子	726
9.1.1	急性痛と慢性痛		726
9.1.2	薬物による疼痛管理		727
9.1.3	神経ブロック・高周波熱凝固による疼痛管理		729
9.1.4	脊髄刺激療法		731
9.2	集中治療		734
9.2.1	敗血症の診断と管理	巻野将平	734
9.2.2	急性呼吸不全の管理	藤野裕士	736
9.2.3	急性循環不全の管理	藤野裕士	741
9.2.4	急性腎不全の管理	藤本大地	746
9.2.5	ICUにおける鎮痛・鎮静・せん妄の管理	青木善孝	748
9.2.6	ICUにおける栄養療法	矢田部智昭	750
9.3	緩和医療		752
9.3.1	緩和ケアとは	間宮敬子	752
9.3.2	痛みの分類	間宮敬子	753
9.3.3	がん性疼痛の発生機序	平林高暢, 山本兼二, 間宮敬子	754
9.3.4	痛みの評価法	平林高暢, 山本兼二, 間宮敬子	755
9.3.5	緩和医療におけるオピオイド	山本兼二, 平林高暢, 間宮敬子	757
9.3.6	オピオイド以外の鎮痛薬・鎮痛補助薬	山本兼二, 平林高暢, 間宮敬子	759
9.3.7	緩和医療における神経ブロック	平林高暢, 山本兼二, 間宮敬子	761
9.4	救急・災害医療	中根正樹	763
9.4.1	熱傷患者の管理		763
9.4.2	中毒(薬物, アルコール)患者の管理		767
9.4.3	大規模災害への対応		769
	索引		773

5.2.1

脊柱と硬膜外腔の解剖

■ 脊柱の解剖

脊椎骨は椎体と椎弓で形成され、脊柱は7個の頸椎、12個の胸椎、5個の腰椎、仙椎、および尾椎から成る。脊柱は頸部と腰部で前弯する。棘突起の角度は部位で異なり、頸部・腰部では比較的水平であるが、胸部では尾側に傾く（図2.1a）。

■ 硬膜外腔の解剖

(1) 脊椎硬膜外腔

脊椎硬膜外腔は、脊柱管内の硬膜の外側の領域で、後方は黄色靭帯、側方は椎弓根・椎間孔、前方は後縦靭帯に囲まれる（図2.1b, c）。大後頭孔から仙骨裂孔まで広がっているが、頭蓋内の硬膜外腔とは交通していない。したがって、理論上は硬膜外ブロックによって顔面（三叉神経領域）以外の皮膚知覚を遮断することができ

る。硬膜外腔には、神経根、脂肪、結合組織、リンパ管、および血管が疎に存在する。

(2) 硬膜外腔の血管

硬膜外腔への血流は、根髄動脈に加え、頸髄レベルでは椎骨動脈、胸髄レベルでは肋間動脈、腰髄レベルでは腰動脈、仙骨レベルでは外側仙骨動脈から供給される。硬膜外腔の静脈は、内椎骨静脈叢とも呼ばれ、根静脈、椎間静脈、および椎体周囲静脈と交通する。硬膜外腔の静脈は内部に弁構造を持たないため、胸腔/腹腔内圧の上昇により静脈内圧が上昇する。妊婦では仰臥位になると硬膜外腔の静脈が怒張し、硬膜外腔が狭くなる。

(3) 皮膚から硬膜外腔までの距離

正中法で硬膜外穿刺を行って日本人の皮膚から硬膜外腔までの距離を測定した研究がある（図2.2）¹⁾。それによると、皮膚から硬膜外腔までの距離は、頸部（C7/T1, T1/2）>胸部（T8/9, T9/10）>腰部（L2/3, L3/4）である。また、胸部と腰部では女性に比べ男性で距離が長い。

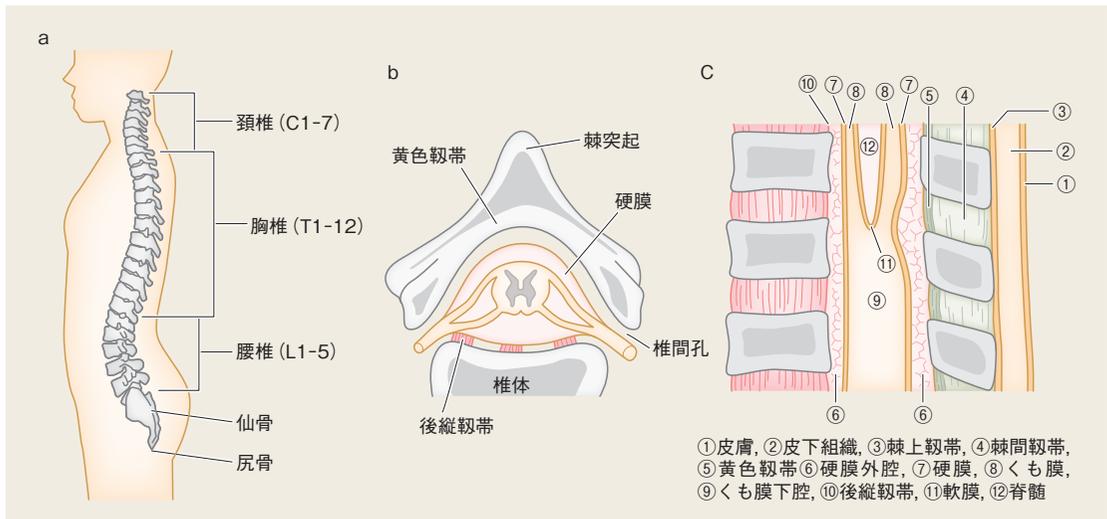


図2.1 脊柱と硬膜外腔の解剖

a: 脊柱の解剖。 b: 硬膜外腔の短軸断。 c: 硬膜外腔の長軸断。

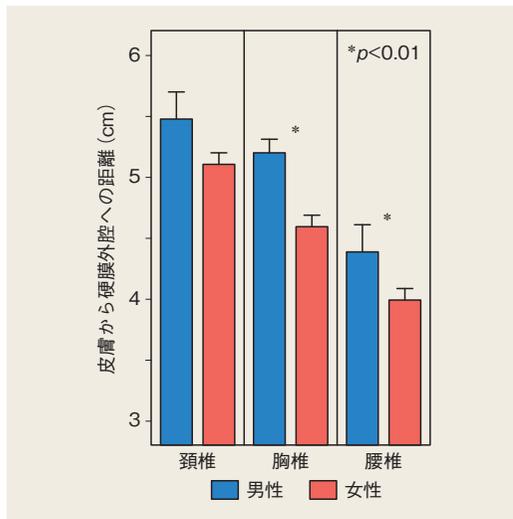


図 2.2 頸部・胸部・腰部での皮膚から硬膜外腔までの距離¹⁾ 平林 1986 を元に作成

(4) 正中隔壁の存在

硬膜外麻酔では、左右のどちらかにしか効果が発現しない“片効き”になることがある。その原因として硬膜外腔の背側正中に隔壁（正中隔壁）の存在が報告されている²⁾³⁾。Savolaine⁴⁾は硬膜外造影 CT で 40 名の患者を調べ、全員に正中隔壁が存在することを明らかにした。Hogan⁵⁾らは死後 15 時間以内の献体で脊髓切片を作製し、正中隔壁の有無を調べた。その結果、38 献体すべてで正中隔壁を見つけることはできず、これまで報告された正中隔壁はアーチファクトであろうと結論付けた。また、正中隔壁を確認した症例でも“片効き”にはならなかったことも報告されている⁵⁾。現在のところ、正中隔壁の存在、また、正中隔壁と“片効き”の関係は結論がついていない。

5.2.2

硬膜外麻酔の禁忌・相対禁忌

(1) 絶対禁忌

- ①患者が拒否する

- ②患者が穿刺時に安静を保てなく神経損傷の危険がある
- ③脳ヘルニアを起こすほど頭蓋内圧が亢進している

(2) 相対禁忌

- ①穿刺部位周囲の感染
- ②血液凝固障害 (p.343「硬膜外血腫」参照)
- ③循環血液量の高度の減少
- ④術前から存在する神経学的異常
- ⑤脊椎・脊髓疾患 (二分脊椎など)
- ⑥麻酔科医の経験不足

5.2.3

硬膜外麻酔・カテーテル留置の手技

■ 施行前準備

単純 X 線写真や CT・MRI が撮像されている場合には、脊柱の形状（側弯、前弯、後弯の変形など）を評価する。また、目標とする穿刺部位での皮膚から硬膜外腔までの深さを測定する。

■ ランドマーク法での穿刺

一般的には、棘突起を触知して穿刺するランドマーク法（ブラインド法）で行われる。ランドマーク法では棘突起の触知をもとに脊椎をイメージして穿刺位置や穿刺方向を決定するため、体位が重要である。

(1) 体位

側臥位、腹臥位、坐位で行うことができるが側臥位で行うことが多い。腹臥位は X 線透視を用いてカテーテル留置する時や硬膜外刺激電極を留置する時に利用される。坐位は、肥満で側臥位では正中がわかりにくい場合や棘突起が触れにくい場合に利用される。側臥位は基本的には患者が体位を取りやすい方向とする（左・右側臥位）。穿刺する棘間を突き出し、棘間が広がるように背中を丸める。図 2.3a, b に示す

ように脊柱が手術台と平行となり、かつ脊柱が回旋しないように背中が手術台と垂直となるように体位をとる。これにより脊椎がイメージしやすい。坐位では、手術台の端に腰掛け、前屈位をとる。足台を用意するとともにクッションを抱えると患者は体位をとりやすい(図 2.3c)。

(2) 穿刺部位の決定

術中の鎮痛管理はレミフェンタニル等のオピオイド主体で行うことが多く、硬膜外麻酔の主たる役割は術後鎮痛目的となっている。したがって、術後の体性痛の領域(皮膚分節)がカバーできるように穿刺部位を決定する。

(3) 穿刺方法

正中法と傍正中法に分けられる。基本的にはどの部位でも正中法と傍正中法が可能である。正中法は目標とする椎間の棘突起を結んだ線上(正中)で穿刺する。傍正中法は棘突起を結んだ線上よりも側方で穿刺する。中位胸椎など棘突起が尾側に傾いている部位では傍正中法が好まれる。

①正中法

棘突起を触知し、目標とする椎間の棘突起を結んだ線上から局所麻酔する。局所麻酔で鎮痛を施すと同時に穿刺方向を確認する。胸椎では棘突起が尾側に傾いているため、やや頭側方向に局所麻酔する。予想される深さに留意しながら硬膜外針を刺入する。棘間靭帯や黄色靭帯を刺入すると、硬膜外針の固定感が得られる。そこで、一旦刺入を停止する(図 2.4a)。

②傍正中法

穿刺部位や方向に定型的な方法はないが、側方から頭側棘突起を潜り硬膜外腔に到達する。例えば、目標とする椎間で頭側棘突起の尾側端と尾側棘突起の頭側端を結んだ線上の midpoint より約 1 cm 側方から刺入し、頭側正中に向けて局所麻酔する。予想される深さに留意しながら硬膜外針を刺入する。黄色靭帯を刺入すると、硬膜外針の固定感が得られる。そこで一旦刺入を停止する(図 2.4b)。



図 2.3 硬膜外穿刺時の体位

- a: 側臥位。脊柱を台に平行に維持し、脊柱を回旋させないように背中を台と垂直にする。
 b: (悪い例) 側臥位であるが、背中が台に対して傾き、脊柱が回旋している。
 c: 坐位。

(4) 硬膜外腔の同定

硬膜外腔の同定法として抵抗消失法(loss-of-resistance)や懸滴法(hanging drop)が用いられる。懸滴法は反応が明らかでないこともあり、抵抗消失法で確認することが多い。

①抵抗消失法(loss-of-resistance)

硬膜外針先端が棘間靭帯もしくは黄色靭帯に到達した時点で、内針を抜き、外針のハブに抵抗消失法用の注射器またはガラス注射器を取り付ける。注射器には空気もしくは生理食塩水 2 mL 程度を含める。注射器のプランジャーを

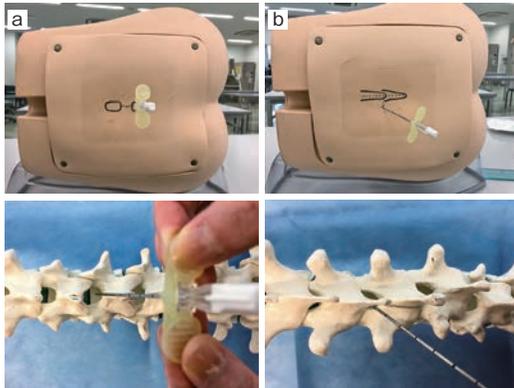


図 2.4 硬膜外穿刺方法

- a: 正中法。目的とする棘間の棘突起を結んだ線上で刺入する。
 b: 傍正中法。写真では、目標とする椎間で頭側棘突起の尾側端より約 1 cm 側方から刺入した。

押しながら針を進める。針先が靭帯に存在する場合にはプランジャーを押すと抵抗があるが、針先が硬膜外腔に達すると抵抗が消失し(図 2.5a)、空気もしくは生理食塩水は硬膜外腔に注入される(次ページコラム「抵抗消失法」参照)。抵抗消失法と似た方法に触知法がある。これは、硬膜外針を少し進め、プランジャーを押し抵抗を確認、再度少し針を進めてプランジャーを押し、抵抗確認を繰り返す。硬膜外針を進める手で黄色靭帯の貫通を感じた後に、抵抗消失で確認する。

②懸滴法 (hanging drop)

硬膜外針先端が棘間靭帯もしくは黄色靭帯に到達した時点で、内針を抜き、外針のハブに水滴を入れる。ゆっくり外針を進め、先端が硬膜外腔に入ると水滴は外針内に引き込まれる(図 2.5b)。その時点で針の刺入をやめカテーテルを挿入する。水滴が引き込まれるのは、硬膜外腔圧が大気圧よりも低いことによる(コラム「なぜ硬膜外腔圧は大気圧より低いのか?」(p.341)参照)。

(5) カテーテル挿入

外針の内腔からカテーテルを挿入する。多くの場合、カテーテルは頭側に向け挿入する。カ

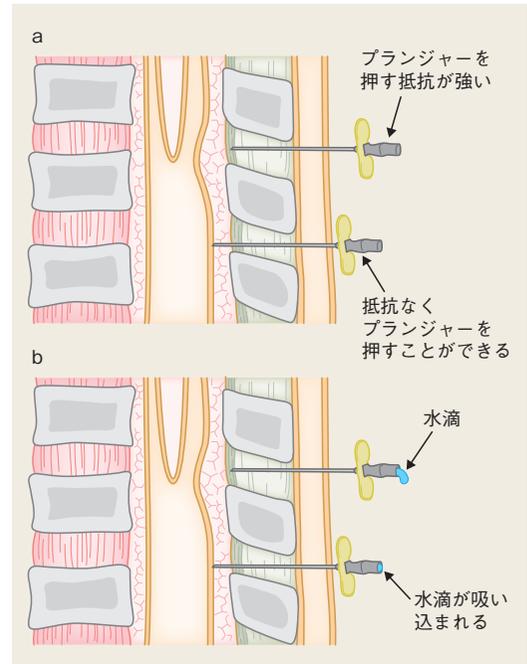


図 2.5 硬膜外腔同定法

- a: 抵抗消失法 (loss-of-resistance)。内針を抜き、外針のハブに抵抗消失法用の注射器またはガラス注射器を取り付ける。注射器には空気もしくは生理食塩水 2 mL 程度を含める。針先が靭帯に存在する場合にはプランジャーを押すと抵抗があるが、針先が硬膜外腔に達すると抵抗が消失し、空気もしくは生理食塩水は硬膜外腔に注入される。
 b: 懸滴法 (hanging drop)。内針を抜き、外針のハブに水滴を入れる。ゆっくり外針を進め、先端が硬膜外腔に入ると水滴は外針内に引き込まれる。

テーテルは直進するとは限らず、直進する確率は胸部で 70%、腰部で 65% 程度である⁶⁾。腰部硬膜外腔でカテーテルが直進するのは 4-5 cm で、それ以上挿入しても椎間孔からの脱出や、尾側へ U ターンするので⁶⁾、カテーテル留置は 4-5 cm 程度とする。カテーテル留置後、注射器を取り付け血液や髄液の逆流がないことを確認する(逆流テスト)。硬膜外針を通してカテーテルを挿入できずカテーテルを抜去する場合には、カテーテルと硬膜外針を同時に抜去する。針を留置したままでカテーテルのみを抜去するとカテーテルが針先端で切断される可能性

がある。

(6) 試験投与 (テストドーズ)

逆流テストのみではカテーテルの血管内留置やくも膜下留置を否定することは難しいので試験投与を行う。試験投与の目的は、効果確認とカテーテル位置異常の確認である。カテーテル位置異常として、血管内留置検出にアドレナリン、くも膜下留置検出に局所麻酔薬が使用される。

①血管内留置の検出⁷⁾

血管内留置検出の最も感度と陽性的中率が高い方法はアドレナリン投与である。成人ではアドレナリン 10 または 15 μg 投与により収縮期血圧が 15 mmHg 以上上昇、もしくは、心拍数 10 bpm 以上の上昇で血管内留置と判断することができる。小児ではアドレナリン 0.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ の投与により収縮期血圧が 15 mmHg 以上上昇すると血管内留置と判断することができる。一方で、妊婦ではアドレナリンの静脈内投与により胎盤血流が減少する可能が指摘されているため、アドレナリン使用には注意が必要である。妊婦での血管内留置検出の最も感度と陽性的中率が高い方法はフェンタニル投与である。フェンタニル投与は一般的ではないが、フェンタニル 100 μg を投与し、5 min 以内に鎮静、眠気、および眩暈が生じた場合には血管留置と判断できる。局所麻酔薬を 2 mL 投与して効果が得られない時に血管内留置であると判断する意見も

ある⁸⁾。

②くも膜下留置の検出⁷⁾

成人では、リドカイン 45 mg 投与 4 min 後に下肢を 2-3 sec 以上挙上することができなければくも膜下留置と判断できる。妊婦では無痛分娩を対象にした研究が行われているため、長時間作用性の局所麻酔薬の効果が判定している。ブピバカインやロピバカインでは投与 8-10 min 後に下肢挙上不可が観察されればくも膜下留置と判断する。小児では全身麻酔下で行うことが多いため試験投与によるくも膜下留置の判断は難しい。

以上により、血管内留置検出とくも膜下留置検出を兼ねて、成人では 20 万倍アドレナリン添加 (5 $\mu\text{g}/\text{mL}$) 塩酸リドカインまたは塩酸メピバカイン 45-60 mg を使用することが多い。妊婦ではアドレナリンの使用に注意する。

超音波ガイド法

硬膜外ブロックはランドマーク法で行われてきたが、最近では超音波ガイドでも行われている。末梢神経ブロックや中心静脈カテーテル留置とは異なり、リアルタイムでの穿刺は容易ではない。プレスキャンし、穿刺部位の決定と皮膚から硬膜外腔までの距離測定に利用する。超音波で測定した皮膚から硬膜までの距離は実際の穿刺距離とよく一致する¹¹⁾。棘突起が背側に

▶ コラム 抵抗消失法-あなたはどちらを使用しますか？ 空気 vs 生理食塩水

抵抗消失法を用いる時に、空気、生理食塩水どちらを使用しますか？一欠点から見ると、空気を使用した場合には、誤って硬膜穿刺した場合に気脳症を生じる可能性があります⁹⁾。一方で、空気を用いても問題となることはまれであるといった意見もあります。生理食塩水を用いた場合には、硬膜穿刺の恐れがあった場合に髄液なのか生理食塩水なのかわからなくなる可能性があります。それでは硬膜外腔を同定するには、空気と生理食塩水、どちらが優れているのでしょうか？ 系統的レビューでは、抵抗消失法による硬膜外腔の同定についても、合併症の発現についても両者で差がないようです¹⁰⁾。空気を使用しても少量であれば問題なさそうです。どちらを使用するかは、医師の好みで良いようです。

水平に伸びている下部胸椎-腰椎で観察しやすい。

- ①コンベックス型プローブを用いる。棘突起横から長軸（矢状断）方向にプローブを置き、L5棘突起を同定する（図 2.6a）。
- ②頭側にプローブを移動し、目標とする棘間を確認する。プローブをわずかに正中に向けると、内側の椎弓が連続した horse sign（馬の頭部のような形状）と、その間に硬膜およびくも膜下腔が観察される（図 2.6b）。
- ③プローブを90°回転させ、短軸像を観察する。プローブの向きを調節し、左右対称に椎間関節を描出すると、その基部をつなぐように硬膜が観察される（図 2.6c）。
- ④マーキングと皮膚から硬膜までの距離を計測する。

5.2.4

仙骨硬膜外ブロック

主に小児の手術麻酔で利用される。仙骨裂孔から仙尾靭帯を穿刺して硬膜外腔に局所麻酔薬を投与する。下腹部手術、会陰部手術および下肢手術は良い適応である。比較的高用量の局所麻酔薬が必要であること、また、仙骨硬膜外腔は静脈が豊富であることから局所麻酔中毒発生に注意が必要である。

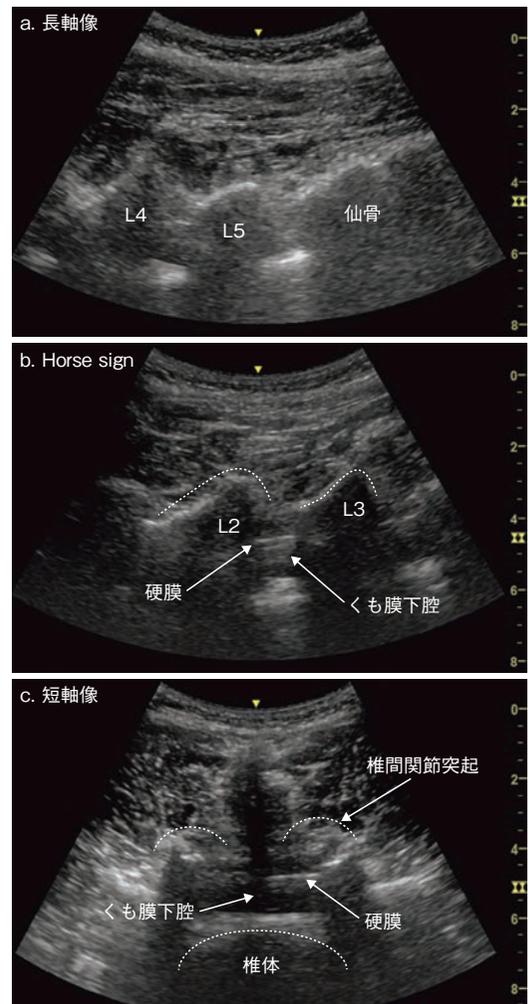


図 2.6 超音波による穿刺部位の決定と硬膜外腔の同定

a : 長軸像。L5 を同定する。b : Horse sign。内側の椎弓が連続し、馬の頭部（破線）のように見える。c : 短軸像。

▶▶ コラム なぜ硬膜外腔圧は大気圧より低いのか？

時々、「硬膜外腔圧は陰圧だから hanging drop が起きるんだよ」という会話を耳にします。しかし、硬膜外カテーテルから圧を測定してみると陽圧です。硬膜外腔圧はほぼ髄液圧と等しいと考えられています¹²⁾。hanging drop が生じるのは一過性に陰圧が生じるからです。硬膜外腔圧が大気圧より低くなる理由は2つ考えられます。1つは胸腔内陰圧が硬膜外腔圧に影響して圧が低下することです。もう1つは“テント効果”です¹³⁾。硬膜外針が硬膜外腔に入った時に針の先端が硬膜を押し広げ、それにより閉鎖空間の体積が大きくなることによって圧が低下します。