麻酔・集中治療とテクノロジー

2018

●編集

医療法人渓仁会　手稲渓仁会病院
副院長
片山　勝之

京都府立医科大学附属病院
集中治療部 部長
橋本　　悟

京都府立医科大学大学院 名誉教授
田中　義文

simulation
intranet
software
database
network

麻酔・集中治療とテクノロジー

2018

●編集

医療法人渓仁会　手稲渓仁会病院
副院長
片山　勝之

京都府立医科大学附属病院
集中治療部 部長
橋本　　悟

京都府立医科大学大学院 名誉教授
田中　義文

第 35 回日本麻酔・集中治療テクノロジー学会開催に当たって

2018 年 晩秋

伝統ある日本麻酔・集中治療テクノロジー学会の第 35 回大会（JSTA35）を 2017 年 8 月 26 日、北海道の地で開催させて頂き、大変光栄に存じます。

例年 11 月末に行われる本会ですが、北海道の 11 月から 12 月の天候の悪化を危惧し、第 35 回は例外的に 8 月末の夏の終わりに開催させて頂きました。そのため、北海道マラソンと Exile コンサートという大きなイベントと本学会が重なり、参加者の皆様の宿泊確保には、大変ご不便をお掛けしました。改めてお詫び申し上げます。

第 35 回 JSTA では、特別講演として公立はこだて未来大学複雑系知能学科の松原仁教授による「人工知能最前線：人工知能は何が出来て何が出来ないか」と、セコム医療システム株式会社の代表取締役社長の小松淳氏による「セコムと IoT―私と AI―」を開催させて頂きました。また、ランチョンセミナーとして株式会社オプティムの川瀬雅矢さんに「IoT の現状と医療への応用」と題する講演をして頂きました。毎年恒例の田中義文先生の心電図のご発表は「テクノロジー学会心電図教室」として独立のセッションとさせて頂きました。さらに自動麻酔記録の発展と歴史を整理し、これから目指すべき方向性を模索すべく、広島大学の讃岐美智義先生に自動麻酔記録の gap と must「テクノロジー学会からの基本的提言」シンポジウムを開催して頂きました。シンポジストとして、内田整先生に「自動記録システム：ユーザーが求める標準機能」、斉藤智彦先生に「PaperChart の現状とこれから」をご講演いただきました。

日本麻酔・集中治療テクノロジー学会が発足した 1982 年以後の日本には次々と IT 化の波が押し寄せ、医療だけでなく日本全体が大いに新しいテクノロジーの恩恵を受けて参りました。学会発足の前年に医師となった私にとって、まさに次々と古い医療が新しい医療に塗り替えられていく歴史を目の当たりにすることとなりました。1980 年に夢と思われた様々なテクノロジーが現実のものになりました。パルスオキシメーター、$EtCO_2$ モニタ、BIS やエントロピーなどの術中脳波モニタ、TCI ポンプ、自動麻酔記録もわずか 30 年間に急速に実用化され、普及しました。そんな時代背景の中で、この日本麻酔・集中治療テクノロジー学会を牽引されてきた先進的な先輩諸兄が果たされた多くの業績はまさに賞賛に値するものと思われます。

今回、学会集会のテーマを「テクノロジーの真価を問う」とさせて頂きました。これは百花繚乱咲き乱れるテクノロジーの嵐の中で、今一度立ち止まって、とくに周術期関連のコアテクノロジーに関して、本学会から今後目指すべき方向性やガイドラインを示すべきではないかと考え、今回のシンポジウムを企画させて頂いたという理由からです。自動麻酔記録に引き続き、様々なモニター機器、さらには間もなく出現してくる自動麻酔（ロボット麻酔）装置などに対しても、今後、本学会が中心となって、患者安全やユーザーインターフェイスの統一などの観点からガイドラインを示し、「テクノロジー学会の真価」を示して頂きたいと祈念しております。

大会開催に当たっては学会役員の皆様はじめ、協賛メーカー、製薬会社、その他沢山の皆様にお世話になりました。ここで改めて謹んで御礼申し上げます。

第 35 回日本麻酔集中治療テクノロジー学会
会長　片山　勝之 (手稲渓仁会病院)

memo:

第35回
日本麻酔・集中治療テクノロジー学会

テクノロジーの真価を問う

会 期 2017年8月26日(土)

2017年8月25日(金) 理事会・評議員会・懇親会

会 場 医療法人渓仁会手稲渓仁会病院
渓仁会大ホール
札幌市手稲区前田1条12丁目1-40

会 長 片山 勝之
医療法人渓仁会 手稲渓仁会病院

事務局 横山 健
医療法人渓仁会 手稲渓仁会病院 麻酔科

プログラム・抄録集

memo:

目　次

第 35 回日本麻酔・集中治療テクノロジー学会論文集

一般講演：
医療秘書による効率のよい手術室運営にむけた電子カレンダーとメーリングリスト活用の効果....1
南木由美 (手稲渓仁会病院 医療秘書課)　他

クラウド型データーベースを利用した手術室データ分析.....4
立石浩二 (手稲渓仁会病院 麻酔科集中治療室)　他

LaTeX 用論文作成支援パッケージの Windows への移植 11
萩平 哲 (関西医科大学 麻酔科学講座)　他

paperChart にテキスト・バイナリデータを送信するための.net コンポーネントの作成 14
斎藤 智彦 (独立行政法人 労働者健康安全機構 岡山ろうさい病院 麻酔科)

呼気のガス濃度を用いた吸気の平均酸素濃度の推定法.....21
薊 隆文 (名古屋市立大学看護学部　病態学 (麻酔学))　他

無線ビデオ中継の麻酔管理への応用 －余ったスマホの使い道－ 25
岩瀬良範 (埼玉医科大学病院 麻酔科)　他

距離の離れた場所で診療を行うための工夫.....28
星 拓男 (筑波大学附属病院 麻酔・集中治療科)　他

シリンジポンプだけでロクロニウムを投与する際に便利な希釈濃度の検討 31
松木悠佳 (福井大学学術研究院医学系部門医学領域器官制御医学講座 麻酔・蘇生学分野)　他

ハブループが病院ネットワークに壊滅的打撃を与えた教訓的事例.....33
村岡義克 (手稲渓仁会病院情報システム部)　他

特別講演：
セコムと IOT　－私と AI －.....35
小松 淳 (セコム医療システム株式会社)

シンポジウム：
自動麻酔記録の gap と must「テクノロジー学会からの基本的提言」
AIMS のメーカーアンケートからみた gap と must 39
讃岐美智義 (広島大学病院 麻酔科)

自動麻酔記録システム：ユーザーが求める標準機能.....48
内田 整 (千葉県こども病院 麻酔科)

paperChart の現状とこれから……52
　斎藤 智彦 (岡山ろうさい病院 麻酔科)

心電図学教室：体表心電図の新しい概念と分類
－高 K 血症のテント状 T 波と冠動脈攣縮初期の巨大 T 波の違いについて－……61
　田中義文 (岡本記念病院)

心電図学教室：心筋イオンチャネルの分子構造とボルテージクランプ……70
　田中義文 (京都府立医科大学大学院 名誉教授)

特別寄稿：
二酸化炭素ボンベ誤用事故 (6) ―特に書き残しておきたいこと－……85
　佐藤 暢 (鳥取大学 名誉教授)

寄稿：
集中治療室における治療の総合的な患者満足度に影響を及ぼす因子の検討……92
　小川智也 (VANTAGE CLINIC 広尾)　他

特別寄稿：
吸入麻酔薬の時代としての昭和……101
　小栗顕二 (香川医科大学 名誉教授)

第 35 回日本麻酔・集中治療テクノロジー学会抄録抜粋……112

編集後記……115

医療秘書による効率のよい手術室運営にむけた電子カレンダーとメーリングリスト活用の効果

南木由美，横山 健*，片山勝之*

要旨

我々の手術室では，グーグルカレンダーとメーリングリストを外科系各科の責任者で共有するシステムを医療秘書が構築した．そして，我々は学会参加や出張の情報をいち早く共有し，手術室の空き情報をより早く共有することで，手術室の利用効率を改善してきた．導入半年後に，利用者にアンケート調査を行い，カレンダー共有は 80 %有用，カレンダーの利用方法は，インターネットを介してグーグルカレンダーを直接参照する医師が 43 %，メーリングリストの添付 pdf として参照する医師が 43 %だった．

今後，医療秘書として，さらにお互いに情報提供しやすい環境作りを通じて，待機患者の待ち時間を減らし，より効率的な手術室運営に貢献したい．

はじめに

当院はハイブリット手術室を含む手術室 15 室，ICU16 床を有する総病床数 670 床，職員数約 1800 名の急性期総合病院である．年間麻酔科管理件数 6,030 件 (2016 年) を担当する麻酔科には，医師事務作業を補助する専門の医療秘書 3 名が配置され，医師事務作業補助体制加算は，最もランクの高い 15 対 1 の届出を行っている．

電子カレンダー導入の背景と目的

専門医制度の開始に伴い，今まで以上に医師は頻回に学会に参加せざるを得ないと予想される．一方，外科系医師の頻回の学会参加は，手術件数減少，延いては週末の病床稼働率の低下を招き，病院経営悪化の要因となることが懸念される．しかし，経営を優先した学会参加の抑制や学術活動の減少は，医師のモチベーション低下や医療の質にも影響を来し，さらには当院入職希望医師や，常勤医師の定着率減少につながる恐れがある．

従来，麻酔科担当医と看護師リーダーが翌週の定期手術調整後，手術枠に余裕があった際に各科に PHS を介し情報の一斉配信を行っていたが，空き枠が判明した時点では，数日間の余裕しか無く，追加手術調整が困難であった．手術調整する側にとっても，臨時手術で枠を広げようした時点で外科系医師の不在や，定期手術申し込み締め切り後に外科系医師の学会参加により手術件数が少ないことが判明する状況であった．

専門医制度開始後は学会のためより多くの医師が不在になることが予想され，学会情報を共有し，手術室を活用し合える体制を強化する必要があると考えられた．筆者は整形外科の医療秘書として約 10 年間，手術枠調整を担当した経験があり，各科で人員調整や計画的学会参加を行っても，診療科単独では手術室有効利用に限界があると感じていた．そこで，2007 年から麻酔科内で導入し，情報の発信と共有に成果をあげていた電子カレンダー及びメーリングリスト (以下 ML) を活用し，手術室の空き枠を外科系全科で有効活用する仕組みを考案し，その効果を検証した．

方　法

1. 外科系診療科担当の各科医療秘書に協力を依頼し，2016 年度に開催される学会の情報収集を行った．

2. インターネット上の共有カレンダーである Google カレンダー上に「TKH?各科学会年間スケジュール」を作成し，該当診療科名，学会名，会期，開催地の入力を行った．手術室運営委員会委員長と管掌副院長より賛同が得られ，手術室運営

手稲渓仁会病院 医療秘書課
*手稲渓仁会病院 麻酔科・集中治療室

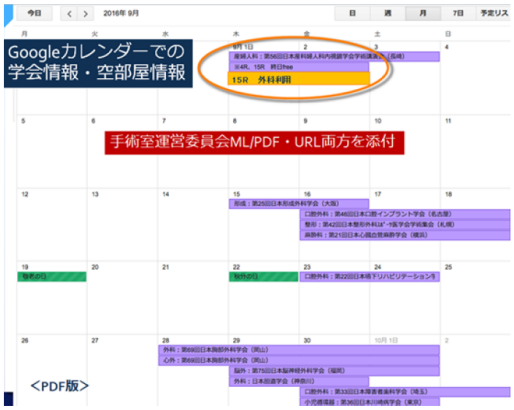


図 1 学会カレンダーでの学会情報・空き部屋情報

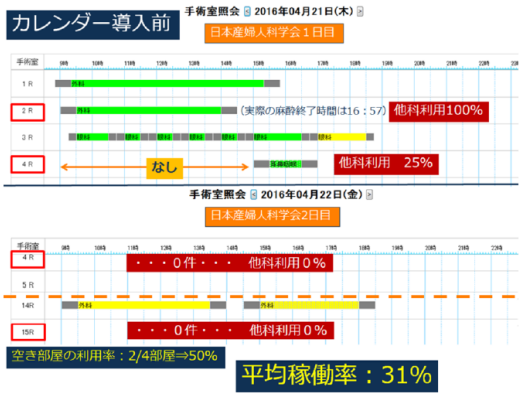


図 2 学会カレンダー導入前の運用状況
(日本産婦人科学会会期中)

委員会での承認を経て，各科の運営委員をカレンダーに招待した．学会の 2 ケ月前の運営委員会開催のタイミングで ML を介して空き枠情報を発信し，早期に各科の空き枠利用希望の確認と，他科の利用を登録できるようにした．

3. 学会カレンダーの画面は，開放する部屋と他科の利用がわかりやすいように表示色を工夫するとともに，運用の普及には簡便な利用が何より必要と考え，カレンダー URL の周知だけでなく，閲覧に Google ログインの手間を省けるよう画面キャプチャーしたカレンダーも配信した (図 1)．

結　果

学会カレンダー導入前後の比較を示した．例えば，日本産婦人科学会は，参加が必須であるため

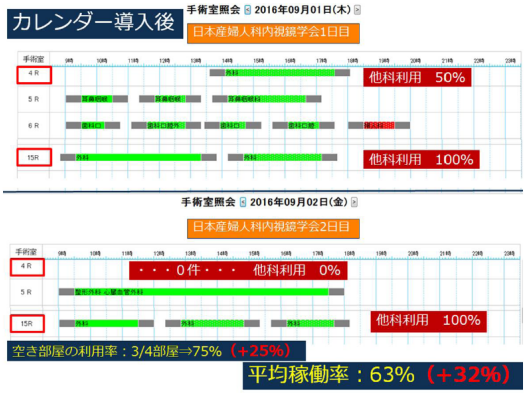


図 3 学会カレンダー導入後の運用状況
(日本産婦人科内視鏡学会会期中)

2016 年 4 月に 2 日間，産婦人科に割り当てられている 1 日 2 部屋，計 4 部屋で産婦人科の定期手術が 0 件であった．他科の手術を入れても，4 部屋それぞれの 1 日の稼働率は，100 %，25 %，0 %，0 %であり，空き部屋の利用率は 4 部屋中 2 部屋の利用で 50 %，実際の稼働時間による一部屋の平均稼働率は 31 %であった (図 2)．

同年 9 月に行われた日本産婦人科内視鏡学会 2 日間の会期中は，同じく 2 部屋で産婦人科の定期手術が組まれなかったが，空き部屋の利用率は，4 部屋中 3 部屋の利用で 75 %，4 月時 50 %が 9 月時 75 %と 25 %増加した．計 4 部屋の 1 日の稼働率は 50 %，100 %，0 %，100 %と，平均稼働率は 63 %であり，32 %増加と，有意に改善した (図 3)．

また，導入後半年で行った学会カレンダーに関する各科の手術室運営委員を対象としたアンケート調査では，「学会カレンダーは手術室運営に有用だと思うか」の問いに対し，「思う」が 80 %，「思わない」が 7 %，「どちらともいえない」が 13 %であった (図 4)．

「学会カレンダーのメリット」については，「大いにある」が 6 %，「まあまあある」が 67 %，「あまりない」が 27 %，「全くない」が 6 %であった．あまりないと答えた理由として，全医師が同じ学会に出席し手術室を空けることはない，定期より臨時手術が多い，特定の部屋でしか手術ができな

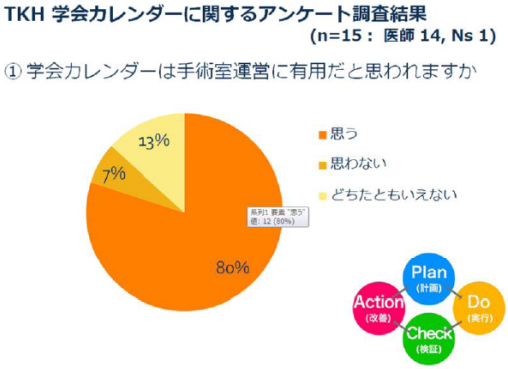


図 4 学会カレンダーに関するアンケート調査結果

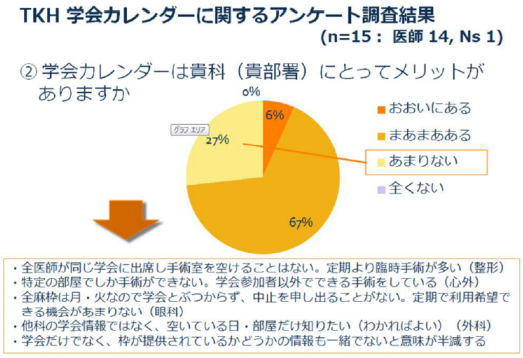


図 5 学会カレンダーに関するアンケート調査結果

い，などがあった (図 5)．また，「他科の学会情報は必要なく，空いている日・部屋だけが知りたい」といった意見を反映させ，「空枠カレンダー」を別途作成し，現在同時発信している．

カレンダーの参照状況は，「直接 Google カレンダーで参照」と「添付 PDF で参照」がそれぞれ 43 %で，参照方法を選択できるようにした結果，合計 9 割近く参照されていることが判明した．運用の普及には，忙しい医師の視点に立った配慮が不可欠と思われた．

考　察

学会による空枠があっても，すべての診療科が活用するとは限らない．そのため，情報発信にも関わらず，空枠が埋まらない場合は，手術件数の多い診療科へ個別に情報発信を繰り返すなどの工夫が必要であった．現在，診療科ごとの医師不在情報は把握出来ていないが，学会情報を共有することによって各科のマンパワー状況を推定し，手術計画調整者が臨時手術や手術列を広げる際のマネジメントの参考となるツールとなった．

結　語

インターネット上の電子カレンダーと ML の運用による学会と空枠情報の共有は定着しつつあり，導入の前後を比較したところ，効率的な手術室運営の一助となるという結果を得ることができた．今後は，さらに体制の変化に対応した運用に発展させていく必要があり，他科同士が利用しない手術枠を提供しやすい環境作りに尽力していくとともに，患者の手術待機時間を少しでも減らし，より効率的な手術室運営と病院経営に貢献していきたい．

ABSTRACT

The effect of utilizing electronic calendar and mailing list for efficient operation of the operating room by medical secretary

Yumi Minamiki[1)], Takeshi Yokoyama[2)], Katsuyuki Katayama[2)]

In our operating room, a medical secretary built a system that shares the Google calendar and mailing list with the person in charge of surgical departments. And we shared information on participation and business trips of academic societies quickly and shared the availability information in the operating room as soon as possible, thereby improving the utilization efficiency of the operating room. Questionnaire survey for users after half year of introduction, the calendar sharing is 80 % useful, the usage method of the calendar is 43 % by the doctor who refers directly to the Google calendar via the Internet, the doctor who refers as the pdf of the mailing list is 43 %.

In the future as a medical secretary, I would like to contribute to more efficient operating room operation by reducing the waiting time of standby patients by creating an environment that makes it easy for each other to provide information.

1) Medical Secretary, 2) Department of Anesthesia & Intensive Care, Teine Keijinkai Hospital

クラウド型データーベースを利用した手術室データ分析

立石浩二，横山健，片山勝之

はじめに

病院の運営について医療経済の面から考えると，健全な病院運営のためには手術室の運営が効率的に行われていることが必須となってくる．そして，手術室運営は人的リソースの投入，器材の効率的な運用，適切な手術予約管理など，考慮検討すべき項目が多岐にわたる．ところがこれらの検討を行うためには，まず手術時間や手術件数などの基礎データがなければ正確な評価，分析を行うことができない．

かつては「麻酔台帳」あるいは「手術室台帳」のような紙ベースの台帳に (図 1), 日々の手術データを手書きで記入していた．このようにして集められたデータは毎月の月報というかたちでまとめられ，最終的には年次報告として手術件数などが集計されてきた．後には Excel や FileMaker のようなコンピュータプログラムを活用したデータベースへと発展し，集計や分析はより簡便に行われるように進歩していった．さらに日本麻酔科学会は 2004 年より JSA PIMS という麻酔台帳プログラムを無料配布し，各施設において電子麻酔台帳が導入されるように勧めている．

このように手術に関する各種データは集計しやすくなったのだが，そのデータをどのように利用し活動分析するかは，未だ試行錯誤中であり定まったものはない．今回われわれは手術室運営の活動状況を分析するため，クラウド型データベースの導入を開始したので，その経過について報告する．

当院の現状

当院では麻酔自動記録装置として MetaVision®(iMDsoft) を利用しており，この記録装置

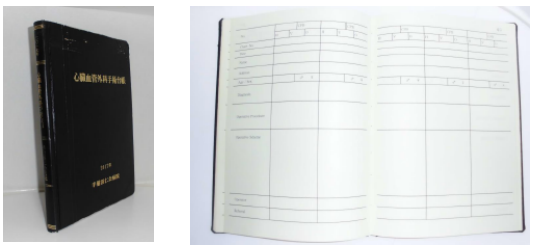


図 1 手術室台帳／麻酔台帳
左:手術室台帳のイメージ,
右：手書きで情報を記録

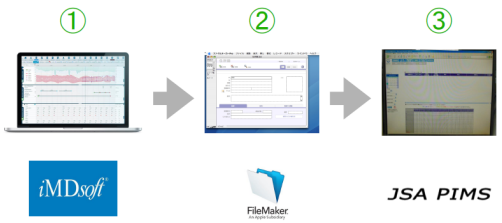


図 2 現行の麻酔関連記録
3 つのシステムでデータ移行しています.

を通じて入力された麻酔手術関連データを外部に出力している．出力されたデータを FileMaker にインポートし，手術時間や担当麻酔科医などの情報を集計する麻酔台帳データベースを作成している．また，麻酔関連データは JSA PIMS 麻酔台帳にも出力されており，学会への麻酔関連データ提出に利用している (図 2).

FileMaker は長年に渡り利用されてきた歴史があり，データを集計するデータベースとしては標準的なコンピュータプログラムである．しかし，FileMaker を活用するためにはある程度のデータベース処理に関する知識が必要であり，いわゆる解説本が多く上梓されている所以である．個人的にはごく初歩的なデータソートや，条件検索はなんとかできるところだが，日々の手術麻酔関連データの分析には至らないのが現状であった．

手稲渓仁会病院 麻酔科集中治療室

そこで今回は，FileMaker が担っていたデータベースとしての機能を，クラウド型データベースであるセールスフォースというプラットフォームに移行することを検討した．

セールスフォースとは

セールスフォースはセールスフォース・ドットコム (salesforce.com, 米国) が提供する顧客関係管理 (Customer Relationship Management) ソリューションを中心としたクラウドコンピューティングサービスのためのプラットフォームである．導入企業のジャンルは幅広く，一般的な営業活動をおこなう会社における顧客関係管理のマネージメントに利用されている．アメリカにおいては，ヘルスケア事業で患者関連データの集計のみならず，診断や医療ケアを提供するためのツールとしても利用され始めている．

セールスフォースを導入するということは，クラウド型データベースを利用することになるため，患者関連データを病院外部のデータ設備に預けるということについて配慮する必要がある．これに関してはいわゆる「3 省 4 ガイドライン」とされる，「医療情報システムの安全管理に関するガイドライン (厚生労働省)」「医療情報を受託管理する情報処理事業者における安全管理ガイドライン (経済産業省)」「ASP・SaaS 事業者が医療情報を取り扱う際の安全管理に関するガイドライン (総務省)」「ASP・SaaS における情報セキュリティ対策ガイドライン」が提言されており，これを遵守する必要がある．その内容や詳細について今回は割愛する．

クラウド型データベース構築の目的

今回クラウド型データベースを構築し，手術室運営において 3 つの目的をもってその機能を活用することを計画した (図 3)．1 つ目は従来の FileMaker による麻酔台帳機能を移管することである．FileMaker 麻酔台帳はデータベースとしての機能を果たしてはいたが，そのデータを分析する

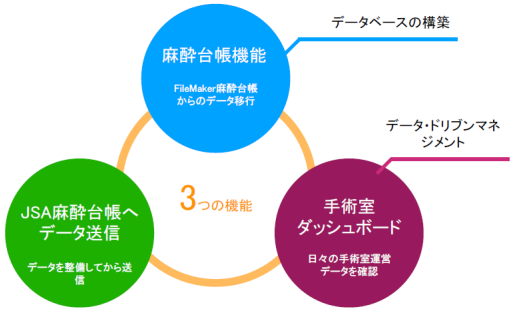


図 3 手術／麻酔台帳管理

という作業に関しては，ある程度 FileMaker の操作方法に習熟している必要があった．また，スクリプトなどを組めば可能ではあるが，リアルタイムでの手術麻酔データ分析をおこなうためには，クラウド型データベースのほうが有利である．2 つ目の目的は JSA PIMS 麻酔台帳へデータ送信をおこなうプラットフォームとしての機能である．JSA PIMS 麻酔台帳のデータだけでは手術室運営分析に必要なデータを網羅しておらず，またデータ活用の自由度も低いためやはり独自のデータベースは必要である．しかし，日本麻酔科学会からは JSA PIMS の導入必須化についてのアナウンスも出されており，今後はますます JSA PIMS 台帳の重要性が増してくることが予想される．JSA PIMS と病院独自の麻酔台帳の二本立ての運用ではデータ整備の作業が煩雑になるため，クラウド型データベースを当院の主たる麻酔台帳として管理し，JSA PIMS にはその中から必要なデータを送信することとした．3 つ目は手術室ダッシュボードとしての機能である．従来の手術室運営に関するデータは月報あるいは週報という間隔で得られたものを分析し，それを基にして改善行動を起こしていた．しかし，それでは改善活動による手術室運営の変化のスピードが，月遅れになることは避けられない．セールスフォースが提供するクラウド型データベースにはダッシュボード機能が備わっており，日々のデータを集計し棒グラフや折れ線グラフ，レベルメータなどでデータを可視化することができる．ひとたび，分析する項目や表示形式を設定しておけば，それ以降は自動的

図 4 ログイン画面

図 5 麻酔台帳としての機能

に分析結果を日々確認するだけである．したがって集計及び分析のための作業時間が大幅に短縮できることになり，その分析に基づいた改善行動を速やかに起こすことができる．

実際の画面

図 4 はセールスフォースのログイン画面である．ここから，レポート，ダッシュボードなどの必要な画面へ遷移していく．図 5 はセールスフォースのレポート画面である．従来の Excel による集計と同様でデーターを一覧するためのものであり，麻酔台帳としての基本的な部分である．図 6 は実

前日の手術件数
前日の手術時間(分)
前日の最終手術終了時刻
先月の手術室利用率
前日の手術室利用率
前日の手術室利用率(OR別)
今週の手術件数(定期/臨時/緊急)
今週の手術室利用率(定時内)
今週の手術室利用率(定時外)

図 6 実際のダッシュボード画面

際のダッシュボード画面である．定期／臨時／緊急手術などの件数の集計は数字で示されている．手術室の稼働率をみるための手術室占有割合は，先月と今月のデータがレベルメータで表示されている．また，手術件数や手術室占有時間については，1 週間の推移が折れ線グラフによって表示されている．このように定点観測しておきたい分析項目は，日・週・月単位 (場合によっては年単位) で設定することができ，ミクロの視点からマクロの視点まで幅広く観察することができる．

図 7〜図 9 までは，手術室運営委員会の報告に用いるダッシュボード画面である．当初の運用は運営委員会資料として印刷物として提供されるが，将来的にはコンピュータ画面によるプレゼンテーション形式をとる予定である．

今後の課題と目標

手術関連のデータを収集するにあたって，クラウド型データベースを利用し，まずは一般的な麻酔台帳としての機能から開始した．しかし，この時点で「手術術式や診断名の標準化」という問題点が挙げられることになった．当院では手術術式に関してマスターの整備が十分ではなく，またフリーの術式入力を許容しているため，同じ術式に対して複数の呼び名が存在している．例えば腹腔鏡下胆嚢摘出術であれば，ラパ胆，ラパコレ，Lap-C などの術式が入力されており，データを集計するときに支障となる．将来は K コードに基づいた術式マスタの整備と，独自の術式に関してもなるべく過去の術式実績マスタを整備し，フリー入力術式の割合を減らすことである．同様のことは診断名についてもあてはまる．特に診断名については診療上の診断名とレセプト請求上の診断名という問題も検討しなければならない．さらに，手術麻酔データ入力精度の低さも問題となる．これまでは，手術麻酔台帳として一定の機能はしていたものの，その集計結果による分析成果の出力はあまりされておらず，データ入力をおこなう側も

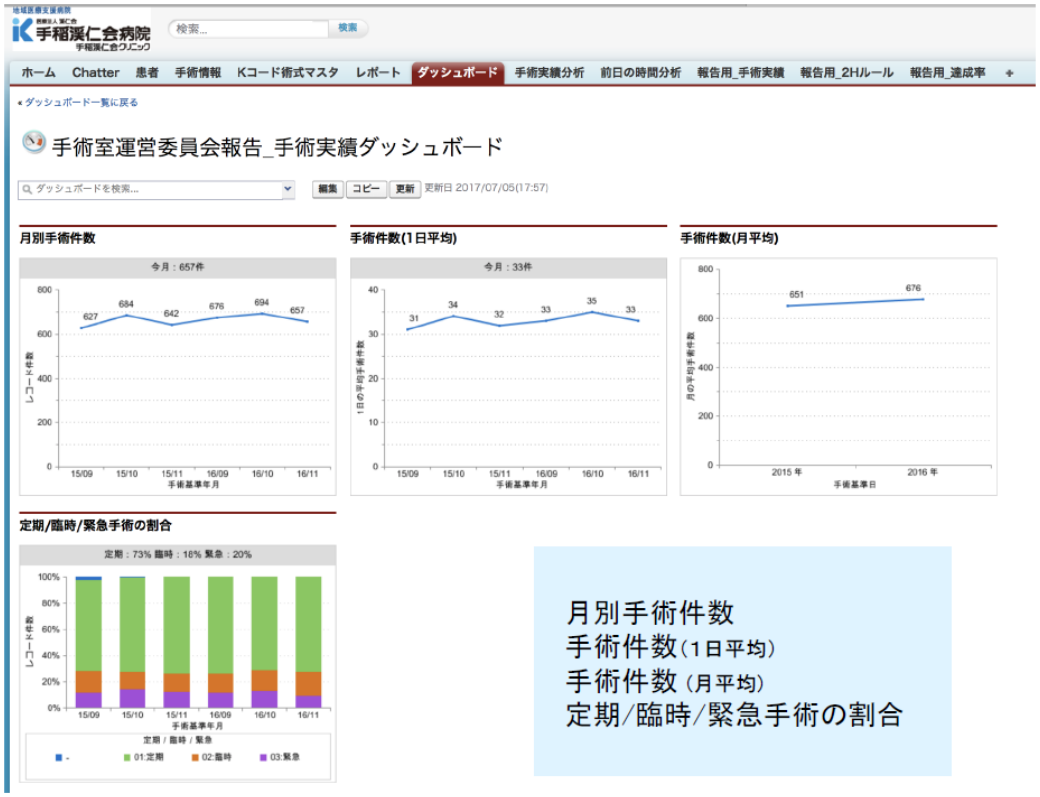


図 7 手術室運営委員会報告_手術実績ダッシュボード

図 8 手術室運営委員会報告_2 時間ルール等の実績ダッシュボード

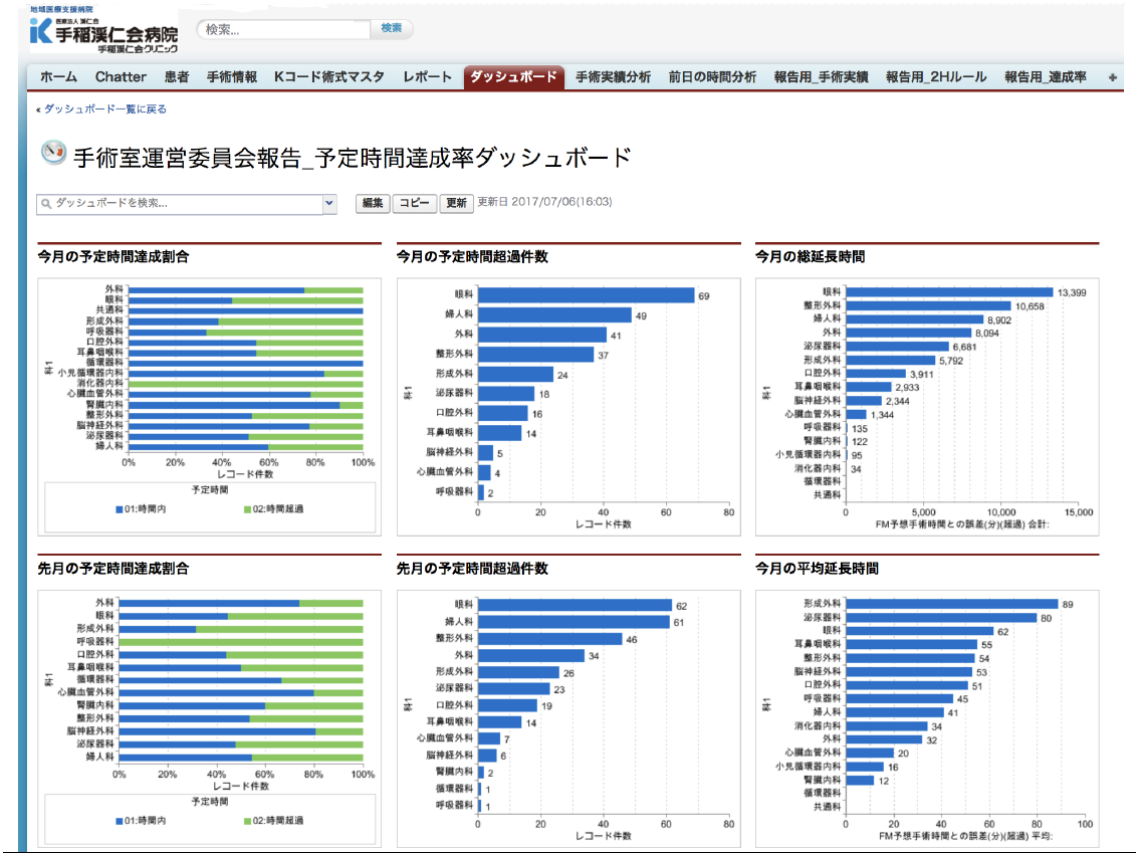


図 9 手術室運営委員会報告_予定時間達成率ダッシュボード

何のためにデータを入力しているのか目的意識を持ちづらかった．そのため，データの入力漏れによる欠落や入力ミスが発生しても，欠損データの補充や誤ったデータの修正は JSA PIMS に報告する必須データ以外についてはあまり行われず，過去に集積されたデータの精度は必ずしも良くなかった．

「データを正しく入力してください」とアナウンスをしても，それだけでは入力精度は上がらない．麻酔記録装置からのデータ入力が，後の手術室運営データ分析につながり，そして手術室業務の改善という形で反映される，いわゆる PDCA[1]サイクルが確立されてこそ，データ入力の意義が理解されることになる．また，どのようなデータを収集すべきであるかということも，根本的で大きな課題である．今回，一般的に手術室データ分析でよく行われている「朝 1 番目の手術の入室時間」という項目について集計し分析を行った．海外のレポートでは手術室運営上の重要な指標とされ，多くのダッシュボードで採用されている集計項目である．当院ではよほどのことがない限り，朝 1 番目の手術室入室時間が大きく変化することはなかった．アメリカなどの病院では，手術室に入室する前のプロセスに，「当日の朝入院手続きをしてから手術室に入室する」という患者動線の違いがあり，そのプロセスに滞りがあると手術室入室時間が遅延してくるために重要な指標として取り扱われる．日本における手術室運営ということを考慮に入れると，必ずしも海外で報告されているダッシュボードなどがそのまま当てはまらないケースもあるため，手術室運営データ分析は独自に手術室運営に必要

[1]Plan(計画) → Do(実行) → Check(評価) → Action(改善) を繰り返すこと

な項目を検討しなければならない．

今回このようなデータ分析について試行錯誤を始めたが，上述のように術式・診断名の標準化や，適切なデータを用いた分析をおこなうことなど，専門性が求められる作業であることが次第に明らかとなった．海外の病院ではこのようなデータ分析をおこなうデータアナリストが存在し，国内でも大学病院などでは診療情報分析部のような部署が，ビッグデータの分析を支援している．市中の民間病院ではこのような作業を独自に行うよりも，コンサルティング会社のような民間業者に依頼して病院経営データ分析をおこなうことのほうが一般的である．これからも手術室運営データ分析は行っていくが，属人的な作業にならないように配慮する必要がある．

最後に，このデータ分析の目的は，手術室の生産性の向上である．そのためには，「手術室の生産性とは何か」から定義をしなければならない．経済学的な生産性とは，ある資源から付加価値を生み出す際の効率の程度として定義されている．これを手術に当てはめれば，患者さんに手術療法を提供することで，患者さんの治療にどれだけ貢献したのか，ということになるだろう．しかしその際に，医師や看護師などの人的資源と医材などの医療資源をどのくらい投入するのか，生み出す付加価値とは手術件数なのか手術時間であるのか，それとも手術後の患者さんの治療成績であるのか，といったことを決めなければならない．当面の目標は「定期手術枠内での手術室稼働率の向上」であり，外科医，看護師などのマンパワーの投入や医療設備・医材など医療資源の投入について検討するのはまだ先の課題である．また，このようにして得られた手術分析データを日々の手術室運営の改善にどのように活かすのかという，実務上の行動能力も求められる．データ分析を行い，その結果に一喜一憂していても，机上の空論でしかなく現場は何も変わらないのであり，このことのほうが，個人的には大きな課題であると感じている．

LaTeX 用論文作成支援パッケージの Windows への移植

萩平 哲 ，高階雅紀* ，森 隆比古†

はじめに

電子組版ソフトウェア TeX 上のマクロである LaTeX は Lamport によって開発された．理工系の分野では論文作成などに LaTeX が広く利用されており，各雑誌ごとに論文の書式用 LaTeX マクロや引用文献リストを自動生成する BibTeX スタイルマクロが利用可能であることがほとんどである．しかしながら医学系雑誌ではこのようなマクロが入手できることは稀であるため，筆者らは以前に UNIX 上でこのような LaTeX や BibTeX スタイルマクロの作成を支援するパッケージを自作し配布してきた．作成したパッケージは UNIX の shell スクリプトと GNUawk 及び GNUsed のスクリプトで構成されていた．

かつては LaTeX は主に UNIX 上で使用されていたが，ASCII が日本語化した pTeX (publishing TeX) を有志たちが Windows で利用出来るようにしてきたことから Windows 版の LaTeX ユーザも増加した．近年では LaTeX もパッケージ化された TeXLive という形で配布されており，UNIX 上だけでなく Windows や OSX(Macintosh) 上でも簡単にインストールして利用出来るようになっている．そこで，以前作成した LaTeX や BibTeX スタイルマクロの作成を支援するパッケージの Windows への移植を試みた．なお，Windows7 の ultimate 版や enterprise 版にはオプションとして UNIX ベースアプリケーション用サブシステムというものが存在するため，スクリプト類の行末コードを変換するだけで元のスクリプトを利用することも可能であったが，それら以外の Windows7 や Windows8 以降ではこれらは利用できないため，スクリプトそのものを移植する必要があった．

なお，GNUawk 及び GNUsed はすでに Windows 上に移植された実行形式のアプリケーションが存在するため，これを利用した．awk 及び sed は標準入力やファイルから 1 行ごとにデータを取り込み与えられたスクリプトに沿って処理を行っていくツールである．

Windows7 以降の PowerShell

UNIX 上のスクリプトを開発した当時はまだ Windows XP の時代であり，shell の機能は UNIX のそれに比べ格段に貧弱であった．従って当時の環境ではスクリプトを Windows 用に移植するのは困難であった．しかしながら Windows7 以降には PowerShell という強化版の shell が装備されており，その機能は以前の shell よりもかなり強力になった．そこで，今回は PowerShell を用いて以前作成した UNIX 用スクリプトの Windows への移植を試みた．

PowerShell の問題点とその解決策

PowerShell は以前 UNIX 上で作成したスクリプトを移植するために必要な基本機能は全て備えていた．キー入力の受付や文字列操作，ファイル入出力などはほぼコマンドの置き換えのみで可能であったし，if や case などの条件文も同様であった．システムから現在の日時を取得する関数なども利用可能であった．従って移植においては多くの部分はかなり簡単に移植することが可能であった．ただし，問題となったのは GNUawk や GNUsed などの外部コマンドに引数を付けて呼び出すときの引数の渡し方であった．UNIX でも Windows でも文字列変数にコマンドパラメータを入れておいて，これを外部コマンドの引数と

関西医科大学 麻酔科学講座
*大阪大学医学部附属病院 手術部
†大阪急性期・総合医療センター 救急救命センター

して渡すことは可能であった．しかし，UNIX では引数の中にコンマ ”,”が入っていても問題ないのだが，Windows では外部コマンドにパラメータを渡す場合にはパラメータリストをコンマ ”,” 区切りで渡す仕様のため引数にコンマを入れることができないことが問題となった．これを解消するために引数を一旦ファイルに書き出して，そのファイル名を引数として渡すようにスクリプトを変更した．List 1 は UNIX の shell script で，この行では外部コマンドの sed を呼び出して処理するようになっている．こちらはわずか 1 行であるが，これと同等の機能を Windows で実現す流には List 2 のようにする必要があった．つまり，コマンドの引数を一旦ファイルに書き出し，さらに PowerShell をチャイルドプロセスとして call し，そこに実行すべきコマンドとして sed 及びその引数を渡しておく，というものである．非常に煩雑である上に引数を書いたファイルは後で消去する必要もある．

```
sed s/NAMEFORMAT/"{ff~}{vv~}{ll}{, jj}"/g tmp.bso >>$name.bst
```

[**List 1**] UNIX の shell script

```
$fmstr = "s/NAMEFORMAT/" + "{ff~}{vv~}{ll}{, jj}" + "/g"
Write-Output $fmstr | Set-Content -Encoding ASCII $scfile
Start-Process -FilePath PowerShell -ArgumentList $GSED,"-i -f",$scfile \\
  ,$tmpfile -Wait
Get-Content $tmpfile | Add-Content -Encoding ASCII $dest
```

[**List 2**] Windows の PowerShell script

これらの対応で UNIX 版の shell スクリプト部分は全て Windows の PowerShell のスクリプトに書き換えることができた．

UNIX と Windows での行末の違い

UNIX では行末は LF(0x0a) であるが，Windows では CRLF(0x0d 0x0a) であるため，テキストである shell スクリプトや awk, sed のスクリプトは行末変換を行う必要があった．また，生成する LaTeX や BibTeX 用のスクリプトも行末を同様に変更しておく必要があった．

まとめ

Windows の PowerShell を利用すれば UNIX の shell スクリプトを Windows に移植することは可能であるが，チャイルドプロセスを実行させる場合の引数の扱いには特別な工夫が必要となることが判明した．

参考文献

1. Hagihira S. Tool for customizing BibTeX style files. *The Asian Journal of TEX* 2009;3:125-31

ABSTRACT

Porting of UNIX shell scripts for customizing LaTeX /BibTeX style files to the Windows platform

[1]Satoshi Hagihira, [2]Masaki Takashina, [3]Takahiko Mori

[1]Department of Anesthesiology Kansai Medical University

[2]Surgical Center, Osaka University Hospital
[3]Department of Emergency Medicine, Osaka General Medical Center

We previously developed a tool to customize LaTeX /BibTeX style files that matched the required styles for manuscript submission to each journal. This tool consisted with UNIX shell scripts and in part with GNUawk and GNUsed scripts. Currently, easy to use LaTeX package, TeXlive, became to be available, and LaTeXon Windows also became popular. Furthermore, Windows 7 or later has equipped a new powerful shell (PowerShell), although the shell on previous version of Windows (XP) had poor performance compared with UNIX shells. And we can get GNUawk and GNUsed that can run on WIndows platform.

Then we tried to port our tool to Windows platforms. In porting our scripts, we found a problem in passing parameters that contain ”,” to a child process as an arguments. We settled this problem by making a file that contains arguments and by calling PowerShell as a child process to execute GNUawk or GNUsed commands.

Using this method, we finnaly succeeded to port all tools on Windows platform.

paperChart にテキスト・バイナリデータを送信するための.net コンポーネントの作成

斎藤 智彦

はじめに

paperChart の作者，故越川正嗣氏が公開された最終バージョンから 6 年が経つが，その間に新たなモニターや麻酔器などが臨床で使用されるようになった．著者もシリンジポンプやモニター機器のインターフェースプログラムを作成しているが，現在使用されている装置の種類からは十分とはいえない．

新しい機器に対応するインターフェースプログラムの作成には，より多くのプログラマーの協力が必要だが, paperChart へのデータ送信は独自の部分が多く，非公開であるため，インターフェースプログラムの作成は容易ではない．一般のプログラマーの協力を得るには，簡単に利用できる開発用コンポーネントが必要である．

目　的

paperChart と生体情報モニターなどの機器を接続するためのインターフェースプログラム (外部モジュール) 開発に必要なコンポーネントを Windows 上の.net 環境で，汎用の開発環境 Microsoft Visual C#で作成し，コンポーネントの使用方法と，作成したコンポーネント DLL を ソースコードを含めて公開する．

paperChart の動作

麻酔中に計測されたバイタルデータ，入力されたイベント，投与薬剤情報，手術属性情報はリアルタイムにデータファイルに保存される．バイタルデータ・波形データは独自形式のバイナリデータファイル .wna に保存されるが，キーボードから入力されたイベント，薬剤情報，属性データは改ざん防止のハッシュ値とともに .txt ファイルに保存される．

paperChart では，バイタルデータを取得するモジュール，シリンジポンプデータを取得するモジュール，患者属性を入力するモジュール，すべて外部プログラムとして構成されており，麻酔記録本体 (NV.exe) とは独立して動作する．

各モジュールと NV.exe との通信は, Win32API SendMessage() 関数, WM_COPYDATA メッセージを利用した Windows プロセス間通信で行われる．WM_COPYDATA メッセージの処理中は, 異なるプロセス上のメモリー内容を参照できるように Windows が確保するためプロセス間での共有が可能となる．(表 1)

プロセス間通信に必要な情報は，NV.exe が各モジュールを起動する際に，コマンド引数として渡される．(表 2)

NV.exe が使用するプロトコルは公開されていないため, すべての処理を行うことはできないが, バイタル情報，アラーム情報，イベント情報，属性情報，薬剤投与情報，については解析できており，プロセス間通信のプロトコルを実装すれば, 外部プログラムから NV.exe にデータ送信することが可能である．

コンポーネントについて

コンポーネントは，Microsoft Visual Studio Community 2013 を使用し，C# で .net コントロール (DLL) として作成した．Microsoft Visual

独立行政法人 労働者健康安全機構 岡山ろうさい病院 麻酔科

表 1．SendMessage 関数と WM_COPYDATA メッセージによるプロセス間通信

SendMessage(hWnd, Message, wParam, lParam)		
HWND	hWnd	送信先ウィンドウハンドル（NV.exe）
MESSAGE	Message	WM_COPYDATA
WPARAM	wParam	送信元ウィンドウハンドル（外部プログラム）
LPARAM	lParam	データ構造体へのポインタ（CDS）
CDS(Copy Data Structure)		
DWORD	wData	送信するコマンド種別
DWORD	cbData	データ長
LPVOID	lpData	データの先頭アドレス

表 2．dircnf.txt に記述する 外部プログラム起動引数の書式

module = xxxx.exe /std_arg/ /wna_file/ /text_file/ port=COM1: x=y ;	
xxxx.exe	外部モジュールとして xxxx.exe を起動．絶対パス名も記載可 NV.exe から ShellExecuteEx()関数で起動される
/std_arg/	起動時引数として以下の項目に展開される hwnd=00040492 edit=y sec=10735 start=1317270836 hwnd: NV.exe のウィンドウハンドル start: NV.exe が計測を開始した時刻（Unix Time） sec: プログラムが起動された時刻と start との差分秒数
/wna_file/	症例ファイル(波形・数値・アラーム)バイナリファイル
/text_file/	症例ファイル(属性，薬剤，イベント)テキストファイル

Studio 2013 Community は，個人またはフリーソフトウェア開発者，小規模のソフトハウスであれば無償で利用することができる．

コンポーネントは，タイマーなど他コントロールと同じく，フォーム上に貼り付けることが可能であり，初期パラメータはプロパティに値を設定することができる．必要なイベントハンドラはダブルクリックで作成できるようにした．実際には，フォームに直接貼り付けるよりもコントロールとしてプログラム内で作成した方が，より多くの項目を設定することが可能である．

本コンポーネント (PpcCtrl.dll) は，基本クラス PpcCtrl，SerialPort をラッピングした通信処理を行う PpcComm，コマンドライン引数の解析を行いプロセス間通信でバイタルデータやイベント・属性情報を送信する PpcApi，設定ファイルや実行ファイルの格納フォルダをチェックし CONF ファイル内の項目を読み取る PpcEnv，定数や変

換処理を行う PpcConst，症例ファイル (.txt) の解析を行う PpcFile の 6 つのクラスから構成されており，連携して使用することも，単独で使用することもできるようにした．

コンポーネントを使用して通信プログラムを作成するには，C#で Windows フォームプログラムの作成を選択し，1) ツールボックスに ppcCtrl.dll を追加．2) フォームに ドラッグして コントロールを配置．3) フォームの初期化時 (通常は Form_Load イベント) に Init() 関数でコントロールを初期化する．Init() 関数では，さまざまな初期化やコマンド引数の解析の他，フォームへのイベント通知を有効にするために，実行プログラムのメインフォームを引数で渡す必要がある．

コンポーネントには，外部データ取得するためのシリアルポートや，タイマーを制御する関数も用意しており，シリアルポートの受信イベント処理や，タイマーのタイムアウト処理を，フォームと同じスレッドで処理できるようにした．

NV.exe は外部モジュールにデータ計測終了のイベントを通知しないため，NV.exe が作成するミューテックスをチェックし，データ計測が終了した時点で，モジュールプログラムを終了させるようにした．

結　果

PpcCtrl.dll を使用することで，paperChart 独自の処理 1) NV.exe から起動された場合のコマンドライン解析，2) NV.exe 実行時の各種フォルダパスの取得，3) Win32API プロセス間通信を使用した NV.exe へのデータ送信，4) C# Integer 型から paperChart 数値データの変換，5) 症例データファイルの解析 がクラスのメソッドを呼び出すだけで可能となった．

プログラマーは，個々の機器ごとに異なるシリアル通信処理やデータ処理を中心にコードを記述すればよく，NV.exe とプロセス間通信やデータ形式について考える必要がなくなったため，より簡単に通信モジュールプログラムを作成できるようになった．

考　察

本コンポーネントの利用は，.net Framework 上の共通中間言語 (CIL) で作成された DLL が利用できる環境であれば，.net Framework のバージョンの確認だけで，VB，C#など使用する言語を選ばない．Windows Presentation Foundation(WPF) 環境ではコンポーネントをフォームに貼り付けて使用することはできないが，コード内でオブジェクトを作成することで一部の機能を除き，多くの機能が利用できる．

機器ごとに異なるシリアル通信処理やデータ処理関しては，共通化できる部分が少なくカプセル化することができなかった．

インターフェースプログラムを作成するためには，各デバイスの通信プロトコルを取得し理解する必要があるため，それなりのプログラミングスキルは必要である．

まとめ

paperChart に外部プログラムからデータ送信するためのコンポーネントを作成した．機器ごとに異なる通信処理やデータ処理を記述するだけで，新たなモニターやデバイスに対する通信モジュールプログラムの作成が容易になった．作成したモジュールプログラムを NV.exe から利用するためには CONF ファイル設定を変更する必要があるが，これらの設定を簡単に行うことができるツールも整備してゆく必要があると感じる．

本コントロールプログラム (ppcCtrl.dll) は，ソースプログラムを含め，paperChart.net に公開する予定である．

参考文献

1. 斎藤智彦．paperChart の遺志と周術期 IT の未来を考える－開発者として何ができるか－．麻酔・集中治療とテクノロジー 2012，京都：北斗プリント; p.41-48, 2013.
2. 斎藤智彦．自動麻酔記録ソフトウェア paperChart 対応シリンジポンプデータ送信プログラムの作成．麻酔・集中治療とテクノロジー 2016，京都：北斗プリント; p.41-48, 2017.

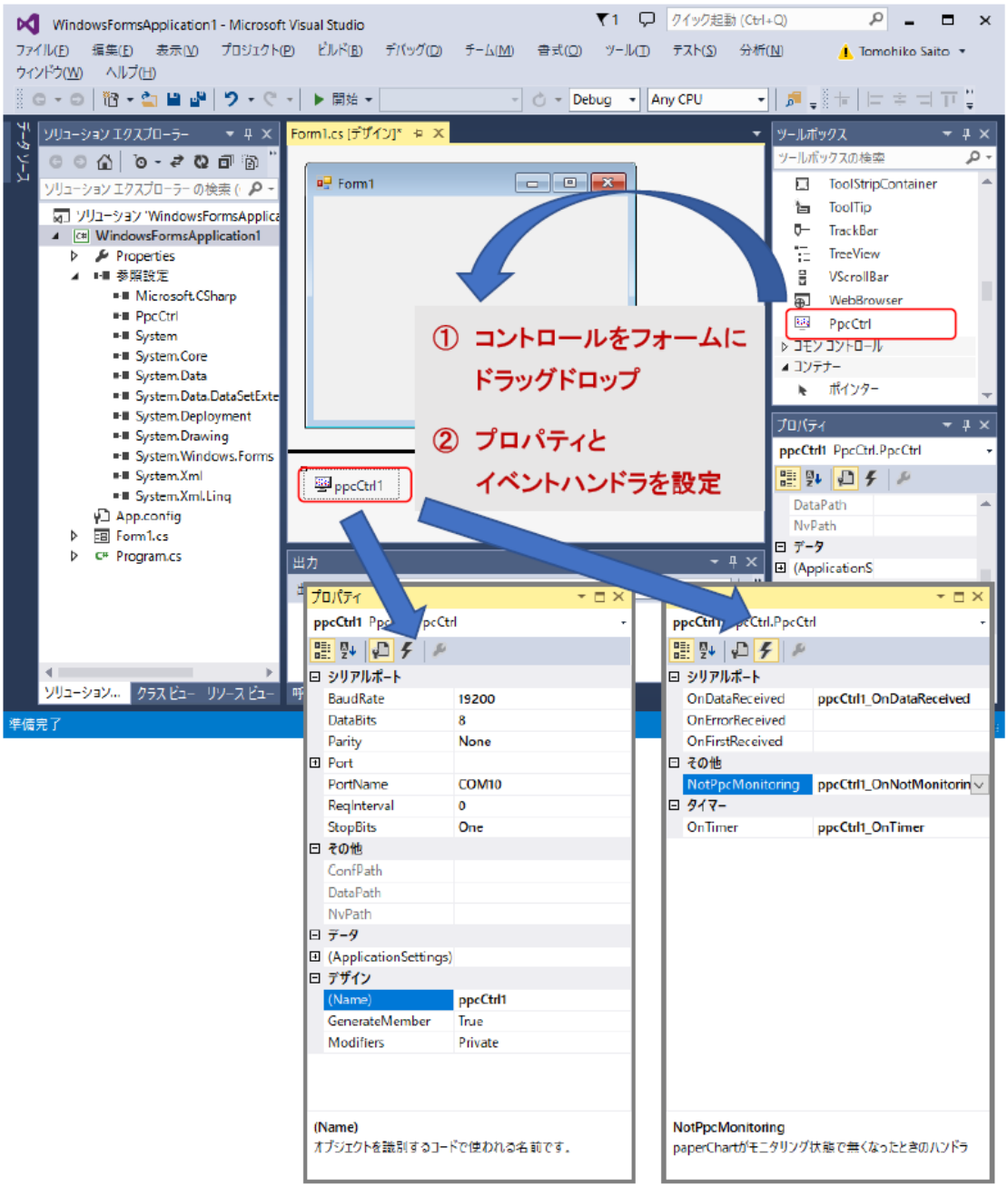


図 1．PpcCtrl.dll の使用方法

```
public partial class Form1 : Form
{
    public Form1()
    {
        InitializeComponent();
    }
    private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
    {
        ppcCtrl1.Init(this);  // PpcCtrl の初期化
    }
    private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        // 患者属性（demographs）の送信
        ppcCtrl1.SendDemograph(string[] new {“ID==1234”,” 氏名==北海太郎”});
        // イベント（remarks）の送信
        ppcCtrl1.SendRemarks(“神経ブロック”,” 閉鎖神経ブロック ｷｼﾛｶｲﾝ”);
        // バイタルデータ配列の作成
        PpcNumData[] data = new PpcNumData[] {
            new PpcNumData("BIS", 0x0200, 880, -1),
            new PpcNumData("NIBP", "mmHg", 170, 50, 0, 0),
            new PpcNumData("pH", 0x0200, 7432, -3)
        };
        // バイタルデータ（配列データ）の送信
        ppcCtrl1.SendNumData(data);
    }
    // … その他，実際の処理を記述
```

図 2．PpcCtrl.dll の初期化と NV.exe へのデータの送信

付表 1．PpcCtrl の プロパティ

プロパティ名称	型	内容
PortName	String	シリアルポート名(COM1)
BaudRate	Int	ボーレイト
DataBits	Int	データ長
StopBits	Int (StopBit)	ストップビット
Parity	Int (Parity)	パリティ
ReqInterval	Int	情報取得間隔(秒)
NvPath	String	paperChart　NV.exe のフルパス名
ConfPath	String	paperChart　設定ファイルのパス名
DataPath	String	paperChart　データフォルダのパス名

付表２．PpcCtrl の イベント

イベント名称	引数	内容
OnFirstReceived	object, event	最初の通信での受信イベント処理
OnDataReceived	object, event	通常通信での受信イベント処理
OnErrorReceived	object, event	通信エラー時のイベント処理
OnTimer	object, event	タイマー(ReqInterval 時間)イベント処理
NotPpcMonitoring	Event	paperChart が計測モード終了時の処理
OnDeviceTimeout*	object, event	デバイスと通信が出来なくなった場合の処理

付表３．PpcCtrl のメソッド（シリアル通信系）

メソッド名称	引数	内容
Init	System.Windows.Forms.Form	コンポーネントの初期化
SetTimer	Int （タイマー発生間隔）	タイマー 開始
KillTimer	Void	タイマー 終了
CommOpen	Void	シリアルポート オープン
CommClose	Void	シリアルポート クローズ
CommWrite	Byte[], int / string	シリアルポート 出力
CommFirstRequest	String	初期通信データの送信
CommIntRequest	String	時間毎に通信するデータ

付表４．PpcCtrl.PpcApi のメソッド （プロセス間通信系）

メソッド名称	引数	内容
SendRemarks	String, String	リマーク・イベントデータ送信
SendDemographs	String/String[]	症例情報・属性の送信
SendAdministration	String	薬剤情報の送信
SendOpenFile	String	「開く」でオープンするファイル名
SendAlarm	String	アラーム情報の送信
SendNumData	PpcNumData クラス	モニター数値情報の送信

付表５．PpcCtrl.PpcFile の メソッド

メソッド名称	引数	内容
AnalyzePpcInfo	String	指定したファイルを解析
GetPpcInfo	ItemClass(Int)	DMG/REM/ADM/CALC の各項目をディクショナリで返す
GetRemTime	Void	REM 項目を<項目名, DateTime>ディクショナリで返す
GetItemStr	String	データ項目の中で指定したキーに対応する配列要素を返す
GetItemDate	String	リマークスの中で指定したキーに対応する時刻情報 DateTime を返す

付表６．PpcCtrl.PpcConst(UnixTime) の メソッド

メソッド名称	引数	内容
FromUnixTime	Int32 / string	UnixTime ⇒ DateTime 変換
GetUnixTime	DateTime	DateTime ⇒ UnixTime 変換
Now	Void	現在時刻を UnixTime で返す

付表７．PpcCtrl.PpcConst のプロパティとメソッド

名称	引数	内容
PPC_CMD_XXX		NV.exe に送る コマンドコード
PPC_MENU_XXX		NV.exe を制御するメニューID
UnitName	UInt32	単位コード ⇒ 単位名称
UnitCode	String	単位名称 ⇒ 単位コード

ABSTRACT

Six years have elapsed since the final version of Dr. Masatsugu Echikawa, author of paperChart, during which time new monitors, anesthesia machines were used clinically. For several devices, I also created the interface program, but it is not enough from the devices currently used. The cooperation of more programmers is necessary to create the interface program corresponding to the new device, but the data transmission to paperChart has many original protocols but there is few published information, the cooperation of general programmers, a development tool to be easily used is necessary. So, I have created components for sending data to paperChart. The components were created in C# using Microsoft Visual Studio Community 2013. By using this component, the programmer can describe the code mainly for the serial communication data processing which is different for each individual device without being conscious of paperChart communication protocol, and it has been easier to write the interface program. However, in order to create the interface program, it is necessary to acquire and understand the communication protocol of each device, so a proper programming skill is necessary.

Key words:
paperChart, DLL(dynamic link library), .net Framework

Japan Organization of Occupational Health and Safety:
Okayama Rosai Hospital, Okayama, 702-8055

呼気のガス濃度を用いた吸気の平均酸素濃度の推定法

薊 隆文*†，祖父江和哉† ，播磨 恵†

【要　旨】
経鼻カニューラを用いた酸素療法は広く行われているが，自発呼吸の吸気流速・パターンにばらつきがあるため吸気の酸素濃度は一律に求められなかった．そこで，肺胞気式とガスモニターの呼気濃度を用いて吸気酸素濃度をより正確に求める方法を考案した．計算された吸気酸素濃度は通常用いられている濃度と異なったが，これは個々の呼吸パターンの違いをあらわしていると考えられた．この方法は酸素投与機器の酸素投与効率の評価もできる可能性がある．

はじめに

軽度の低酸素血症や術後の予防的酸素投与として経鼻カニューラによる酸素投与が最も簡便な方法として広く行われている．酸素流量に応じたこの時の吸気酸素濃度は教科書・成書に示されているが，ばらつきがある．実は，その酸素濃度を正確には規定できないからである．吸気の流速が呼吸パターンによって大きく変化して周囲から空気を引き込むためで，同じ酸素流量でも吸気酸素濃度は一呼吸の間だけでも大きく変動する．術後の予防的投与や軽度の低酸素血症では，通常はパルスオキシメータでモニターしているので酸素濃度を厳密に知る必要性は高くはない．しかし，その酸素濃度を簡便に知ることができれば術後無気肺の早期発見や，病棟での軽度の低酸素血症からの悪化をより早く発見できる可能性はある．そこで，この酸素濃度をガスモニターで示される濃度を使用して正確に計算する方法を考案した．

測定法の原理

図１のように鼻孔にサイドストリーム型カプノメータのプローブを置けば，吸気酸素濃度がモニター画面に表示される．しかしこの方法では，吸気流速が大きい吸気の初めに周囲から空気が引き込まれ濃度が変動し波形が安定しない．そのため表示される濃度の信頼性は低い (図 2)．結果としてこの方法では吸気酸素濃度は測定できない．

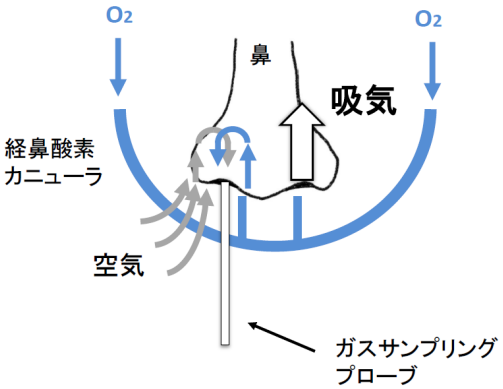


図 1 吸気ガス濃度測定上の問題
吸気の初めには吸気流速が大きく周囲から空気を同時に吸入する．

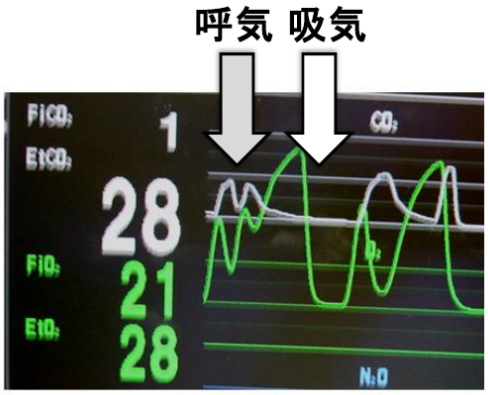


図 2 酸素濃度・$P_{ET}CO_2$ の波形
吸気酸素濃度の波形も呼気の $P_{ET}CO_2$ の波形も安定しない．

一方，呼気終末の濃度は肺胞で平均化されるので呼気流速にかかわらずほぼ一定である．そ

*名古屋市立大学看護学部　病態学 (麻酔学)
†名古屋市立大学大学院医学研究科　麻酔科学・集中治療医学分野

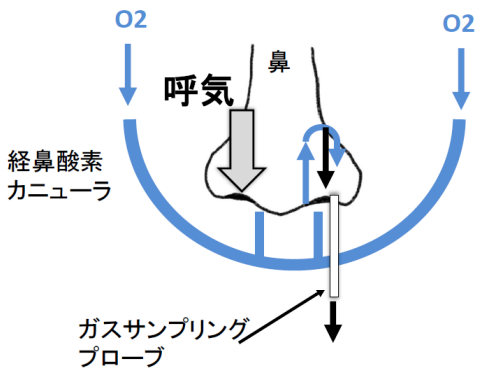


図 3 呼気ガス濃度測定上の問題
呼気時に経鼻カニューラからの酸素が混入するため P_{ETCO_2} が不正確になる．

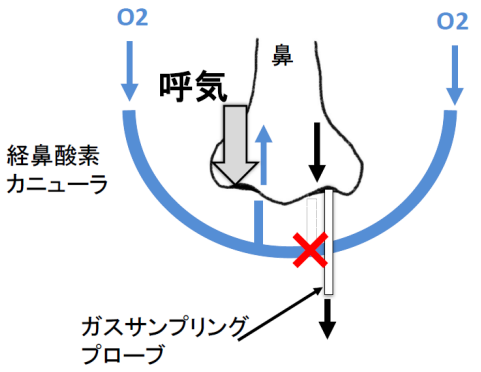


図 4 片側酸素投与
酸素の投与とプローブを別にすることで，呼気時に経鼻カニューラからの酸素が混入しなくなる．

こで，肺胞気式 $P_{AO_2} = P_{IO_2} - P_{aCO_2}/R$ を濃度に変換し，F_{IO_2} について書き換えれば，$F_{IO_2}=F_{AO_2}+F_{ACO_2}/R$ となり，F_{AO_2}，F_{ACO_2}，R が分かれば，F_{IO_2} が計算できることになる．F_{AO_2}, F_{ACO_2} はガスモニターの F_{ETO_2} と P_{ETCO_2} から変換した F_{ETCO_2} を用いればよい．

ここで，P_{AO_2}：肺胞酸素分圧，P_{IO_2}：吸気酸素分圧，P_{aCO_2}：動脈血二酸化炭素分圧，R：呼吸商 (ガス交換比)，F_{IO_2}：吸気酸素分画，F_{AO_2}：肺胞酸素分画，F_{ACO_2}：肺胞二酸化炭素分画，F_{ETO_2}：呼気終末酸素分画，F_{ETO_2}：呼気終末二酸化炭素分画

しかし，ここにも別の問題がある．呼気に経鼻カニューラからの酸素が混入するため (図 3)，酸素濃度は実際より高めに，P_{ETCO_2} は低めに表示されることである．そこで，酸素を一方の鼻腔から投与し，そしてガス濃度をもう一方の鼻腔で測定する (図 4) と，安定した呼気濃度が計測できる (図 5)．

さらに，経鼻酸素を投与しなければ，F_{IO_2} = 0.21 なので，この時に F_{ETO_2}，P_{ETCO_2} を測定すれば，R も計算できる．そして，この R を用いることで，経鼻酸素投与時の F_{IO_2} をより正確に計算できる．

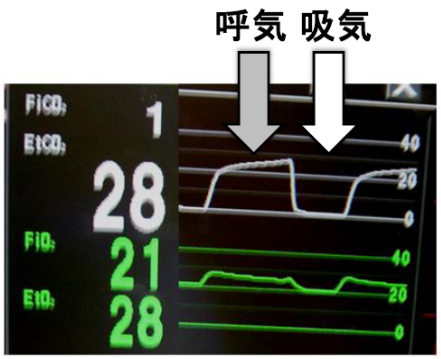


図 5 変速酸素投与時の酸素濃度・P_{ETCO_2} の波形
呼気の酸素濃度，P_{ETCO_2} が安定した．(プローブのある方では酸素を投与していないため吸気の酸素濃度は 21 %と表示されている)

対象と方法

健常人のべ 2 名，脊髄くも膜下麻酔を受けた患者 2 名を対象として，一方の鼻孔に酸素を投与し，もう一方の鼻孔にはサイドストリーム型のカプノメータのプローブを置き，F_{ETO_2}，P_{ETCO_2} 測定し，1 分毎に記録されたデータの 4〜5 分間の平均を計算に用いた．さらに，酸素を投与せずに F_{ETO_2}，P_{ETCO_2} 測定して呼吸商 R を計算し，この R を用いて F_{IO_2} を計算した．

結　果

4 名の平均の R は 0.84〜1.01 であった．この R を用いた，経鼻酸素投与時の吸気酸素濃度は 1L/分の時 22.3〜24.2 %，2L/分の時 30.3〜30.7 %, 3L/分の時 25.6〜39.3 %, 5L/分の時 42.7 %であった (表).

考察と結語

病棟や麻酔回復室ではガスモニターによる酸素濃度の測定は一般的ではないが，手術室では脊髄くも膜下麻酔患者など気管挿管されていない患者の酸素化能の評価をより正確に行うことができる．

これまでも，一呼吸の間で PO_2 と PCO_2 が変化することから得られる式を用いたり [1,2]，気管に直接プローブを挿入し測定したり [3]，あるいは，経鼻投与と酸素チャンバーでそれぞれ PaO_2 を測定しこの値が同じ濃度になることで平均吸気濃度を決定する [4] など，経鼻酸素投与時に吸気酸素濃度を正確に表そうとする試みはいくつか行われた．そしてその結果を一般的に認められている経鼻酸素投与時の酸素濃度を表す式 20 ＋ 4 × L/分 [2] と比較した．結果は，大きめに出たり，小さめに出たり，あるいはばらつきが大きすぎて一定の結果が得られなかったりであった [1−4]．

表 2 に成書に記載されている経鼻カニューラでの酸素濃度を示す [5,6]．今回の結果と比較してみると，3L/分の時，今回の計算では 25.6 %と低かったり，39.3 %と高かったりと差が認められた．吸気がゆっくりであると酸素を十分に吸気でき濃度は上昇する，反対に速いと周囲の空気の混入が多くなり低下する，今回は呼吸数を計測していないので明らかではないが，これらは呼吸パターンによる影響ともとらえることができる．そうすると個々の吸気濃度をより正確に表しているのかもしれない．R は通常 0.8 を用いているが今回の結果は 0.84〜1.01 とばらつきがあった．個々の代謝の違いを反映している可能性がある．

ガスモニターが普及し精度が向上したことによって，今回の方法は可能になった．この方法を用いれば，対象患者・呼吸パターンごとに R が求められ，酸素投与時の吸気酸素濃度が推計できる．また，経鼻カニューラだけでなく，マスクなど自発呼吸時の酸素投与デバイスの酸素投与効率の評価にも使用できる可能性がある．

表 1 R と吸気酸素濃度 (%)

	R	経鼻酸素流量			
		1L	2L	3L	5L
① 47歳男性	1.01	**22.3**		**31.1**	**42.7**
② 51歳男性	0.96			**25.6**	
③ 82歳男性	0.84				
④ 53歳男性	0.93	**23.7 24.2**	**30.3 30.7**	**39.3**	

使用した酸素流量に応じて吸気酸素濃度を計算した．③では酸素は投与せず，呼吸の確認のためのモニターだけ行った．

表 2 成書での吸気酸素濃度 (%)

経鼻酸素 (L/分)	ミラー麻酔科学	呼吸療法テキスト
1	**24**	**21〜24**
2	**28**	**23〜28**
3	**32**	**27〜34**
4	**36**	**32〜50** (4〜6L/分)
5	**40**	

経鼻カニューラによる吸気酸素濃度は成書によってばらつきがある [5,6]

引用文献

1. Bazuaye EA, Stone TN, Corris PA, Gibson GJ. Variability of inspired oxygen concentration with nasal cannulas. Thorax. 1992; 609?611.
2. Markovitz GH1, Colthurst J, Storer TW, Cooper CB. Effective Inspired Oxygen Concentration Measured Via Transtracheal and Oral Gas Analysis. Respir Care. 2010; 453-9.
3. O'Reilly Nugent A, Kelly PT, Stanton J, Swanney MP, Graham B, Beckert L. Measurement of oxygen concentration delivered via nasal cannulae by tracheal sampling. Respirology. 2014; 538-43.
4. Sung V, Massie J, Hochmann MA, Carlin JB, Jamsen K, Robertson CF. Estimating inspired

oxygen concentration delivered by nasal prongs in children with bronchiolitis. J Paediatr Child Health. 2008; 14-8.
5. ロナルド・ミラー (武田純三監修)：ミラー麻酔科学. pp2168-2169, メディカル・サイエス・インターナショナル 2017
6. 三学会合同呼吸療法認定し認定委員会　編集：呼吸療法テキスト. p155, 克誠堂出版 1997

ABSTRACT

Estimation method of mean inspired oxygen concentration using expired gas concentration

Oxygen therapy with a nasal cannula has been widely used, but since inspiratory flow rate and pattern of spontaneous breathing varies, oxygen concentration of inspired air cannot be uniformly obtained. We devised a method to more accurately determine inspired oxygen concentration using alveolar equation and expiratory concentration of the gas analyzer. Calculated concentration was different from commonly used values. It was thought that this reflects the difference between individual breathing patterns. This method may also be able to evaluate oxygen administration efficiency of oxygen delivery device.

Key words:
nasal cannula, inspired oxygen concentration, gas analyzer

無線ビデオ中継の麻酔管理への応用
―余ったスマホの使い道―

岩瀬良範 ，堀越雄太，高橋正人，長坂 浩

【背景】

術中の患者身体への圧迫, 各種機器の動作状況, 術野の動きなど麻酔管理中の監視項目は多岐に渡る．一方，消毒野の厳重化に伴い，麻酔管理中のワークスペースと術野は別個のものになりつつある．覆布や体位によって目視困難な重要部位の確認は，ますます困難になっている一方で，安全担保の要求はエスカレートする一方である．このような問題に対処する一法として，ビデオカメラの応用がある．かつては高価だった CCD カメラもパソコンの USB デバイスとして，あるいはほぼすべての携帯電話に組み込まれている．今回我々は, 機種変更等により余ったスマートフォン (スマホ) やタブレット端末を術中監視に使用してみた．

【着想と経緯】

2016 年の本学会で 3D プリンタの麻酔科診療への応用の可能性を紹介した．その後も研究は継続しているが，3D プリンタの造形失敗が問題になった．複雑な造形の場合，十数時間を要することも多く，常時監視は不可能である．これに対して，ウェブカメラでの監視を思い立った．その過程で，Live Capture3 (LC3) というソフトに出会い，動画以外にも一定間隔で静止画が撮影可能なこと，その静止画はクラウドサーバー上への書き出しが可能なことがわかり，外出先からも最新の画像が得られ, その画像を動画への変換も成功し，造形全体を見渡すことが可能になった．LC3 は，マルチ画面対応で 4 台までのウェブカメラを同時に絶属してマルチ表示が可能なことがわかった，ほぼこれと同時に Android スマホ用ウェブカメラソフトの IPwebcam (後述) に出会い，スマホやタブレットがウェブサーバーとして使えることが判明した．ウェブカメラ 1 台をウェブブラウザの 1 ウィンドウにすれば，通信速度に依存はするがマルチウィンドウ表示が可能になるのではないかと考えた．

【機器と方法】

家人および自身の使用済ではあるが Wifi が完動するアンドロイドのスマホ (LG: LGV31, HTC: EvoWimax) に IPWebcam (Pavel Khlebovich, Moscow, Russia 作, 日本語化済，無料版あり) を Google Play からダウンロードしてインストールした．このソフトは，スマホのビデオカメラ機能を IP アドレスを持ったサーバーとして機能させる．IP アドレスは，無線 LAN ルーターまたはアクセスポイントと同じセグメントのアドレスが自動的に設定される．これによって理論的には，クラス C ならば 254 台までの IPWebcam にアクセスすることができる．IPWebcam のサーバー機能は，パソコンなどのブラウザやビデオストリーミング再生ソフトで使用することできる．特に，ライト (照明) のオンオフ，ズーム，モーションディテクト等の遠隔コントロールは便利であった．ブラウザのウィンドウを複数使用することにより，複数台のビデオカメラをコントロールかつ監視できる．また，このパソコン画面は定期的にキャプチャーしたり，動画として保存することができる．このようなビデオ監視環境を麻酔中に応用してみた．

【結果】

術中の複数箇所のビデオ監視を同時に行うこと

埼玉医科大学病院 麻酔科

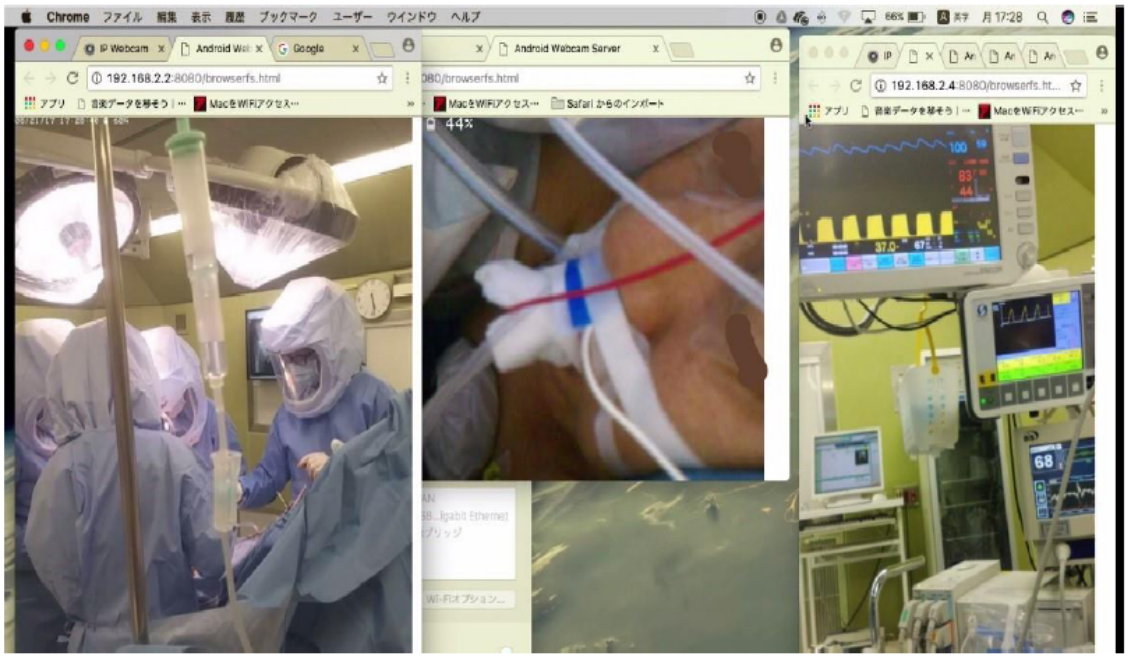


写真　術中モニタリングの例

左より LG 電子スマホ LGV31，HTC Evo Wimax，HTC nexus9 で IPwebcam を使用した．アクセスポイントにはマッキントッシュ (MacBook Air) の Wifi 機能を使用した．動画では点滴の滴下がはっきりとわかる．側臥位で覆布に隠れている顔面の様子は実物より明るい．テープや眼球保護により，患者の個人識別は困難であるが念のため眼瞼部分を画像処理した．右側のモニター画面は，画面の流れも判別できた．マッキントッシュの場合は，この画面を動画として容易に保存できた．

ができた (写真)．特に有用と思われた状況は，1. 腹臥位における顔面の状況を下側から監視できた，2. 離被架 (エーテル架，L 字) と覆布に近い顔面，口元，気管チューブは，術式にもよるが予想以上に術野側からの「攻撃」を受けている，3. 録画を高速再生すると通常速度では認識できない体の動きや体位の変化が認識できた．

【考察と結語】

今回のシステムはアンドロイドで組んだが，iphone 用にも同様機能のソフトがあるとのことである．本システムの利点は，「余ったスマホ」という休眠資源をフルに活用することである．事実上の商品価値はほぼ皆無だが，十分に活用できる IT 機器は日々確実に増加している．複数台の監視カメラをマルチウィンドウで監視するためには従来は高価な機器が必要であったが，CPU パワーには依存するものの，本システムで実現できたことは著者自身も驚きであった．

こうして実現したモニターシステムを，目視確認が求められるが実際には困難な場所に配置することが可能になった．例えば，腹臥位における顔面の圧迫，頭頸部手術における気管チューブの口もとの様子等が監視できた．

さらに，録画画面はほとんどが静止画面である．これを高速再生することで，長時間の微妙な変化や，証拠に残りにくい決定的瞬間を比較的容易に発見することができる．

一方で，カメラ (スマホ) の固定や汚染防止など，新たな課題も判明した．しかし，現在では汎用民生機器となったスマホのアクセサリーは，100 円ショップ等で廉価で優れたものが販売されており，そのアイデアも素晴らしいものがある．「自撮り棒」や「スマホスタンド」，充電ケーブルや

電池パック等に至るまで，多くの物品が調達可能であった．

また本システムは，無線 LAN のルーターまたアクセスポイントの存在が前提になっている．そのため，中継画像の取り扱いには十分な注意が必要である．しかし，使用を終了したスマートフォンの外部連絡機能は，携帯電話キャリアとの契約は終了しているので，携帯電話のデータ通信からの情報漏洩はあり得ない．唯一 WiFi だけがデータ通信路になる．本システムでの使用時は，スマートフォンの WiFi テザリング機能を使用してアクセスポイントすれば，接続可能台数 (一般的には 2〜8 台) の (インターネットからは隔離された) イントラネットが設定できるので，外部へのデータ漏洩のリスクはかなり軽減される．もちろん，テザリングには十分なセキュリティーの設定が必要である．監視カメラの視野設定にもよるが，口元の様子や顔面の圧迫状況などは，眼球保護やチューブ固定テープなどで患者の顔や性別は判明しづらい現実も判明した．

最後に，本システム構築で最も苦労したことは，古いスマホの電池交換であった．生産終了モデルの電池の入手は，かなり困難なだけでなく，費用も意外に高価だったことが最大のネックになった．

ABSTRACT

Intraoperative wireless video surveillance for anesthetic management using retired smartphones

Yoshinori Iwase, Yuuta Horikoshi, Masato Takahashi and Hiroshi Nagasaka

Retired smartphones, although mobile communicating capability was expired, have sufficient IT resource. Most of them were able to use their capabilities with Wifi environment. In the current study, authors examined whether these resources were able to use intraoperative visual surveillance.

Materials and methods:

IPwebcam (produced by Pavel Khlebovich, Moscow, Russia, free distribution) complaint mobile expired Android smartphones (HTC Evo Wimax, Taiwan, and LG electronics LGV31 smartphone, Korea) and tablets were employed. Wifi tethering function which offered wifi access point was applied multiple points of client-server surveillance.

Results:

Current surveillance system enabled to obtain “ difficult to access ” view, such as face compression at prone position, securing situation of ETT covered by sterile drapes, etc.

Discussion and conclusion:

Retired smartphones may have great possibility in IT resources like current study. Expired mobile capabilities inhibited accessing internet resulted to provide suitable isolated LAN. Depends on composition, most pictures were difficult to recognize patient privacies. On the other hand, supply parts such as batteries were difficult to buy for old models.

Department of Anesthesiology, Saitama Medical University Hospital, Moroyama, Saitama 350-0495, Japan

距離の離れた場所で診療を行うための工夫

星 拓男，綾　大介*

はじめに

茨城県立中央病院麻酔科では，手術室と約 100 m 離れた場所にある病棟・ICU(図 1) での診療と，3 km 程離れた茨城県立こころの医療センターでの修正型電気けいれん療法 (mECT) の麻酔診療を行っている．離れた場所にある場所での診療を行うにあたって，当院で行っている工夫を紹介する．

背　景

1．ICU 診療に関して

当院の ICU は 2011 年に救急外来を新設するのとともに既存の病棟の先に新設された．新設・設計段階で，麻酔科医や集中治療専門医の関わりはほとんどなかった．筑波大学の寄付講座を病院内に置くことにしたことを契機に開設 1 ヶ月前から麻酔科医が関わるようになり，当院が地域がんセンターであるが，2 次救急施設であること，また CCU は別に存在するため，新設した病棟として運用開始後は，その看護必要度に見合う患者の診療を行うと入室患者の 7 割程度は術後の患者が占める様になっている．しかし手術室からは最も離れている病棟という状況で診療を行っている．

ICU では，多職種のカンファランスが 1 日 2 回行われており，朝 8 時 15 分から深夜勤務の看護師と主診療科医師，全麻酔科医師，NST 担当医師により回診・抑制に関するカンファランスが行われ，午前 10 時 30 分から ICU 日勤看護師と ICU 担当医師, NST 担当医師により朝の回診を受けての変化や現状，家族との関わりなどが話し合われている．

2．茨城県立こころの医療センターでの麻酔診療に関して

茨城県立こころの医療センターでは 2013 年度の段階で，全国自治体病院の中で 5 番目の件数である年間 577 件の電気けいれん療法を行っているが，その全てを非修正型 (有けいれん) で行っており，かねてから修正型電気けいれん療法への移行のための診療協力を依頼されていた．茨城県立中央病院へ麻酔科 (後期研修医) が増員されるタイミングで，集中治療部の平日日中の麻酔科 (集中治療専門医) による管理の開始と同時に週 2 回の診療協力を開始した．

図 1．ICU 病棟と手術室の位置関係

茨城県立中央病院，茨城県立こころの医療センター，茨城県立こども病院の県立 3 病院は統合医療情報システム (2017 年 9 月までは 3 病院とも富士通の HOPE/EGMAIN-GX^{TM}) を持ち，お互いの電子カルテシステムは独立しており，患者はそれぞれの病院で独自の ID を持つが，その ID は 10 桁の数字であることが共通しており，かぶることが無い様に運用されている．そしてその ID を入れることにより，違う病院のカルテも参照することが可能になっている．

行っている工夫

当院の ICU は Open ICU で，ICU の開設当初の平日日中は，患者を入室させることの多い診療

筑波大学附属病院　茨城県地域臨床教育センター (茨城県立中央病院) 麻酔・集中治療科
*筑波メディカルセンター病院　麻酔科

科 (消化器外科および救急・総合診療科医師) が常駐していたが，担当診療科患者以外の患者に対する診療以外のことに関しては，看護師が各診療科主治医や手術室にいる集中治療専門医に電話をするという体制で診療が行われてきた．しかし重症患者へのウィーニングや栄養管理などすぐに直接緊急性を要しない対応は遅れることがあり，午前のカンファランスへ集中治療専門医が手術室にいながら参加ができる体制を整えた．具体的には手術室，ICU 双方に iPad^{TM} を設置し，病院の wifi に接続し，テレカンファランスの形でカンファランスに参加できるようにした (図 2a,b)．患者の様子は場合によって iPad^{TM} のカメラを患者側に向けることで見ることが出来る．また，手術室の患者の状況は，カンファアンス中にもその頭上にある波形情報のセントラルモニターとトレンドデータである麻酔記録の全室参照モニターである程度確認できるようにしてある．(図 2a)

県立こころの医療センターでの麻酔診療にあたっては，マスク換気など実際に麻酔を担当する麻酔科医が記録を同時にするには忙しいこと，また同じ患者を何回も行うことから，麻酔に関する情報を全て県立中央病院から見ることが出来ることが望ましいと考えた．幸い茨城県立の 3 病院の電子カルテがファイバーで結ばれていることから，患者情報の参照はできる状態であったので，病院の医療情報を管理する企画情報室を通じ県の病院局，両病院に対し，県立中央病院の手術部門システム (ORSYS^{TM}) 上，こころの医療センターの電気療法を行う部屋を県立中央病院の手術室を増設した様な形での運用の許可を求めた．その上でこころの医療センターに県立中央病院の電子カルテ端末を置き，そこから手術申し込みをしてもらうことで，まるで県立中央病院の一つの手術室であるかのような運用を行っている．麻酔記録に関しては，終了後印刷をし，印刷したものをこころの医療センターの医療記録として保存し，部門システムからコストの送信は行わないようにしている．

図 2a. 手術部内に設置された iPad^{TM}

図 2b. ICU 病棟内に設置された iPad^{TM}

考　察

構造的な集中治療医の不足に対して，既に米国では Tele-ICU のシステムが一定の普及を果たしており，本邦においても ICT を用いた遠隔 ICU 診療サポートシステムの研究開発が報告されて

いる[1]. 当院におけるシステムは，基本的にカンファランスのときにしか使用されないため診療サポートとしては僅かにしか貢献していないが，場合によっては院外からも参加可能であり，今後セキュリティや個人情報の保護などの問題を考えながら進めていきたい.

また，離れた施設で統合管理可能な手術部門システムを使用している報告は既に見られている[2]. 異なる施設間で情報を共有するためには，ネットワーク環境や記録の保管の問題など個々の施設で異なるため，それらの問題を個別に解決する必要がある．しかし麻酔科医にとって働きやすい環境で安全に仕事が出来る環境を整えることは，不足している麻酔科医の有効活用という面でも有効であり，今後積極的に考える価値のあることと思える.

結　語

茨城県立中央病院で行っている，手術室と距離の離れた 2 つの場所で診療を行うための工夫について紹介をした.

参考文献

1. 讃井 將満．集中治療医が遠隔から重症患者診療をサポートする tele-ICU 導入の試み．週刊医学界新聞 第 3122 号 2015 年 4 月 20 日，http://www.igaku-shoin.co.jp/paperDetail.do?id=PA03122_03
2. 高山 渉．異なるフロア・異なる施設間の手術室を統括管理するあたらしいシステムおよび麻酔科体制の構築．日本麻酔科学会第 64 回学術集会，P02-16-5，2017 年 6 月 9 日，神戸

ABSTRACT

Worked out plan for doing our clinical practices at a remote place of the distance

Takuo Hoshi[1)]，Daisuke Aya[2)]

In order to provide medical services at a remote place of the distance from operating room, we introduce our contrivance. We installed iPad^{TM} in operative division and both ICU, which is about 100 m away from operating room, and were able to perform conference using FacetimeTM. We also provide anesthetic practice at Ibaraki Psychiatric Medical Center, where about 3 km away from our hospital, for modified electric convulsion therapy. To do our clinical practice smoothly, we make as if another operating room in our hospital ’ s Anesthesia Information system and get permission to manage like that from both hospitals and Ibaraki prefectural hospital bureau.

1. Department of Critical Care Medicine and Anesthesiology, Ibaraki Clinical Education and Training center, University of Tsukuba (Ibaraki Prefectural Central Hospital)
2. Department of Anesthesiology, Tsukuba Medical Center Hospital

連絡先：
〒 309-1793 茨城県笠間市鯉淵 6528 茨城県立中央病院内
筑波大学附属病院 茨城県地域臨床教育センター
麻酔・集中治療科 星 拓男
Email: thoshi@md.tsukuba.ac.jp

シリンジポンプだけでロクロニウムを投与する際に便利な希釈濃度の検討

松木悠佳，長田 理*，重見研司

はじめに

ロクロニウム (Rb) の持続投与で筋弛緩を維持するには, 気管挿管時に Rb を 0.6 mg/kg 単回投与したのち, 4〜7 μ g/kg/min で持続注入を開始する. Rb の持続投与に関する研究では 2 mg/mL に希釈している報告[1]があるものの, プロポフォールで実用化されている目標投与制御法 (target-controlled infusion: TCI) のように Rb を将来的にシリンジポンプ制御だけで投与する場合, 1) 初回単回投与量を高速度で短時間のうちに急速投与する，そして 2) 安定時の持続投与速度の精度を比較的低速で調節・維持する，という相反する条件を両立させるためには，Rb 薬物濃度を適切に調整する必要がある.

本研究では，Rb をシリンジポンプだけで投与する場合に，Rb 初回投与に必要な時間と持続投与速度の両者を満足する希釈濃度を検討した.

方　法

今回の検討では，Rb 溶液はテルモ社製シリンジポンプ TE-ss800N だけで投与すると想定した. 本シリンジポンプの外部制御による最大注入速度は 1200 ml/h (50mL シリンジを用いた場合) であるため，この最大注入速度で気管挿管時の初回投与量 0.6 mg/kg を投与した場合に要する時間 (導入時単回投与時間) を算出した．また全静脈麻酔時の安定時持続投与速度がおよそ 7 μ g/kg/min である[2]ことから，これを持続注入速度として算出した.

まず，標準的な成人 (体重 60 kg) に対するシミュレーションとして，3 つの Rb 溶液濃度 (供給されている原液 10 mg/mL，2 倍希釈である 5 mg/mL, 5 倍希釈である 2 mg/mL) についてそれぞれ導入時単回投与時間と持続注入速度を算出した．導入時単回投与時間が 30 秒以内であり，持続注入速度が 3 mL/h 以上であるかを比較し，臨床現場で受け入れられ，安定したシリンジポンプの注入精度が得られる現実的な組み合わせを検討した.

表 1 体重 60kg を想定した導入時単回投与時間と持続注入速度

Rb溶液濃度	導入時単回投与時間（秒）	持続注入速度(mL/h)
原液(10 mg/mL)	10.8	2.5
2倍希釈(5 mg/mL)	21.6	5
5倍希釈(2 mg/mL)	54	12.5

次に患者の体格差を考慮し，小柄な成人 (身長 140 cm)，標準的な成人 (身長 160 cm)，大柄な成人 (身長 180 cm)，そして超大柄な成人 (身長 200 cm) について同様にシミュレーションを実施した. 肥満患者に対する過去の研究[3−4]から，Rb 投与は実体重ではなく理想体重に基づき投与することとした．それぞれの身長における理想体重 (43.1 kg，56.3 kg, 71.3 kg, 88.0 kg) を算出し，それに基づく Rb 初回投与量から導入時単回投与時間を算出した.

結　果

標準的な成人 (体重 60 kg) に対するシミュレーション結果を表 1 に示す．導入時単回投与に要する時間が 30 秒以内で，持続投与速度が 3 mL/h 以上を判断基準とすると，2 倍希釈が最も実用的であった.

福井大学学術研究院医学系部門医学領域器官制御医学講座 麻酔・蘇生学分野
*国立国際医療研究センター 麻酔科

表 2 体格差によるロクロニウム初回投与量と導入時単回投与時間の相違

身長（cm）	理想体重(kg)	ロクロニウム初回投与量(mg)	導入時単回投与時間（秒）
200	88.0	52.8	31.7
180	71.3	42.8	25.7
160	56.3	33.8	20.3
140	43.1	25.9	15.5

次に，体格差に関するシミュレーション結果を表 2 に示す．Rb 希釈濃度を 2 倍希釈 (5 mg/mL) とすれば，小柄から大柄までの範囲で導入時単回投与時間は 30 秒以内であり，超大柄 (極めて高身長) であっても+2 秒までの許容範囲であった．

考　察

全身麻酔導入後，気管挿管時には換気困難時間を回避するという安全性への配慮から速やかに筋弛緩効果を得るため，維持レベル (効果部位濃度 1.6〜2 μ g/mL) よりも遥かに高濃度となるよう短時間で必要量の Rb を注入しなくてはならない．シリンジポンプを用いて Rb を急速投与する方法としては，薬物濃度の高い薬液を用いるか，最大注入速度の大きいシリンジポンプを用いる必要がある．

先行する Rb に関する臨床研究 [1] では，挿管時の初回投与はヒトの手による急速単回投与であり，シリンジポンプを用いた持続投与時には維持期の持続投与の微調節に適した濃度として 2 mg/mL (5 倍希釈) が用いられていた．この Rb 溶液濃度では，初回投与時薬液量が原液の 5 倍と大量になるため，シリンジポンプの最大能力 (注入最大速度) で投与しても長時間を要することが本研究結果から確認された．一方で Rb 原液濃度 (10 mg/mL) を用いると導入時単回投与時間は短くできるが，維持期の持続注入速度が小さいため，シリンジポンプの注入精度の信頼性が低く，また状況に応じた微妙な制御が物理的に困難であるなど，臨床現場での使用には不向きと考えられた．

導入時には短時間のうちに急速大量注入する一方で維持期には精緻な持続投与の調節が求められる Rb 投与において，高速で注入できるシリンジポンプが存在しない現状では薬液濃度の調整が重要な意義を持つ．今回の検討から，シリンジポンプのみで 50 mL シリンジを使用して Rb を投与する場合には，Rb 希釈濃度を 5 mg/mL とするのが望ましいと考えられた．今後は，求められた条件を実際に離床現場で使用して，筋弛緩状態の維持調節に問題が発生するかを確認する必要がある．また根本的な解決策としては，注入最大速度の大きいシリンジポンプの開発 (利用) が必要であると考えられた．

結　語

シリンジポンプの制御だけで導入時から維持期まで Rb を投与する際に用いる薬液濃度を検討した．導入時単回投与時間と維持期の持続注入速度を検討した結果，2 倍希釈 (5 mg/mL) の Rb 溶液を 50 mL シリンジを使用して投与するのが良いと考えられた．

引用文献

1. Kajiura A, Nagata O, Takizawa Y, Nakatomi T, Kodera S, Murayama T. A large individual variation in both the infusion rate and the blood concentration of rocuronium necessary for obtain adequate surgical muscle relaxation during total intravenous anesthesia with propofol and remifentanil. J Anesth. 2015;29:9-14.
2. 高木　俊一, 尾崎　眞, 岩崎　寛, 畑埜　義雄, 武田　純三. Org9426 (臭化ロクロニウム) 持続注入時における麻酔薬との相互作用. 麻酔. 2006; 55: 963-970.
3. Leykin Y, Pellis T, Lucca M, Lomangino G, Marzano B, Gullo A. The pharmacodynamic effects of rocuronium when dosed according to real body weight or ideal body weight in morbidly obese patients. Anesth Analg. 2004;99:1086-1089.
4. Meyhoff CS, Lund J, Jenstrup MT, Claudius C, Sørensen AM, Viby-Mogensen J, Rasmussen LS. Should dosing of rocuronium in obese patients be based on ideal or corrected body weight? Anesth Analg. 2009;109:787-792.

ハブループが病院ネットワークに壊滅的打撃を与えた教訓的事例

村岡義克，上田雅広，大沼洋則，岡田誠志 ，片山勝之*

背　景

病院機能の全てがコンピュータネットワークに支えられている現在，ネットワーク障害が診療全体に及ぼす影響は甚大なものとなる．当院では電子カルテ用ＰＣが 1300 台，看護投薬・輸血確認用 PDA300 台が稼働している．また電子カルテ(MegaOakHR®NEC) は，AIMS など 30 種類の周辺システムとネットワークで結ばれて運用されている．今回，ICU 記録システムの端末ハブのループが病院全体のネットワークに壊滅的な障害を生じた事例を経験したので，その概要を報告すると共に，その対処方法について考察した．

事　例

X 年 7 月 14 日 10:40，外来待合室の患者呼び出しシステムのメルスウィンドウ®の動作不良が一部の外来で発生し，情報システム部に問い合わせが始まった．同日 10:35，病理部門システムのスターパソロジー®が全停止した．同日 10:54，薬剤部門システムのスフィア®が一部動作停止し，処方が出来なくなった．同日 10:58，中央手術部門システムのメタビジョン®が全停止した．同日 11:20，災害対策委員会が緊急招集されて，災害対策本部が立ち上げられ，更なる情報収集と事態収集への対策指示が出され始めた．

同日 12:10，LAN 中核装置の CPU 負荷が異常に高いことが判明，12:55，負荷の原因となっていたフロアハブが特定され，ハブループによるフラッピングの発生が疑われ，13:00 当該フロアハブが切り離された．13:05，原因となっていたハブが特定され，ハブループが明らかとなった．ICU の移動式血液浄化装置に設置されていたハブであった．

ハブループを解除後，直ちにフロアハブもネットワークに再接続し，13:20 全システムが復旧したことが確認された．

考　察

今回，ネットワークの最も端末のハブで生じた単純なループが，データリエントリー現象を引き起こし，ネットワークの中で徐々にトラフィックのオーバーフローを起こした結果，各部門システムが次々と機能停止に陥るという最悪の事態を招いてしまった．ループさせてしまった原因は，一看護師が「ブラブラしたケーブルは危ないので，止めておこう」とした，ちょっとした気遣いであった．

当院のネットワークは，多くの部門システムが連携することで利便性が高くなった反面，構成が複雑になってしまったため，トラブル発生時には原因特定が難しいことが判明した．とくに部門システムベンダーが持ち込む機器について，情報システム部の管理が及んでおらず， とくに今回ハブループ防止機能を機器選定要件としていなかったことが本トラブル発生の原因となった．今後，各部門システムの全てのネットワーク接続機器について，その安全性について確認すると共に，今後採用する機器についても安全基準を満たしているかどうかを検証することが必要である．

また，情報システム部では，サーバーは常時監視していたが，ネットワークの状態を常時監視する仕組みを備えていなかったこともトラブル発生時から原因究明までの時間を要した原因となった．

現在，イントラネットのネットワーク管理，監視システムが様々なメーカーから提供されてお

手稲渓仁会病院 情報システム部
*手稲渓仁会病院 麻酔科

り，今回の事例を経験し当院での採用を検討している．

結　察

たった 1 個のハブがループするだけで，病院ネットワークに壊滅的打撃を生じた教訓的事例を経験した．今後，部門システムネットワークの末端機器においても選定要件を明確にする必要がある．また，ネットワーク常時監視システムを構築し，保守管理体制の品質改善が急がれる．

ABSTRACT

Now that all of the hospital functions are supported by the computer network. The impact of network failure on the overall medical treatment will be enormous. In our hospital, 1,300 PCs for Electronic medical records and 300 PDAs for nursing care are running. The hospital information system is connected to 30 kinds of peripheral system by network. Since the loop of the terminal hub of the ICU recording system has brought a catastrophic failure in the network of the entire hospital, I have reported the outline and discussed how to deal with it.

セコムと IOT　－私と AI －

小松 淳

はじめに

昭和 37 年 (1962 年)，日本で初めての警備保障会社として設立されたセコム (株) (設立当時，日本警備保障) は，「信頼される安心を，社会へ.」のコーポレートメッセージの下，安全・安心・快適・便利な様々なサービスを提供している．

セキュリティ事業以外には，防災事業，メディカル事業，地理情報サービス事業，情報通信事業，保険事業，不動産事業の各分野で事業を展開．安全・安心で快適なサービスを融合化させた「社会システム産業」構築を目指している．

2017 年 5 月には，2030 年に向けた新ビジョン「セコムグループ 2030 年ビジョン」を発表，「変わりゆく社会に，変わらぬ安心を．変わり続けるセコム.」のメッセージのもと，様々な新サービスを提供していく予定である．

AI・ディープラーニング・スパースモデリング・IOT とは

昨今 AI (Artificial Intelligence)・ディープラーニングなどが巷を賑わせている．特に，グーグルの「アルファ碁」に中国人のトッププロ棋士が負けたり，将棋界で連勝記録を打ち立てた藤井四段が将棋ソフトを積極的に活用していることなどが報道で取り上げられている．

ここで注意すべきことは，AI とディープラーニングは別物であることである．AI の領域のごく一部で機械学習が活用され，機械学習の領域のごく一部でディープラーニングが行われているのである．このディープラーニングが急速に進化したことで第三次 AI ブームがもたらされたと考えるべきであろう．実際，ディープラーニングによりクレジットカードの不正利用検知の精度が飛躍的に改善した例もある．一方で，AI 技術を使う

セコム医療システム株式会社

セコムの IOT

際に，常にディープラーニングが最適解になるわけではなく，違う方法や複数の方法を組み合わせるような「AI の民主化」が重要との考え方も出ている．例えば，少ないデータから最大限の情報を効率よく抽出する技術である，スパースモデリングを活用しての画像認識技術の開発も進められている．ディープラーニングが，コンピューターによる画像認識から始まったことを勘案すれば，その有用性が最初に発揮される分野はやはり画像診断となるのではなかろうか．

また，AI に大量の様々な情報を提供することを可能にするのが IOT (Internet of Things) である．この『身の回りのあらゆるモノがインターネットにつながる.』技術も注目を集めている．

セコムと IOT

セコムと IOT は，1966 年に「SP アラーム」というオンラインセキュリティシステムの販売から始まった．

1971 年には，一般公衆回線を利用した「SP アラームホン」，1981 年には，家庭用安全システム「マイアラーム」と企業・ご家庭のセキュリティサービスを展開している．現在の契約件数は，法

人・家庭向けの合計で国内　約 224 万件．海外約 80 万件となっている．

1982 年には，セキュリティのオプションとして「マイドクター」という緊急通報システムの販売を開始．2001 年には，GPS (Global Positioning System) を活用する位置情報提供システム「ココセコム」の販売．2013 年には，携帯電話＋緊急通報＋救急医療情報を扱うことが出来る「セコム・マイドクタープラス」の販売を開始した．

2017 年には，マイドクターに転倒検知，ライフ監視機能，活動量計の機能を追加した「セコム・マイドクターウォッチ」の販売を開始．自宅でも屋外でも救急時にセコムが駆けつけるサービスラインナップの充実を図っている．同年には，各種デバイスと接続ができる「セコム・ホームセキュリティ NEO」の販売を開始した．セキュリティ・見守り分野で IOT を活用したサービスを展開している．

セコムの医療事業進出のきっかけは，1988 年に米国の救急医療会社,1989 年に在宅医療会社を買収したことから始まる．現地においてノウハウを蓄積した後，1991 年，日本初の在宅医療サービス (訪問看護サービス，薬剤提供サービス) を開始した．現在は，全国に 20 のセコム提携病院があり，医療 ICT 事業 (電子カルテ・地域連携システム・病院経営情報分析システム) などを展開している．

私と AI

私は，2010 年頃，銀行勤務中に為替・金利・株式デリバティブの取引でディープラーニングの先駆けとなるようなことを試みたことがある．

当時の金融工学では，理論駆動型やデータ駆動型などの手法により相場動向を予測し，勝率の高い取引の実現を目指していた．

理論駆動型の代表は，かつて世界中の市場を震撼させた LTCM (Long-Term Capital Management) である．ファンド創設からわずか 4 年で資産は 4 倍となったが，理論的には，百万年に 3 回しか起こらないはずのロシア財政危機が起きたことにより破綻の淵まで追い詰められ，米国当局に救済され，精算された．

その後，REUTERS, CNN などの主要ニュースや SNS (Social Networking Service) 等に一定期間高い頻度で現れた言葉や表現と相場動向の相関関係を統計的に分析するデータ駆動型が盛んとなった．

そのような環境下で，私はロウソク足と呼ばれる株式相場を表す時によく使われているチャートデータを利用した．ロウソク足には，一定時間内の始値，終値，高値，安値が表されており，終値が始値より高ければ陽線に，低ければ陰線で表されている．一定期間として，5 分足，日足，週足，月足等の種類がある．市場の値動きデータとしてロウソク足を用いたわけである．

具体的な手法は，5 分足，日足，週足の各々約 50 種類のトレードルールを任意に決定．これらのルールに則り，直近 2 ヶ月の過去データを使ってトレードシミュレーションを実施．これが，今に言う「ビッグデータ」の利用にあたる部分である．その後，シミュレーションの結果を見ながら，好結果同士，悪結果同士，好悪結果などのルールの組み合わせを任意に行い，再度組み合わせルールに則り，直近 2 ヶ月の過去データを使ってトレードシミュレーションを実施．これらのうち成績上位 5 位程度のトレードルールを用いて運用開始．その後，ほぼ全ての運用は，おおよそ 1〜2 ヶ月でパフォーマンスが劣化．ここで，再び直近 2 ヶ月の過去データを使ってトレードシミュレーションを行い，ルールをアジャストした後，運用を再開するというものであった．これは，かなり原始的ではあるが，現在の AI によるディープラーニングに相当すると言えるのではなかろうか．当時の体験を思い返しながら，「AI は人間の脳の模倣を目指すもの」であるということを確認すると共に，その進捗は，3 つのフェーズにわけられるのではないかと感じた．

第一フェーズでは，人間のソフトウェアによる

指示に基づきコンピューターが膨大なデータを使って高速で計算し，答えを出す．その答えに対して人間が結果を確認し，アジャストすべくソフトウェアによる指示を出す．この指示に基づきコンピューターが答えを出し人間が結果を確認しアジャストすべく... を繰り返す．この活動を繰り返して分析精度を高速化させる．

第二フェーズでは，コンピューターが人間のソフトウェアによる指示通りに膨大なデータを使って高速で計算し答えを出すことを何度も繰り返すうちに，規則性を学び，判別関数を見つけることで，人間の指示とは別に，コンピューターが自ら判断基準を作って答えを出すようになる．

第三フェーズでは，計算に使える信頼性のあるデータがデジタル化や IOT により爆発的に増え，これらの膨大なデータの処理に必要なコンピューターの高性能化も相まって答えの正しさが急速に向上し，いわゆるシンギュラリティ (技術的特異点) を迎えることになる．

CPU (Central Processing Unit) の高性能・安価化に伴い，処理可能なデータ量は飛躍的に増えている．2020 年には，44 兆ギガバイトになると予測されており，AI が人間より高い生産性を残す可能性があるとの予測の根拠となっている．

しかし，技術環境が整い AI が進歩を遂げても解決できない疑問がある．それは，AI の計算結果は，検証が不可能であることだ．つまり，シミュレーションによる計算結果は，認識するだけで「何故そのような答えになったのか?」という過程を検証することができない．先述のトレードシミュレーションにおいても単独では結果が悪かったトレード同士のルールを組み合わせたトレード結果が好結果となることが頻繁に起きたが，何故そうなるかはわからない．結果に至るプロセスが定理化・可視化されておらず，やってみなければわからない．従って，結果を見てパフォーマンスが悪くなった時には，それまでの結果を破棄して再度シミュレーションや学習をやり直す必要性が発生する．これは，AI が常に正解をだし続けられるとは限らないし，人間に理解できないブラックボックスが存在することを意味する．誤データ入力など何らかの理由で AI が誤った答えを出す可能性も否定できない．

誤ったデータにより誤った判断に導かれる可能性があることは，既に実証されている．米国の株式相場で，誤った取引を正当な取引と認識したシステムによる自動取引が原因で，2010 年 5 月 6 日午後 2 時 40 分から約 10 分間でダウ平均が 995.55 ドル下落するという事件が発生した．その後事態を認識した市場参加者は，一気に買戻し 543 ドル急騰することとなった．間違った取引がシステムにより増幅され，その後誤りに気づき，買い戻した事例である．事態を問題視した当局は，2 時 40 分から 3 時までに行われた取引のうち，2 時 40 分時点の価格を 60 %以上割り込んだ価格で取引された約定を無効とした．無効となったのは，326 銘柄 2 万件以上にのぼった．

魔の 10 分間に 1 株 40 ドルから 1 セントまで売られた株もあった．人間の常識で考えた場合，1 セントで売られる会社は倒産する会社である．しかし，そのような事実や情報はなかったにも関わらず，値動きに現実性だけを判断材料とした結果，1 セントで自動取引されてしまった．AI は，実際の値動きを誤ったデータによるものかどうか判断することができるだろうか．

このような課題が残される一方，シンギュラリティが起きるとも言われている．AI が人間を超えることができるのであれば，人間になりきることができるはずである．私が経験した金融市場を例にとれば，「市場の動向は，人間心理，特に恐怖感に基づく行為に支配されている」という点を AI が把握できるかにかかっていると考える．

実際に英国での実験結果がある．人間がウクライナ製のコンピューターと 5 分間のチャット試験を実施した結果，30 %の人間は「人間かコンピューターか判別できない」と評価したのである．これを受けて，AI が人間を超えた以降の発展は全て AI により人間の能力が拡張されると共に人間

にとって便利なツールであるとの考え方もある．

いずれにせよ，AI がインターネットでつながり，世界規模で影響を及ぼすことになるのは間違いなさそうである．AI には，いかに AI を制御すべきか，いかに透明性を確保すべきかなど解決すべき課題が残っているが，これは，AI 側だけの問題ではない．人間側の問題でもあるのだ．人間は，人間による判断に納得できないことが多々あるが，AI の判断を無条件に受け入れることができるのであろうか．つまり，この課題を解決するには AI が下した判断の結果を人間が説明できることや制御できることがポイントとなる．透明性や信頼性の確保には知恵が必要となるが，これはセコムにとって新しい課題であると認識している．

おわりに

セコムの事業においては，マラソン大会などの大規模なスポーツイベントで通常の監視カメラからのデータに加えて，ドローンや飛行船からの画像をセキュリティに役立てる仕組も構築している．医療事業の分野においても，CT・MRI の画像データを AI 化の取り組みを始めている．一方，他社の事例であるがインドではすでに AI を活用しての問診や初期診断 (無料) ができるスマートフォンアプリが開発されている．今後も様々な分野において AI・IOT を活用したサービスが開発されると考えている．

参考文献

1. 日本経済新聞 (2017/5/27,2017/6/26)
2. 文部科学省科学研究費補助金「新学術領域研究」平成 25 年度 29 年度 【スパースモデリングの深化と高次元データ駆動科学の創成】
3. International Data Corporation THE DIGITAL UNIVERSE IN 2020 : Big Data, Bigger Digital Shadows, and Biggest Growth in the Far East (IDC 2012.12)

自動麻酔記録の gap と must「テクノロジー学会からの基本的提言」AIMS のメーカーアンケートからみた gap と must

讃岐美智義

はじめに

AIMS(Anesthesia information management system) は, 電子麻酔記録として使用され, 麻酔関連データの収集と分析を可能にする情報技術 (IT) システムと定義 [1] されている.

わが国では手書きの麻酔記録の電子化をきっかけに 1990 年代初頭に登場 [2] し, 記録精度の向上や麻酔科医の術中記録のサポートをはじめ, 分析, 集計などの様々な機能が追加されて, PC やネットワークの発展とともに進化 [3–5] してきた.

近年の AIMS では, 術中記録機能として電子カルテの 3 原則である真正性, 見読性, 保存性を担保した記録であることに加えて, モニター, 麻酔器, シリンジポンプなど機器とのデータ自動入力のための接続, 入力を簡便にする機能とチャート表示による麻酔記録支援が基本となっている. AIMS の麻酔台帳機能として, 過去の麻酔記録の検索・リスト表示・参照機能, JSA PIMS との連携, 日/月/年報の作成機能をもつものがある. また, HIS 連携 (電子カルテ記録保存) や AIMS 内での術前/術後記録, AIMS 記録からのデータ分析機能などもある. さらに, シリンジポンプの動作履歴から静脈麻酔薬の血中濃度をグラフ表示するリアルタイムシミュレーターを搭載したものも登場している.

現在では, 複数のベンダーが, AIMS の開発・販売を行っており, さまざまな時期に開発された, さまざまな機能もつ, さまざまにカスタマイズされた AIMS が存在するため, 異なったものを同じ AIMS としてユーザーが論じている可能性も否定できない. AIMS に標準品についての定義がないことが, 機能比較ができない素地を生みだしている状況である.

病院規模や麻酔科規模によって AIMS の必須機能は異なるのは必然であるため, まず AIMS のランク付け (松, 竹, 梅) を行うことで, 各施設で目的に合致したものが選択できると考えた. その前提で, AIMS の標準機能とは何かを探るため (1) ユーザーとメーカーの考え方の gap や (2)AIMS の基本機能に要求される must をまとめることを思い立った. そこで, PrimeGaia［日本光電］, Mirrel［フクダ電子］, ORSYS［PHILIPS］, Prescient［富士フィルムメディカル］の各製品について, メーカーへのアンケート調査を行い, メーカー製 AIMS の機能比較と AIMS に対するメーカーの考え方を探った. 本稿では, アンケート結果を公表するとともに, 筆者の意見を加えた.

広島大学病院 麻酔科

アンケート内容

1. 出力機能, 2. 術中記録時の動作, 3.AIMS の松竹梅の分類法, 4. メンテナンス費用および内容 , 5. メーカ製 AIMS をユーザーが導入できない理由, 6. ユーザーからの困った要望, 7.AIMS を導入促進するアイデアや方法に関して, 付録の質問用紙を AIMS メーカーに送付し 4 社から回答を得た.

1. 入出力機能 (表 1)

術中入力機能として求められるものは, モニターや麻酔器, シリンジポンプからのデータの自動入力およびユーザーが手入力する項目を簡便に正確に入力させる工夫である. また, HIS(病院情報システム) や JSA PIMS との記録の連携などの他のシステムとの連携や術後の症例検索, チャート表示, データ解析などのセンター機能なども必要である. 表 1 に AIMS のもつ入出力機能に関する回答をまとめた. 特筆すべきは, モニターや麻酔器, シリンジポンプなど (ME 機器) からの数値の自動取込間隔に対する考え方である. 取り込み間

表1　入出力機能の標準/オプション/特注の状況

機能		日本光電	ﾌｸﾀﾞ電子	PHILIPS	富士ﾌｨﾙﾑ
自動入力	モニター数値（取込、グラフ表示）	標準	標準	標準	標準
	モニター波形（取込、グラフ表示）	標準	標準 30 日	OP	標準
	麻酔器設定値（自動取込）	OP 手入力	標準	OP 手入力	標準
	シリンジポンプ設定値（自動取込）	OP 手入力	標準	OP 手入力	標準
	自動取込間隔（秒）	3 秒	60 秒 自社 10 秒	60 秒 特注 10 秒	60 秒
	タイムサーバとの時刻同期[1]	標準	標準	標準	標準
	静脈麻酔シミュレーター 吸入麻酔シミュレーター	標準 特注	標準 特注	標準 特注	標準 特注
手入力	数値、記事入力インタフェース[2]	標準	標準	標準	標準
	必須入力項目の設定（終了制限）	標準	標準	標準	標準
システム連携	HIS への麻酔記録転送	OP	OP	OP	標準
	JSA PIMS 連携 　データ出力 　JSA PIMS 画面術中呼出	OP 可能 —	OP 可能 可能	標準 可能 —	標準 可能 —
	術前、術後診察記録機能 HIS 記録との連携	標準 OP	OP OP	標準 OP	標準 標準
センター機能	術後症例検索 麻酔チャート表示・印刷	標準 標準	標準 標準	標準 標準	標準 標準
	各種帳票作成および日報月報年報	標準	OP	OP	標準
	数値抽出とデータ解析 数値出力 データ解析機能	 CSV 出力 OP	 OP OP	 CSV 出力 OP	 CSV 出力 OP

1:病院準備　　2:薬剤、輸液、イベント、リマークス、体位

OP:オプション　—:設定なし表4　システム連携

表2. 自動入力時の時刻データの取り扱い

時刻データの自動入力時の挙動	日本光電	ﾌｸﾀﾞ電子	PHILIPS	富士ﾌｨﾙﾑ
記録時刻のソース	サーバー	サーバー	記録端末	モニター 記録端末 サーバー
自動記録データ間隔	3 秒	自社 10 秒 他社 60 秒	60 秒 10 秒	記録 RAW 表示 60 秒
15:55:34 の自動記録データ	記録せず	自社 15:55:30 他社 15:55:00	60 秒 15:55:00 10 秒 15:55:30	記録 15:55:34 表示 15:55:00
手入力リマークス・イベント間隔	60 秒	60 秒	60 秒 10 秒	60 秒
同時刻に 2 項目記載	可能	可能	可能	可能
自動入力、手動入力の前後関係	崩れない	崩れない	崩れない	崩れない

表3. 入力時の必要ステップ数

操作内容	日本光電	ﾌｸﾀﾞ電子	PHILIPS	富士ﾌｨﾙﾑ
塩酸エフェドリンを新規登録する	8	3	3	5
フェンタニル 1mL を現在時刻に新規記載	9	2	7	3
14:24 のエスラックス 10mg を 14:22 に変更	6	3	4	5
15:02 のキシロカイン 40mg を削除し、 同時刻にエスラックス 40mg を新規登録 （現在時刻 15:03）	12	6	7	9

数字はステップ数

隔が 60 秒を標準とするメーカーが多く，10 秒間隔以下は特注あるいはオプション (日本光電のみ 3 秒が標準) となっていた．手書きの記録では 5 分間隔表示が標準であったものを自動取り込み記録で 1 分 (60 秒) 間隔にしたのは，AIMS の創成期のデフォルトである．しかし，いまだに 60 秒を，自動取り込みの標準としているメーカーがほとんどであった．術中には SpO_2，$EtCO_2$ や HR，血圧などは瞬時に変化することがあり，その急激な変化を記録するためには，モニター機器からのデータ取得間隔はできるだけ短時間 (10 秒間隔以下) である方がよい．表示間隔は自由 (最短，10 秒，30 秒，60 秒，300 秒など) に変えることが可能であるが，機器からの自動取り込み間隔は，モニター機器の出力間隔に近づけるのがよい．自動取り込み間隔はグラフ表示間隔と同じにする必要はないと考える．データ密度が 60 秒では，60 秒以下の変化を捉えられない．また，メーカーごと製品ごとにオプション機能が目立ち，見せかけの価格を安価にする販売戦略が見え隠れする．これらのことから AIMS 標準機能の策定の必要性を強く感じる回答結果であった．

2. 術中記録時の動作

術中記録時の動作比較としては，入力に必要なステップ数 (表 2) と自動入力時の時刻データの取り扱い (表 3) について質問した．

入力に必要なステップ数では，以下の 4 課題 (1. 新規薬剤の薬剤欄への記載 (塩酸エフェドリンを登録する)，2. フェンタニル　1mL を現在時刻に新規記載，3. 14:24 に登録済みのエスラックス 10mg を 14:22 に変更，4. 15:02 に登録済みのキシロカイン 40mg を削除して，同時刻にエスラックス 40mg を新規登録) に対するキーボードやマウスの押下回数について質問した．

これらの入力に関して，すべての課題のステップ数を合計すると，日本光電：35 回，フクダ電子：14 回，PHILIPS：21 回，富士メディカル：22 回とばらつきがあった．少ない回数で入力可能なフクダ電子は，よく使用する薬剤の入力ボタンを (薬剤名＋投与 mg) という形であらかじめ用意しているのが奏功した．入力ステップ数の多いメーカーでは，真面目に同じ手順を繰り返さないと入力できないインターフェースとなっていた．

自動入力時の時刻データの取り扱い (表 3) では，記録時刻のソースに関しての質問を行った．モニターのタイムスタンプ，記録端末 (PC)，サーバー (PC) のいずれを利用するかに関して，サーバーあるいは記録端末のいずれかひとつという回答であったが，富士フイルムは，個々の施設で利用できるいずれかという回答であった．いずれのケースも，院内にタイムサーバと同期が取れている限りは問題ないが，タイムサーバと同期が取れていない場合には，手入力項目と自動入力項目の時間はずれることになる．また，タイムサーバーと同期が取れていない手術室の壁時計を参照して手入力した場合には，いくらタイムサーバーと同期をしていても，記録時刻の前後関係がずれる可能性がある．したがって，ユーザーは常に，自動入力と手入力 (処置やイベントなど) の時刻関係を意識して入力する必要がある．自動記録データ間隔は 60 秒間隔であるメーカーが多いためか，手入力データ (リマークス，イベント) 間隔は，PHILIPS の 10 秒 (自動入力 10 秒のもの) を除くと，いずれのメーカーも 60 秒であった．これでは自動入力，手入力データの前後関係が崩れるはずであるが，いずれのメーカーも関係は崩れないとの回答であった．これは，手入力どうし自動入力どうしのデータの前後関係は崩れないという意味と勘違いしていると考えられる．手入力データも 60 秒に 1 回しか記録できないとすると，12:00:30 に起きたイベントを記録する場合，30 秒前または 30 秒後に記録することをユーザーが選択する必要がある．自動入力データの変化が大きい場合，手入力データ (イベント) が大きな変化の前であったか後ろであったかが問題である．自動入力データが，60 秒間隔より短い場合には，もっと深刻である．すなわち，自動入力データが 10 秒間隔であるのに手入力データが 60 秒間隔であるのは論外である．いずれにしろ，60 秒に 1 回の手入力 (イベント，リマークス) 入力は，麻酔記録においては問題があり，せめて 10 秒間隔の手入力データ間隔が必要である．この問題は，チャート表示を長時間表示 (短時間に大きな変化があってもわからない表示) にすれば，埋もれてわからなくなる．これでは，100 年以上前からの手書きの麻酔記録と何ら変わりがない．AIMS が詳細な術中の電子カルテであるならば，真正性，見読性という観点からも無視できない問題である．

次に，15:55:34 に自動取得されたデータは，どの様なタイムスタンプが押されて記録されるかという問いに対しては，各社，回答に苦労が伺える．日本光電は，自社モニターでは 3 秒間隔だから 34 秒のデータは存在しないため記録しないと回答したが，ある意味正しい．しかし，3 秒間隔でのデータを取得しているのであれば，その時間のデータは，値が仮に入っているとして，15:55:34 と回答して欲しかった．フクダ電子は自社モニターの 10 秒間取得であれば 15:55:30，他社モニターの 60 秒間であれば 15:55:00 となり，実際より早い時間に記録されることがわかった．PHILIPS は 60 秒で

表４　松竹梅の分類

日本光電			
分類	松	竹	梅
機能	竹＋ ・手術スケジュール管理 ・術前／術後診察記録 ・各種伝票機能／実施データの HIS 連携 ・データウェアハウス機能	梅＋ ・各種 ME 機器データ取込 ・薬物血中濃度予測 ・看護記録／看護計画 ・HIS との各種データ連携	・モニター数値自動取込 ・JSA-PIMS へのデータ出力
分類の切り口	基幹病院 （術前、術後も網羅）	基幹病院 （手術室内）	小規模病院
製品名	PRM-7500	PRM-7500	CAP-0500
フクダ電子			
分類	松	竹	梅
機能	竹＋ ■看護記録 ■モニター以外の ME 機器データ取得 □オプション ・Web 麻酔記録表示 ・Web 手術進捗表示 ・Web 術前、術後回診 ・人工心肺記録 ・手術予約調整機能 □HIS 連携 ・検査データ取得 ・各種マスタ取得 ・実施結果送信 □サマリなど各種画面、帳票類のカスタマイズ	梅＋ ■ネットワーク対応 ・2 台以上の PC 接続 ・マスタ共有 □オプション ・術中記録数値抽出によるデータ解析 ・HIS からの属性取得	■自動記録部 ・モニター数値 （取込、グラフ表示） ・静脈麻酔薬シミュレーター ■手入力部 ・数値、記事入力 インターフェイス （薬剤、輸液、イベント、リマークス、体位） ■システム連携 ・HIS へ麻酔記録転送 （自社標準フォーマット） ・JSA-PIMS 連携 （xml ファイル作成） ■術後症例検索、麻酔チャート表示・印刷 ■マスタメンテナンス機能
分類の切り口	手術室 4 室以上 ネットワーク型ハイエンド麻酔記録	手術室 3 室以下 手術室 3 室以下のネットワーク型麻酔器記録	手術室 1 室 手術室 1 室のスタンドアロン型麻酔器記録
製品名	Mirrel	Mirrel-SA （ネットワーク）	Mirrel-SA （スタンドアローン）

PHILIPS			
分類	松	竹	梅
機能	■記録の種類 ・麻酔記録 ・看護記録 ・人工心肺記録 ・術前/術後診察 ・術前/術後訪問 ■手術部内の運用補助 ・手術スケジュール作成 ・実施情報作成機能 ・統計/検索機能 ・看護師スキルマップ	■記録の種類 ・麻酔記録 ・看護記録 ・術前/術後診察 ・術前/術後訪問 ■手術部内の運用補助 ・手術スケジュール作成 ・実施情報作成機能 ・統計/検索機能 ・看護師スキルマップ	■記録の種類 ・麻酔記録 ・術前/術後診察 ■手術部内の運用補助 ・手術スケジュール作成 ・実施情報作成機能 ・統計/検索機能
分類の切り口	・心臓外科手術を行なう施設 ・手術部内記録を同システム	・人工心肺記録が不要 ・麻酔/看護記録を同システム	・麻酔記録のシステム化
製品名	ORSYS	ORSYS	ORSYS
富士フイルム			
分類	松	竹	梅
機能	竹+ ■特注カスタマイズ対応 原価計算集計機能 特殊統計機能など ■5 年以上の波形保存	梅+ ■麻酔器、シリンジポンプ、 その他機器自動取込 ■波形取込保存 （標準 100 日間） ■看護記録 ■WEB 参照機能 ■ステータスモニタ ■タブレット機能 ■日報月報年報出力	■モニター数値自動取込 マルチモダリティ対応 ■スケジュール機能 ■シミュレータ ■JSA-PIMS 連携 ■症例検索、統計機能
分類の切り口	大学病院	中規模病院	小規模病院
製品名	PrescientOR	PrescientOR	PrescientOR CorePackage

は 15:55:00，10 秒では 15:55:30 もフクダ電子と同様の回答であった．富士フイルムは，記録 15:55:34 とされるが，表示は 15:55:00 となり，実際より早い時間に表示される．これは 60 秒に 1 回しか記録できないことによる弊害 [6] であろう．

3.AIMS の松竹梅の分類法 (表 4)

メーカーの考える AIMS の機能分類について，最低限の機能を持ったものを梅，最高機能を松，中間のものを竹として 3 段階に分類する場合，夫々を，どの様な切り口で分けるかについて質問した．

日本光電は，梅を CAP-0500 という製品を小規模病院という位置づけとし，モニター数値自動取

り込みと JSA PIMS へのデータ出力を最小限として定義している．竹と松には PRM-7500 という製品をあて，竹には ME 機器データ取り込み，薬物血中濃度予測，看護記録，HIS 連携を含み，松には手術スケジュール管理，術前/術後記録，データウェアハウスを加えている．

フクダ電子は，梅をスタンドアローンの Mirrel-SA で，モニター数値自動取り込み，静脈麻酔薬シミュレーター，HIS への麻酔記録転送，JSA PIMS 連携，症例検索機能などを当てた．竹は，Mirrel-SA のネットワーク使用，松は Mirrel という別バージョンで，看護記録，ME 機器データ取り込み，HIS 連携や，帳票のカスタマイズを加えた．

PHILIPS は，松竹梅の 3 種類とも ORSYS という製品を変更せず，機能の限定で対応する．梅は麻酔記録だけのシステム化，竹は麻酔記録と看護記録，松には人工心肺記録を加えたものである．いずれも手術スケジュール作成や統計検索機能を含んでいる．

富士フイルムは，梅に PrescientOR CorePackage を当て，モニター数値自動取込 (マルチモダリティ対応)，スケジュール機能，シミュレータ機能，JSA-PIMS 連携，症例検索，統計機能を含む．竹と松は，PrescientOR で対応し，竹には，麻酔器，シリンジポンプ，その他機器自動取込，波形取込と保存 (標準 100 日間)，看護記録，WEB 参照機能，ステータスモニタ，タブレット機能，日報月報年報出力を加え，松には，特注カスタマイズ対応と 5 年間の波形保存を追加した．最低限の機能を持った梅を，どの様にみせるかによって，上位バージョンの位置づけが異なる．いずれのメーカーも，製品ごとに特徴があるが，期待するのは梅機能，特に麻酔記録部分の機能を落とすべきではない．最低限といえども麻酔管理支援機能は削って欲しくないと言うことである．梅を征するものが，AIMS を征する．

4. メンテナンス費用および内容

日本光電は，環境維持＋サーバ，周辺機器，運用支援，保守点検，プレミアムを，適宜組み合わることで，ミニマム保守プラン，セレクト保守プラン (部分選択式)，スタンダード保守プラン，プレミアム保守プランを設定している．プレミアム保守では，点検回数追加，保守範囲拡大など顧客の要望に応じた内容に答えることが可能である．フクダ電子は，トラブル優先サポート (トラブルのみに対応するプラン)，定期メンテナンス，(リモートメンテナンス，オンサイトメンテナンス) を設定している．PHILIPS は，定期点検，修理対応，部品保障，テクニカルサービスを組み合わせて，Assist，Value，Primary，Protection プランを設定している．富士フィルムは，365 日 24 時間のコール受付および障害対応として，重症系システムの専任 SE によるリモートメンテンス (ハードウェア障害対応，ソフトウェア障害対応，データ復旧支援，障害履歴管理，マスタの追加・修正) を設定している．いずれのメーカーもサポート体制が充実している．安定した運用を継続するためには，メンテナンス契約を結ぶ必要がある．

5．メーカ製 AIMS をユーザーが導入できない理由

ユーザーが AIMS を導入できない理由に対する各メーカーの共通意見として，導入/運用費用に関する病院側の予算が確保できないという点を指摘している．予算付けが出来ないこと，費用対効果が明確にしにくいこと，部門システムが必要と思うが経営陣を説得できないこと，常勤麻酔科医が不在という問題で購入が見送りになるケースがある．また，自動麻酔記録導入に対し，保険点数加算がついておらず，直接，病院の収益にならないため導入しにくいのではという意見も多くでていた．

6. ユーザーからの困った要望

システム稼働前のものでは，極端な短納期の要望，病院内，部門間の運用調整を任されること，施設固有の新規開発が必要な機能の要望，打ち合わせ担当の医師変更で，これまでの要求仕様が大変更になることなどが複数のメーカーが取りあげていた．システム稼働後では，稼働後に仕様変更・

仕様追加の要望をされること，保守契約に入ってもらえないことに困っているのことが問題となっていた．いずれも，メーカーにとっては，病院と担当者の板挟みになることが多く，困ったユーザーの行動として認識されていた．

7.AIMS を導入促進のアイデアや方法

放射線科の画像管理加算のように手術 1 件あたりの麻酔記録の電子管理加算 (診療報酬加算) に繋がるしくみの創設は，多くのメーカーが AIMS の導入促進のアイデアとして提案している．

その他の方法として，病院内でシステム運用コストの必要性についての認識を定着させること，AIMS による入力をはじめとした負荷軽減，業務支援のメリット上層部に訴えることも導入に有効な方法として上げられた．

帳票の向き，文字サイズ，記載内容などの学会標準フォーマットやマスター標準化や他社間のデータコンバートなど業界統一規格の制定でメーカーに縛られない利点が生まれることを上げている．また，学会，メーカーが一体となり，麻酔記録の普及や，重要性のＰＲを行うことも必要との意見もあった．

さいごに

ユーザーとメーカーの考え方の gap として，AIMS の機能範囲め明確ではないこと，ユーザー側の AIMS 機能理解不足，ユーザーインターフェースが未成熟なこと，過去の OS，データベースの仕様をひきずる仕様であること，導入および維持コストの認識の違いがある．また．AIMS の基本機能に要求される must として，梅 (AIMS の最低限) についての共通認識をもつこと，ユーザーインターフェースの改良，ユーザーメンテナンス機能の充実，導入/維持コストの明確化，保険診療点数加算を実現することが求められている．

本シンポジウムで得られた問題点をまとめ，gap と must を加味した自動麻酔記録に関するガイドラインを本学会が策定できればと考える．

引用文献

1. https://en.wikipedia.org/wiki/AIMS(2019 年 1 月 5 日閲覧)
2. 内田 整，奥村福一郎，大住寿俊ほか：コンピュータにより自動麻酔記録システム? 4 年間の使用経験?．麻酔 1992; 41: 682-7
3. 讃岐美智義：自動麻酔記録装置の存在意義と可能性．麻酔 54(Suppl)：S143-S154，2005
4. 讃岐美智義：自動麻酔記録システムの得意・不得意分野．日本臨床麻酔学会誌 31(2):221-225, 2011
5. Ehrenfeld JM, Rehman MA : Anesthesia information management systems: a review of functionality andinstallation considerations. J Clin Monit Comput. 25(1):71-9,2011
6. https://www.masuika.org/entry/2016/08/19/100345(2019 年 1 月 5 日閲覧)

付録

自動麻酔記録装置アンケート

自動麻酔記録の必須項目と担保すべき機能や質に関するユーザーとメーカー・ベンダーの意識の違いを明確にして，テクノロジー学会として AIMS のあり方に関する提言を出したいと考えています．

そこで，メーカー・ベンダー様の考えをお聞きします．以下の質問にお答えください．

Q1．自動麻酔記録装置の機能について

以下の機能についてお答えください．できるかできないか，できる場合は詳細もお願いします．製品に標準搭載でないものは，できるとせずにオプションとして下さい．○のものについては，画面キャプチャーを含む説明用スライドをご提供ください．

1．術中記録機能
■自動記録部分
○モニター数値 (取り込み，グラフ表示)
○モニター波形 (取り込み，グラフ表示)
麻酔器設定値，シリンジポンプ設定値 (自動取り込み，手入力)
自動取り込み間隔 (10,30,60,300 秒) →標準はどれ
タイムサーバとの時刻同期 (標準，オプション，なし)
静脈麻酔薬，吸入麻酔薬のシミュレーター (効果部位濃度表示)
■手入力部分
○数値，記事入力インタフェース (薬剤，輸液，イベント，リマークス，体位)
必須入力項目の設定 (この項目を入力しなければ，終了できない制限)
○画面構成 (コンセプトも) →術中記録画面をお示し下さい
■システム連携 (サーバークライアント型ネットワークのみ)
HIS へ麻酔記録転送
JSA-PIMS 連携 (データ出力，JSA-PIMS 画面術中呼び出し)
○術前，術後診察記録機能 (HIS 記録との連携)

2. センター機能
■術後症例検索および麻酔チャート表示・印刷
■各種帳票作成および日報月報年報

■術中記録数値・波形抽出によるデータ解析

以下 Q2-Q5 は術中記録時の動作についてお答えください

Q2. 数値，記事入力インタフェース (薬剤，輸液，イベント，リマークス，体位) について，
以下の内容が何ステップ (何クリック) で完了するか (完了は，ダイアログを閉じるまで．1 分以上ダイアログが閉じない場合は，閉じるためのクリックもカウントしてください)．文字入力が必要な場合は，文字入力ための 1 キー入力を 1 ステップと数えます．
1. 新規薬剤の薬剤欄への記載 (塩酸エフェドリンを登録する)
2. フェンタニル　1mL を現在時刻に新規記載
3. 14:24 に登録済みのエスラックス 10mg を 14:22 に変更
4. 15:02 に登録済みのキシロカイン 40mg を削除して，同時刻にエスラックス 40mg を新規登録 (現在時刻は 15:03)

○ Q3. バイタルサイン記録を見ながら血圧が上がっている時刻の 30 秒後に，レミフェンタニル 0.5mL 静注を新規入力する場合
どの様な操作をするか，図示してください．何を確認して，何を操作するか．手順を示してください．できない場合には，何ができないかを記載してください．

Q4. 術中入力の現在表示画面入力欄に，現在時刻が表示されていないとき，何をすれば現在時刻の入力位置が表示できるか．自動的に現在時刻表示にスクロールする機能はあるか．あるとすれば，操作しなくなった後，何秒後か?

Q5. 自動入力の数値は，いつものものか?
1. 記録時刻 (モニターのタイムスタンプを利用/記録端末やサーバーのデータ取得時刻/その他)
2. 自動入力のデータは何秒おきに記録できるか
3. データが来たときに 15:55:34 だったとすると，どの時刻に記録されるか
(15:55:00/15:55:30/15:55:40/15:56:00/15:55:34/15:55:35)
4. 手入力のデータやリマークス・イベントは何秒おきに記載できるか．同時刻に 2 項目の記載が可能か
5. その記録方式で自動入力の時刻と実際のイベントやリマークスの入力時刻の前後関係が崩れないか

Q6. 自動麻酔記録装置を 3 段階に分類すると，最低限の機能を持ったものを梅，最高機能を松，中間のものを竹とした場合，夫々を，どの様な切り口で分けているかをお答えください．また，松，竹，梅に含まれる機能をそれぞれお答えください．機能に関しては，Q1 の項目を参考にご記入ください．それ以外の項目も歓迎です
1 製品を 3 段階に仕立てているのか，別製品を用意しているかについてもお答えください．貴社の製品が 3 つに分かれていない場合，夫々の製品がどの格に相当するのか製品名を入れてください．製品がなければ×を入れてください○これを説明するためのわかりやすいスライドを 1-3 枚ご用意ください．

Q7. メンテナンス費用およびメンテナンス内容
メンテナンスのための費用と内容をプランの数だけお答えください．
○これを説明するためのわかりやすいスライドを 1 枚ご用意ください．

Q8. 自動麻酔記録の採用に関しての必要性 (重要度) を理解している施設が，メーカー製の AIMS を採用できない (しない) 理由は何だと考えられますか?
意見，理由が複数ある場合は，重要順に列記してください．

Q9. ユーザーに言われて困ること，困っていることを具体的に教えてください．重要順に 10 個以内でお願いします．

Q10. 自動麻酔記録をビジネスと捉えたとき，どういう (世の中の) 仕組みが足らないと考えますか．解決手段があれば，アイデアをお知らせください．

自動麻酔記録システム：ユーザーが求める標準機能

内田　整

はじめに

自動麻酔記録システムは，1970 年代に研究がはじまり情報通信テクノロジーの進歩とともに発展してきた[1−4]．当初の自動麻酔記録は手書き式の麻酔記録を電子化することで記録の精度を高め，また，麻酔科医の負担を軽減することが主な目的であった．その後，自動麻酔記録にはさまざまな機能が付加され，現在では麻酔に関わる情報を統合的に管理するシステム，麻酔情報管理システム (anesthesia information management system, AIMS) と位置づけられている．

日常臨床における AIMS 導入は 1990 年ごろから始まったが，この頃から，システム開発は研究者の手を離れて商業ベースに移行した[5,6]．現在では，複数のメーカーが AIMS の開発・販売を行っており，多くの施設で AIMS が使用されている．しかし，他の医療機器同様，それらが提供する機能や操作性は同一ではない．本稿では，AIMS が提供するそれぞれの機能を技術面と操作面の双方から分析を行い，ユーザーである麻酔科医の視点から実装すべき標準とは何かを考える．

手書き記録から自動記録へ (表 1)

麻酔記録に記録するデータには，患者のバイタルサインに加えて処置や薬剤投与などのイベント情報が含まれる．また，患者属性，病名・術式などの情報も記録される．これらは，情報の種類に応じたインターフェイスにより PC に取り込まれ，デジタル保存される．手書き式の麻酔記録では記録用紙自体がデータ表示を兼ねるが，自動記録ではデータは加工されて，グラフィックあるいは文字としてコンピュータ画面あるいはプリンターに表示される．

手書き式記録では麻酔記録はバインダーに保存され，これとは別に台帳に転写された麻酔記録のリストがデータベースとして機能していた．自動記録システムでは麻酔記録と台帳データベースが統合化されてコンピュータ上に電子的に保存される．

ユーザーが自動麻酔記録に求める機能 (表 2)

AIMS はすべての麻酔管理に使用する基本システムであり，ストレスなく診療をこなすためには機能面および操作面からさまざまな機能が要求される．

表 1．データ入力や記録における手書き記録から自動麻酔記録への変化

患者基本情報		
カルテから転写	→	病院情報システムから転送
バイタルサインの記録		
記号や数値の記入	→	機器から自動取り込み
波形のレコーダ出力	→	デジタル保存
処置・薬剤入力		
記号による記入（処置）	→	表示選択方式，バーコードなど
文字と数字による記入	→	表示選択方式，バーコードなど
非定型イベント	→	キーボードによるテキスト入力
データ表示，保存		
用紙に記入	→	画面表示，プリンター出力
台帳とバインダー	→	データベース

表 2．自動麻酔記録システムに求められる機能

- 必要なデータを収集して記録する機能
  文字・数値，波形，画像など
- 使いやすいマンマシンインターフェイス
- 見やすい情報表示
- 他のシステムとの連携
  JSA-PIMS，HIS など
- データの二次利用の提供
  データベース検索，データのインポート／エクスポート
- 汎用性，スケーラビリティ
  特定の機器，施設に依存しない設計
- 保守性

千葉県こども病院 麻酔科

1. データ収集と記録

AIMS が収集・記録するデータのうち，オンラインで入力される情報には病院情報システム (HIS) との通信で転送される患者基本情報や手術情報，および，モニター機器や麻酔器が提供する患者のバイタルサインや機器の動作情報がある．特に，後者は情報の種類と量が多く，また，収集間隔も短い特性があり，これらの情報の収集に関わる機能は AIMS の性能を決定する大きな要素である．

手書きの麻酔記録ではバイタルサインの記録は 5 分ごとが基本であったが，AIMS ではより短い間隔で記録することが技術的に可能である．モニター機器のデータ出力仕様にも依存するが，心拍数や SpO_2 のような連続する数値情報は，最低でも 30 秒以下の間隔で記録することが標準機能である．麻酔中の急激なバイタルサインの変動を忠実に再現するためには 3〜5 秒ごとに記録することが望ましい．

数値だけでなく，心電図，カプノグラム，観血的圧モニタリングなどの波形情報も記録の対象である．数値と比較すると波形は情報量が大きく，過去において，波形保存は必須の機能ではなかった．しかし，デジタル信号処理技術や保存媒体の容量が進歩した現代では，麻酔中に発生する全波形の記録・保存が技術的に可能である．麻酔中に患者の急変が起こった場合，波形記録は状況を再現するための重要な情報となる．これからの AIMS では，波形の記録・保存は標準機能として実装すべきと考えられる．

数値や波形などのバイタルサインは機器との通信で記録されるが，麻酔管理では症例に応じて使用する機器を変更あるいは追加する状況も発生する．AIMS と機器の接続は導入時にカスタマイズ作業で設定されるが，ユーザーレベルでも機器の変更や追加ができるシステム設計が望ましい．

2. マンマシンインターフェイス

AIMS は PC ベースのシステムであり，基本的な操作や入力は PC に準じる．現在のところ，AIMS に特化したマンマシンインターフェイスがないため，標準デバイスであるキーボードとマウスを使用するのが一般的である．過去には，音声認識を含めていくつかのデバイスが検討されたが，技術的，あるいは運用上の問題があり標準化には至らなかった．一部の AIMS では，トラックボール，タッチパネル，バーコードをキーボードやマウスの代用，あるいは補助デバイスとして採用している．しかし，トラックボールは感染防護用の保護カバーが装着できないこと，タッチパネルはボタンなどの画面上のパーツが大きくなることや文字入力に不向きであることなど，マウスやキーボードに劣る面もある．

PC 操作では，ユーザーの負担が小さいシステム設計も重要である．これらには，マウスポインタの移動が少ない画面設計，リスト表示と選択による定型的文字列の入力，ファンクションキーへの機能登録などが含まれる．

ユーザーが行うデータ入力については，単に入力値を記録するのではなく，後処理を行うことでユーザーの負担や入力ミスを減らすシステム設計が必要である．例えば，イベント入力は発生から時間がたってから入力することがあるが，これに対応するために入力時刻の補正機能が必要である．また，薬物投与における総投与量の自動計算も標準機能である．さらに，薬剤データベースと連携して入力された薬物投与量のチェックを行い，過量・過小に対してアラートを発生する機能も安全管理上，実装が期待される．

3. 情報表示

AIMS の画面は手書き式の麻酔記録用紙を踏襲して作成されてきた．すなわち，バイタルサインは記号または数値で時系列表示され，薬剤投与，輸液，イベントなどは別枠に記録される．しかし，AIMS の表示媒体であるコンピュータ画面は記録用紙とは異なる特性があるため，情報表示，特にバイタルサインの表示については紙の記録の模倣ではなく，画面の特性に適合したフォーマットが求められる．

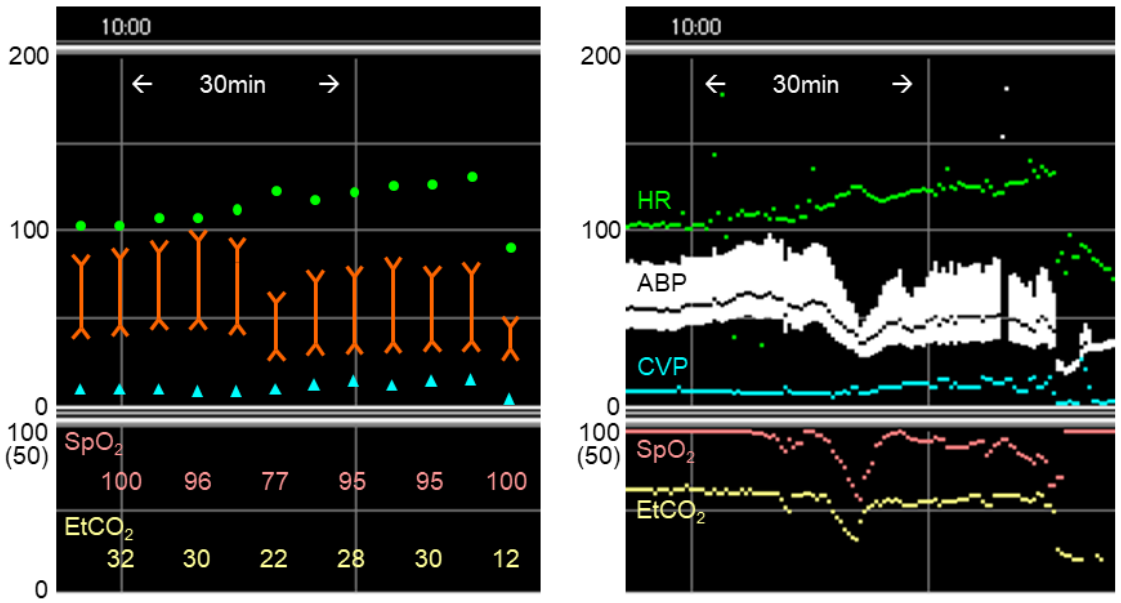


図 1 自動麻酔記録におけるバイタルサイン表示方式の比較．
左図では手書き式記録に準じて，血圧，心拍数，CVP を 5 分ごとに記号で，また，SpO_2 と $EtCO_2$ を 10 分ごとに数値で表示した．右図は同じデータを使用して，すべてのバイタルサインを 30 秒ごとにグラフィックで描画した．この症例はファロー四徴症で 10:22 と 10:40 に低酸素発作が起こった．グラフィック表示では血圧の変動と 2 回の SpO_2 と $EtCO_2$ の低下が忠実に表現されているが，手書き記録に準じる表示からはこのような変化を読み取ることができない．

血圧を例にあげると，手書き式の麻酔記録では 5 分ごとに記号で記入することが標準である．非観血測定はもちろん，観血的測定であっても 5 分間隔で記録することが一般的に行われている．しかし，観血的動脈圧は連続データであるため，高密度 (30 秒以下の間隔) の連続データとしてコンピュータ画面に表示することにより，麻酔中のバイタルサインの変動をより忠実に再現することができる (図 1)．非観血血圧を除くと，SpO_2 や $EtCO_2$ をはじめとするほとんどのバイタルサインも連続データである．これらのバイタルサインは，手書き式の記録では数値で離散的に記録していたが，コンピュータ画面では高密度のグラフィックトレンドとして表示することが可能であり，それが AIMS における標準的な表示方式である．

機器接続と同様，AIMS の画面レイアウトや表示する情報の種類はシステム導入時にカスタマイズされる．しかし，手術や病態に応じて使用するモニターや薬物が異なることを考慮すると，単一の画面フォーマットで多様な麻酔管理に対応することには限界がある．AIMS の画面フォーマットは麻酔管理の内容に応じて変更できることが必要であり，これも標準として実装すべき機能と考えられる．

4. データベース・システム連携

手書き式の麻酔記録では麻酔記録用紙をバインダーで綴じ，製本した台帳に症例を記入して保管する．AIMS では，電子化された麻酔記録と患者属性，術前・術後情報などが統合され，データベースとして保存される．このようなデータベースは統計，検索，あるいは臨床研究などに使用される．統計・検索機能はほとんどの AIMS に実装されているが，操作性や検索能力は製品により差がある．麻酔記録は麻酔中だけでなく，麻酔終了後も診療や研究において多面的に使用される．ユーザーが

ストレスなく統計・検索作業ができる，高速で優れたユーザーインターフェイスを実装する AIMS が期待される．

AIMS の導入においては，病院情報システムや日本麻酔科学会のデータベース (JSA-PIMS) との連携も基本要件となる．システム連携には AIMS のベンダーのみで解決できない問題もあるが，スムーズなデータ転送が実現できるシステム設計が重要である．

5．麻酔管理を補助する機能

コンピュータシステムである AIMS には，手書き式の麻酔記録では実現できなかった，麻酔管理に役立つさまざまな機能が実装されている．その代表は薬物動態シミュレーションであり，最近の AIMS の多くに実装されるようになった．また，オンラインマニュアルや薬剤データベース参照も麻酔管理に有用な情報を提供する．特に静脈麻酔を行う場合，薬物動態シミュレーションは非常に有用なツールであり，現代では標準機能と見なしても良いと考えられる．

AIMS の標準化とは?

AIMS に求められる標準機能とは，大多数の施設で必要とされる基本機能の集合である．しかし，画面構成，情報表示などを細かく規定するものではない．施設間，あるいはメーカー間における画面仕様の差のほとんどは，導入時のカスタマイズ，あるいは機能設定のファイルで決定するものであり，本質的に標準化とは関係がない．むしろ，画面構成や表示の変更をユーザーレベルで行えることが標準機能として求められる．

AIMS は麻酔管理における情報管理システムであり，かつ業務システムである．このようなシステムの立ち位置を考えると，バイタルサインをはじめとする多様な情報を機器あるいはユーザー入力により確実に収集すること，それらを視認性が高いフォーマットで画面に表示し，また，適正なサンプリングレートで時系列に記録すること，そして，記録したデータの二次利用がストレスなくできること，これらがユーザーの視点からの標準機能であると考えられる．

参考文献

1. Prentice JW, Kenny GN: Microcomputer-based anaesthetic record system. Br J Anaesth 1984; 56: 1433-7
2. Block FE Jr, Burton LW, Rafal MD, et al: The computer-based anesthetic monitors: the Duke Automatic Monitoring Equipment (DAME) system and the microDAME. J Clin Monit 1985; 1: 30-51
3. 福田正人，山村剛康，原田幸二ほか：心臓麻酔記録のコンピュータ化．臨床麻酔 1986; 10: 801-6
4. 内田 整，奥村福一郎，大住寿俊ほか：コンピュータにより自動麻酔記録システム－ 4 年間の使用経験－．麻酔 1992; 41: 682-7
5. Eden A, Grach M, Goldik Z, et al: The implementation of an anesthesia information management system. Eur J Anaesthesiol 2006; 23: 882-9
6. Muravchick S, Caldwell JE, Epstein RH, et al: Anesthesia information management system implementation: a practical guide. Anesth Analg 2008; 107: 1598-608

麻酔記録装置の gap と must? テクノロジー学会からの基本的提言 － paperChart の現状とこれから －

斎藤 智彦

はじめに

paperChart は故越川正嗣氏が作成されたフリーの自動麻酔記録システムである．越川氏が逝去されてから 6 年になるが，その優れた操作性・安定性から今も多くの施設で使用されている．越川氏によるバージョンアップ，改良は行われていないが，筆者を含む有志により新たなデバイスに対応したモジュールの作成が行われている．また，paperChart 導入時に必要な初期設定やネットワーク管理，JSA 麻酔台帳との連携，サーバー管理をサポートする業者が数社存在する．

診療録の電子化が求められる現在，電子カルテシステムの更新に合わせ paperChart を導入する施設が増加している．電子麻酔記録システムとしての paperChart についての現状と，これからの展望及び課題について説明する．

paperChart の構成

paperChart は Microsoft Visual C++6.0(MFC) で作成された 32bit Windows アプリケーションであり，実行時には VC ランタイムライブラリ以外の外部 DLL，OCX が不要である．64 ビット Windows では WOW64 上で 32bit アプリケーションとして動作し，最新の Windows10 64bit 版で正常動作を確認している．

システムは麻酔記録本体 NV.exe を中心に独立した複数の実行ファイルで構成されており，データ収集モジュールもすべて独立した exe プログラムで構成される (表 1)．NV.exe と他の実行プログラムは Windows のプロセス間通信によりデータを共有しており，起動時のコマンドライン引数 /std_arg/が，プロセス間通信に必要な情報に展開され，モジュールプログラムに渡される．

NV.exe はマルチバイト文字に対応した ANSI バージョンとして作成されている．日本語はシフト JIS で Unicode に非対応であるため多言語には対応しない．

時刻管理に 32 ビットの UnixTime を使用しており，データファイル内部でも 32 ビットバイナリデータとして保存されるため，西暦 2038 年以降のデータを処理することができない．

基本機能

麻酔記録は，症例毎に 2 つのファイルに分けて保存されるが，① 生体情報モニターから自動記録される数値・アラーム・波形データは独自のバイナリファイル (拡張子は.wna) に，② 手入力あるいはポンプから自動入力される薬剤・イベント・患者属性情報はテキストファイル (拡張子は.txt) に保存される．これらのデータはハッシュ値で保護されており，真正性確保のため保存されたデータの修正は受け付けない．

測定ミスやアーチファクトが入ったデータも，モニターに表示された値がそのまま保存される．これは作者の越川氏が，測定されたデータが正しい値かどうかを担当麻酔科医が判断して，入力時に取捨選択や修正を行うのは人為的な改変であり，麻酔記録システムは受け取った値をすべてそのまま保存すべきである．その代わりモニターから得られるすべてのデータを，できる限り短い間隔で保存することで，表示されたデータがアーチファクトによるものか，患者のバイタルデータの変化

独立行政法人 労働者健康安全機構 岡山ろうさい病院 麻酔科

表 1．paperChart を構成するプログラム一覧

プログラム	内容	引数	メッセージ形式
NV.exe	麻酔器録本体プログラム		
Ma2.exe	患者情報（demograph）記入ツール	/std_arg/	テキスト
Sa2.exe	予定表を参照し demograph 作成するツール	/std_arg/	テキスト(未確認)
LaboM.exe	検査データ手入力ツール	/std_arg/	バイナリ
OF.exe	ファイル一覧からファイルを開く	/std_arg/	テキスト
Wv.exe	波形表示ツール	/std_arg/, /wna_file/	
monitors¥xL.exe	生体情報モニター データ収集プログラム	/std_arg/	バイナリ
monitors¥TP.exe	シリンジポンプ データ収集プログラム	/std_arg/	テキスト・バイナリ
ED.exe	設定ファイル編集ツール		
ME.exe	薬剤メニュー編集ツール		
BM.exe	Browser Man （実行中の症例データ表示）		
CV.exe	データ出力ツール（条件指定しデータ抽出）	/wna_file/	
CSV.exe	CSV 形式データ保存ツール	/wna_file/	
FM.exe	症例ファイルの複写・移動・削除・ツール		
Squeeze.exe	数値・波形データ破損部分削除ツール		

を示すものかは，総合的に判断することが可能である，という信念に基づいた仕様となっている．

生体情報モニターからの連続データ (観血的動脈圧や SpO_2 値など) は 5 秒おきに記録され，麻酔記録画面も最小 5 秒単位のデータを表示することができる．

チャートに表示するシンボルは設定ファイルで自由に変更でき，チャートに表示されないデータも，マウスを時間軸上にポイントすると，全数値データがポップアップ表示される．

データは複数の入力方法に対応しており，① ボタンまたメニューから選択，② 右クリックで表示されるコンテキストメニューからの選択，③ Drag&Drop 操作，いずれも直感的な操作で，時間軸に対して簡単にチャート上に記述することができる．

入力された薬剤データの血中濃度シミュレーションもリアルタイムでグラフ表示され，120 分先までの予測血中濃度も表示される．シミュレーションに用いるアルゴリズムも複数用意されており，画面上で切り替えて表示することができる．

paperChart の設定

paperChart の動作や表示に関する設定は，すべてテキストファイルに記述されており，メモ帳などのテキストエディタで編集することが可能である．

設定ファイルは，① 一般の管理者が設定，変更する必要のある施設マスター，② システム管理者や SE が設定する paperChart の動作や外観を制御する設定ファイル，の 2 種類に分けられる．① は薬剤マスター，属性入力用設定，施設関連情報などの管理情報で，タブ区切りのテキストとして ADM フォルダに保存される．② は paperChart の動作を決定する設定ファイルで，{…} 内部にスクリプトを記述するブロック構文を使用したテキストとして CONF フォルダに保存される．② のスクリプトファイルは単なる設定ファイルではなく，paperChart という麻酔記録用言語を制御するためのソースファイルと考えた方がよい．デフォルト設定は，paperChart を制御するためのサンプルプログラムと考えることもできる．

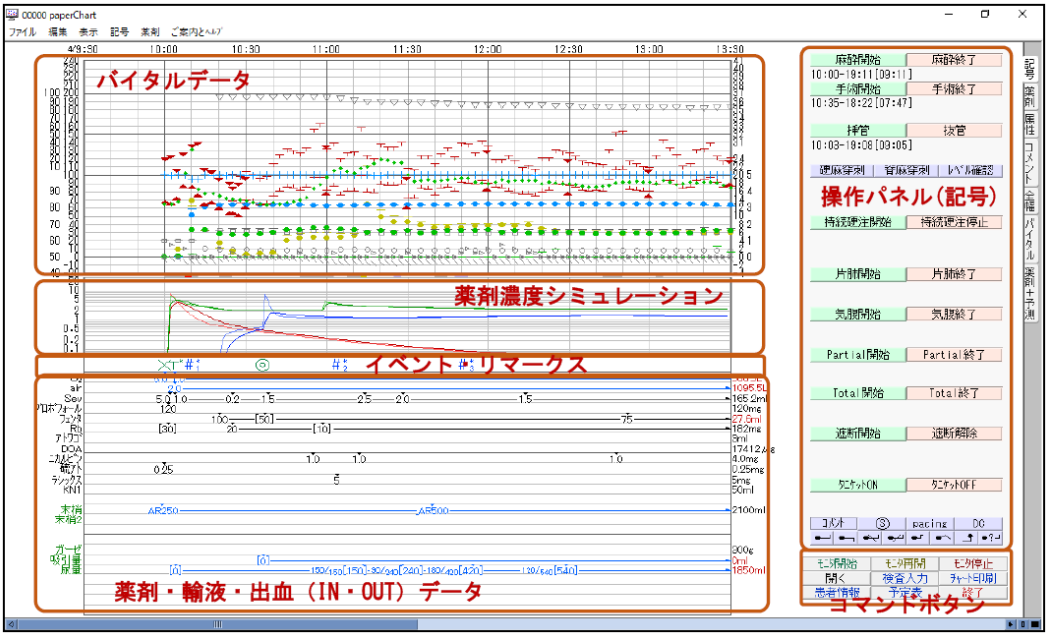


図 1．paperChart の画面構成

ネットワーク環境への対応

paperChart は専用のデータベースを使用しない．クライアント・サーバーの概念が無く，共有フォルダを介して全ての管理を行う．paperChart 使用にはログインが不要である反面，利用者情報の管理ができない欠点がある．

個々の paperChart に固有のシステム ID を指定するだけでネットワークでの利用が可能となる．薬剤マスターや施設マスターは，共有フォルダから自動配信される．ネットワーク環境下では，症例データはローカルフォルダと共有フォルダの両者に同時出力される．

電子カルテシステムとの連携も，データベースやソケット通信は使用せず，共有フォルダ上のファイルを介して行う．手術情報・患者情報の取得は電子カルテからの CSV ファイル，paperChart からの麻酔記録は共有フォルダへの PDF 形式ファイル保存で実現している．

ネットワーク接続が遮断された場合も，外部データベース，クライアント・サーバー通信を行っていないため，生体情報モニターと接続されていれば，paperChart はバイタルデータを取得し，通常動作を続ける．症例データはローカル上に保存し動作を続け，ネットワーク接続が回復された時点で，共有フォルダにデータを送信する．手術室以外に一時的に麻酔記録を持ち出しても使用可能である．

新規デバイスへの対応

越川氏が作成されたオリジナルモジュール以外に，各種モニター，シリンジポンプ，麻酔器に対応した通信モジュールを筆者が作成しており，現在も数種類のモジュールを開発中である．通信プロトコルの解説と，通信モジュールを開発するためのコンポーネントの公開を行うことで，より多くの開発者の協力を期待したい．

1．すでに動作実績のあるもの

① クーデックシリンジポンプ CSP-110，② JMS シリンジポンプ SP-520 / SP-120，③ 日本光電麻酔器 LeonPlus.

```
screen  // 押しボタンエリア(右側partition)あり
{
    number = 0;
    std_width = 3000;
    std_height = 2000;
    trend_graph = yes;
    left = 230;
    right = 2100;
    time_top = 10;
    trend_top = 64;
    trend_bottom = 804;
    trend_divide = 26;
    ・・・ 途中略 ・・・
    ecgmisc          = 0 22 -4 40;
    hipress          = 0 26 -20* 240*;
    ・・・ 途中略 ・・・
    temp             = 12 26 27 41*;
    spo2             = 0 12 40* 100*;
    tidal            = 2 12 0* 1000*;
    alarm_top = 804;
    alarm_bottom = 819;
    predict_top = 819;
    predict_bottom = 1100;
    predict_ordinate = 30 0.05; // 上辺実数
    predict_decline_width = 190;
    remark_top = 1100;
    inout_top = 1150;
```

```
麻酔
{
    begin
    {
        label = 麻酔開始;
        symbol = color 0 128 64;
        symbol = line -18 -18 18 18;
        symbol = line -18 18 18 -18;
        button
        {
            sheet = 記号;
            left = 2330;
            right = 2610;
            top = 40;
            bottom = 90;
            background_color = 208 255 224;
            symbol = color 0 0 0;
            symbol = glyph 麻酔開始 40;
        }
        ime = kana;
        copy_to_comment = no;
    }
    end
    {
        label = 麻酔終了;
        symbol = color 192 0 0;
        symbol = line -18 -18 18 18;
        symbol = line -18 18 18 -18;
        choice = 記号.txt#麻酔終了;
        button
        {
```

図 2．paperChart の設定ファイル例

2．現在開発中のもの

① GE 麻酔器 (Carestation / Avance)，② アイ・エム・アイ TOF カフ*，③ アルゴンメディカル (現メリットメディカル)LiDCO*，　マシモジャパン Root7*.

3．バージョンアップ予定のもの

① クーデックシリンジポンプ CSP-120 への対応.

4．検討中のもの

① テルモ SS シリーズ/ TE-3xx シリーズ，② フィリップス MRI 対応モニター Expression，アイ・エム・アイ NIRS モニター NIRO*，手動バイタル入力プログラム*.

注) 原稿執筆時点では，*の付いた 5 つのモジュールは作成済みで動作実績あり.

paperChart は AIMS となり得るか?

AIMS(Anesthesia Information Management Systems) とは，今まで自動電子麻酔記録装置と呼ばれていた EARS(Electronic Anesthesia Record System) / AARS(Automated Anesthesia Record System) を超えた，周術期一般の麻酔科医の業務をサポートするための部門システムである.

paperChart は，独自のデータベースを持たないため，スケジュール管理や術前・術後管理を行うことができない．HIS や検査部門との連携が望まれるが，施設ごとに連携の形態はさまざまで，paperChart が標準で対応することは容易ではない．日本麻酔科学会の公式麻酔台帳 JSA PIMS は，術

前の手術予定, 患者情報を扱うことが可能であり, paperChart は XML ファイルによる JSA PIMS 連携機能を持っている．しかし，paperChart も JSA PIMS も電子カルテとの相互運用は想定されていないため，マスターの共有さえ容易ではなく，部門システム AIMS として使用することは難しい.

導入支援サポート業者に関して

Linux はオープンソースであり, 誰でも無料で自由に使用することが出来る．しかし，実際には導入支援や設定･メンテナンスをサポートする業者が多数存在し, 企業へ導入される場合, 多くはサポート業者が介入している．Apache, PHP, MySQL, PostgreSQL, Postfix, Samba などのサーバーアプリケーションもオープンソースであり，それぞれ公的なサポート団体が存在し Web 上に情報もあるが，実際の導入では，有償のサポート業者やサポート情報が存在する.

paperChart はオープンソースではないが，フリーソフトとして使用できる．しかし，実際，業務で電子カルテとともに使用するためには，HIS ベンダーとの交渉，使用機器の調達，ネットワーク設定，paperChart の各種カスタマイズ，運用上のメンテナンス 等を行う必要があり，麻酔科医でこれらの業務をすべて行うのは容易ではない．また，導入時の麻酔科担当者がいなくなった場合に，システムを維持することも難しくなる.

これらの問題を解決するには, paperChart 導入支援をサポートする業者の協力を得る必要があると考える．業者の協力を得ることで, paperChart の導入が業務であることを病院に示すことができ，新規導入に際し，予算化しやすく，事務レベルの交渉がスムーズとなる．また，導入担当の麻酔科医にかかる負担も軽減するほか，担当者が変わった後も，paperChart を継続使用することができる.

現在，筆者が直接確認している導入支援サポート業者を paperChart.net ホームページで公開している．サポート業者に関する情報があれば, ホームページを通じて筆者まで連絡してほしい.

paperChart の公式サポート 法人化の必要性

paperChart の最新情報は, paperchart.net ホームページや，paperChart-ml メーリングリストで行っているが，いずれも著者によるボランティア業務で行われているため，十分な情報の更新が行われているとはいえない．多くのユーザーは，公式にサポートしてくれる情報を望んでいる.

導入や日々の利用に関するサポートの他，未対応デバイスに対応する新しいデータ収集モジュールの作成や，開発したプログラムの公開，動作の検証 (テスター) を含め，今後の対応を行うには，公的なサポートを行う研究会などの法人が必要であると考える.

1. 事務的な業務に関して

paperChart 利用に関するノウハウの公開, 動作環境の検証, よくある質問への回答など Web ページを中心とした各種情報の整理や，導入している既存施設への対応を行う必要がある．筆者の経験では, 病院がシステムを導入するとき, 個人が開発したフリーソフトウェアと法人が管理するフリーソフトウェアでは導入時の敷居の高さが違う.

新しいデバイスに対するモジュールの開発には，デバイスの通信プロトコル開示請求が必要だが，各企業との秘密保持契約において，その契約相手には法人格が求められることが多い．法人として契約を結ぶことで，法人内のメンバーはデバイスの開発・デバッグ・修正に必要な情報を共有することが可能となる.

2. ワークショップ・研究会での企業協賛

法人化した研究会であれば，企業からの協賛が得やすくなる．ワークショップや勉強会を開催する場合も，モニター機器の貸し出しや，協賛広告を得ることもできるため，講師やスタッフの費用をまかなうことも可能となる．　一方，法人として運営するためには，規約の作成，理事や会計な

どの役員配置, 運営費用を予算化する必要がある．登記のための費用も必要となるため，会員から年会費を徴収するなどの継続的な収入を考える必要がある．非営利活動法人として公的なサポートを行うためには，越えなければならないハードルは決して低くはない．

まとめ

paperChart は完成されたプログラムであるが, 周辺機器への対応や電子カルテ連携などまだまだ発展途中のシステムである．今後, 法人化を含め, 筆者以外の有志の参加を募る必要がある．今後とも本学会の会員および関連企業各社の方々のご協力をお願いしたい．

参考文献

1. 越川正嗣．電子麻酔記録ソフトウェアの作り方 (コツと落とし穴), 日臨麻会誌, 31 巻 5 号，p.755-760, 2011.
2. 斎藤智彦．paperChart の遺志と周術期 IT の未来を考える－開発者として何ができるか－．麻酔・集中治療とテクノロジー 2012，京都：北斗プリント; p.41-48, 2013.
3. 斎藤智彦．自動麻酔記録ソフトウェア paperChart 対応シリンジポンプデータ送信プログラムの作成．麻酔・集中治療とテクノロジー 2016，京都：北斗プリント; p.41-48, 2017.
4. 斎藤智彦．麻酔科医が作成した自動麻酔記録システム－フリーソフトウェア paperChart について，システム/制御/情報，61 巻 1 号，p.8-13，2017.

ABSTRACT

Now that digitalization of medical records is required, the number of hospitals introducing paperChart is increasing as the EARS(Electronic Anesthesia Record System) is updated. Although paperChart is a completed program as the EARS, it is still in the process of development such as correspondence to peripheral devices and linkage to the hospital information system. So, I would like to ask for your continued cooperation from the members of this Society and the related companies.

Key words:
paperChart, Anesthesia Information Management System, Electronic Anesthesia Record System

Japan Organization of Occupational Health and Safety:
Okayama Rosai Hospital, Okayama, 702-8055

【テクノロジー学会からの調査に対する回答】

シンポジウムに合わせて送られた調査に対する回答を以下に示します.

Q1. 自動麻酔記録装置の機能について，以下の機能についてお答えください．できるかできないか，できる場合は詳細もお願いします．製品に標準搭載でないものは，できるとせずにオプションとして下さい．○のものについては，画面キャプチャーを含む説明用スライドをご提供ください．

術中記録機能	可否	内容
モニター数値	○	各社生体情報モニター
モニター波形	○	Philips:IntelliVue, GE/Ohmeda: S/5 のみ対応
麻酔器設定値	○	Draeger:Fabius, 日本光電:LeonPlus
シリンジポンプ設定値	○	テルモ: TE-332, 352, 371, 161 クーデック:CP-110, JSM:SP-520/120
自動取り込み間隔	5 秒	画面表示の最小単位 5 秒に一致
タイムサーバーとの時刻同期	○	PC が NTP サーバーに同期していれば OK
静脈麻酔薬シミュレータ	○	Propofol, Remifentany, Fentany, Rocuronium, Midazolam. パラメータの編集可
吸入麻酔薬シミュレータ	×	機能無し

術中記録機能（手入力）	可否	
薬剤	○	メニュー，右クリック，右パネル薬剤ボタン
輸液	○	
イベント	○	イベントとリマークスの厳密な区別は無い
リマークス		イベントマークの表示と，コメント項目の入力
体位	○	体位も「リマークス」の一種類
必須入力項目の設定	×	データの取得を最優先で行う仕様のため
画面構成		設定ファイルで自由に変更．端末毎に指定可

システム連携	可否	
HIS への麻酔記録転送	○	共有フォルダへ画像ファイル(標準)，PDF ファイル出力(PDF 出力用ソフトが必要)
JSA-PIMS 連携	○	入力後の XML ファイルによる連携
術前・術後診察記録機能	△	入力欄のみ存在．事前入力は不可.

センター機能	可否	
術後症例検索および麻酔チャート表示・印刷	○	PDF ドライバで出力
各種帳票作成および日報月報年報	○	CV.exe の出力を加工
術中記録数値・波形抽出によるデータ解析	△	波形データの解析は不可

Q2. 数値，記事入力インタフェース (薬剤，輸液，イベント，リマークス，体位) について，以下の内容が何ステップ (何クリック) で完了するか (完了は，ダイアログを閉じるまで．1 分以上ダイアログが閉じない場合は，閉じるためのクリックもカウントしてください)．文字入力が必要な場合は，文字入力ための 1 キー入力を 1 ステップと数えます．

作業	ステップ
1. 新規薬剤の薬剤欄への記載（塩酸エフェドリンを登録する）	薬剤欄のみの確保は不可
2. フェンタニル 1mL を現在時刻に新規記載	1〜3
3. 14:24 に登録済みのエスラックス 10mg を 14:22 に変更	1〜2
4. 15:02 に登録済みのキシロカイン 40mg を削除して、同時刻にエスラックス 40mg を新規登録（現在時刻は 15:03）	2〜4

Q3. バイタルサイン記録を見ながら血圧が上がっている時刻の 30 秒後に，レミフェンタニル 0.5mL 静注を新規入力する場合，どの様な操作をするか．図示してください．何を確認して，何を操作するか．手順を示してください．できない場合には，何ができないかを記載してください．

作業	ステップ
1. 時間軸を最大に変更	1〜2
2. マウスのホイールボタンを回転させる あるいは，右下の時間ウィンドウの表示ボタンを押す	1〜3
3. 確認した時刻の 30 秒後の時間軸で右クリックし，レミフェンタニルを選択して 0.5ml を入力 薬剤メニュータブにレミフェンタニル 0.5ml がある場合，ボタンを選択して，30 秒後の位置まで Drag&Drop	6 2

薬剤データも 5 秒単位で入力することが可能．ただし，時刻を直接入力するのではなく，時間軸に対して Drag&Drop するため，時間軸の調整が必要．

Q4 術中入力の現在表示画面入力欄に，現在時刻が表示されていないとき，何をすれば現在時刻の入力位置が表示できるか．自動的に現在時刻表示にスクロールする機能はあるか．あるとすれば，操作しなくなった後，何秒後か?

最下段の時間軸スクロールバーをドラッグする．時間軸の表示が最大時間表示になっている方が簡単なため，マウスのホイールボタンを併用した方がよい．

バイタルサイン計測中は，2〜5 分で最新のデータが表示される位置へスクロールされる．

Q5 自動入力の数値は，いつものものか?

1．記録時刻 (モニターのタイムスタンプを利用/記録端末やサーバーのデータ取得時刻/その他)

記録端末の時刻を使用

2．自動入力のデータは何秒おきに記録できるか

5 秒おき．内部的には 1 秒．

3．データが来たときに 15:55:34 だったとすると，どの時刻に記録されるか

保存は 15:55:34 で，表示上は 15:55:35 の欄

4. 手入力のデータやリマークス・イベントは何秒おきに記載できるか．同時刻に 2 項目の記載が可能か

同時刻可能

5. その記録方式で自動入力の時刻と実際のイベントやリマークスの入力時刻の前後関係が崩れないか

特になし

Q6．自動麻酔記録装置を 3 段階に分類すると，最低限の機能を持ったものを梅，最高機能を松，中間のものを竹とした場合，夫々を，どの様な切り口で分けているかをお答えください．また，松，竹，梅に含まれる機能をそれぞれお答えください．機能に関しては，Q1 の項目を参考にご記入ください．それ以外の項目も歓迎です．

1 製品を 3 段階に仕立てているのか，別製品を用意しているかについてもお答えください．貴社の製品が 3 つに分かれていない場合，夫々の製品がどの格に相当するのか製品名を入れてください．製品がなければ×を入れてください

該当せず

Q7．メンテナンス費用およびメンテナンス内容

該当せず

Q8．自動麻酔記録の採用に関しての必要性 (重要度) を理解している施設が，メーカー製の AIMS を採用できない (しない) 理由は何だと考えられますか?

意見，理由が複数ある場合は，重要順に列記してください．

高額であり，費用対効果に見合わない．手書きより入力に手間がかかる．モニター・麻酔器がさまざまなメーカーが混在している．

Q9．ユーザーに言われて困ること，困っていることを具体的に教えてください．重要順に 10 個以内でお願いします．

・ バイタルデータは変更できないのですか
・ 患者基本情報をあらかじめ入力できませんか
・ 薬剤表示欄の名称が表示されないのですが (バグ)
・ 症例を「開く」メニューに時間がかかり，日時順になりません
・ 麻酔記録中に画面の設定を変更したいのですが
・ 電気メスなどのノイズでデータが取れなくなってしまいます
・ 時刻を指定して，イベントや薬剤データを入力したい
・ 当院のモニターは波形データが保存されませんか

Q10．自動麻酔記録をビジネスと捉えたとき，どういう (世の中の) 仕組みが足らないと考えますか．解決手段があれば，アイデアをお知らせください．

該当せず

心電図学教室：体表心電図の新しい概念と分類

－高 K 血症のテント状 T 波と冠動脈攣縮初期の巨大 T 波の違いについて－

田中 義文

はじめに

体表心電図の発生機序について，特に R 波に関してはアイントーベンの平均電気軸で解説されているが，その他の ST セグメント，T 波等に関しては臨床的に重要な所見にも関わらず，未だに納得できる発生機序の解説はない．本項ではその点に注目し，R 波，ST セグメント， T 波の成因について独自の見解を示すと共に，墓石様波形の発生機序にまで言及したい．

R 波の発生機序について．

図 1 は著明な心電図学書の説明に使われている図である．心筋興奮の＋電流が皮膚の＋電極に向かうために，心電図では針が＋に振れると解説している．心電計は高感度の電圧計測器であるから，電極面に近い心筋はまだ－電位を示しているために電極面は＋になり得えない．この図に従えば，つまり針は基線のままであり，興奮が心外膜に到達して初めて＋に振れ始めるはずである．

もし心電計が電流計だとすると，内部インピーダンスが非常に低いために心電図を測定することが不可能である．百歩譲って，R 波のスパイクが興奮電流を測定しているということを認めると，今度は再分極は逆方向に向かうから T 波は逆転 T 波になり，陽性 T 波の説明ができない．アイントーベンはこの説明で平均電気軸の概念を提唱したが，当時の絃線検流計は中等度のインピーダンスであったので運良く測定できた．また，アイントーベンは心筋間に電流が流れて興奮収縮すると考えていた．

今日の知識では，細胞膜は高度に絶縁された脂質二重膜で覆われ，細胞膜間に興奮電流など流れないので，図 1 の説明は間違いであると言える．因に陽性 T 波の成因を Wikipedia[1]で検索すると，－の電流が－方向に流れるから陽性 T 波になると

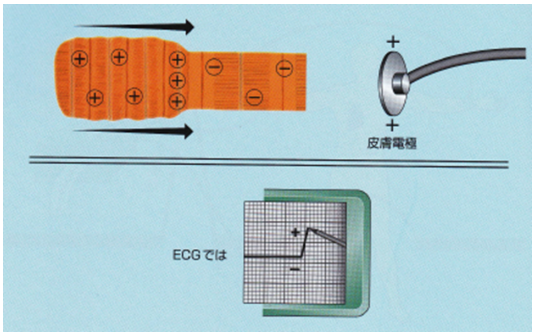


図 1 間違いの心電図測定原理 I
上図に心筋収縮と弛緩状態と皮膚＋電極を示す．＋の興奮電流が＋極に向かうために下図に示す心電図の指針が＋に振れる．デイル デュービン著： 図解心電図テキスト Dr.Dubin 式 はやわかり心電図読解メソッド，文光堂より改編

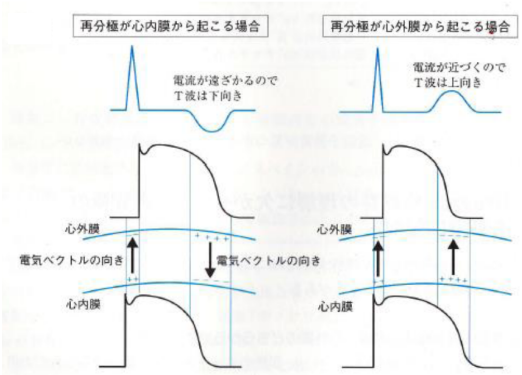


図 2 間違いの心電図測定原理 II
心筋壁を心内膜側と心外膜側に区分し，それぞれの心筋活動電位を示す．左図に再分極が心内膜側より発生する場合では陰性 T 波が発生し，右図の再分極が心外膜側より発生すると陽性 T 波が発生する原理を示す．中谷晴昭, 古川哲史, 山根禎著：そうだったのか! 臨床に役立つ不整脈の基礎．メディカルサイエンスインターナショナルより改編

京都府立医科大学 麻酔科学教室

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/T_wave

述べており，理解に苦しむ．

図 2 は心室を心内膜側と心外膜側に分画して活動電位を表示している．左図は心筋再分極を心内膜側より発生する場合で陰性 T 波，右図は心外膜側より発生する場合で陽性 T 波になると説明されている．しかしながら，この図においても心筋興奮により心筋間に電流が発生し，その電流が体表心電図に反映するという間違いは図 1 のアイントーベンの概念と同様である．それと同時に，電極の配置や極性についても述べられていない．

実際の R 波の発生機序を図 3 に示す．右肩 R 極で示す－端子は心室腔の心内膜側細胞外電位を検出し，左脚 F 極で示す＋端子は心外膜側細胞外電位を検出する．細胞外電位は，Nernst の濃淡電池の原理にしたがって，心筋活動電位の逆転波形となる．心内膜側心筋が脱分極すると，R 極に－電位が荷電する．その－電位が心電計の－端子に接続され，心電計は＋に振れる．したがって，心内膜側の心筋興奮が順序良く，すぐさま心電計に反映される．心筋興奮が心外膜側に及ぶと，今まで＋であった心外膜側細胞外電位が順次－の電位低下がおきる．そのために心電計の＋端子の電位が下がり，R 波の下降部分が形成される．心電計は心筋の興奮電流の測定ではなく，心内膜側，心外膜側の細胞外電位の電位差のみを計測している．つまり，心筋興奮電流という一過性のパルス波という概念はなく，R 波の上向成分と下降成分とに分割される，独立した別のメカニズムが組み合わされた波形であることがわかる．

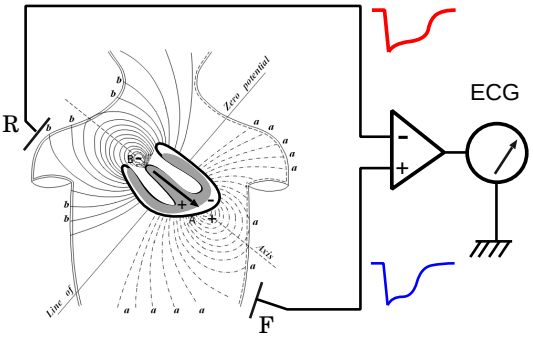


図 3 正しい R 波の発生メカニズム

始めに心内膜側細胞の脱分極で心腔内細胞外電位 (赤波形) が－になり，その電位が R 極を介して心電計の－端子に荷電する．－電位が－端子に荷電するために，心電計は＋に振れる．その後，興奮が心外膜側心筋に伝わると，その周囲の心外膜側細胞外電位 (青波形) が－に荷電し，F 極より心電計の＋端子に伝わり，R 波の下降部分が形成される．全ての心筋が＋に荷電すると，電位差がなくなり，心電計は基線に戻る．心筋が静止時の基線と脱分極時の基線とは発生メカニズムが異なることに注意．

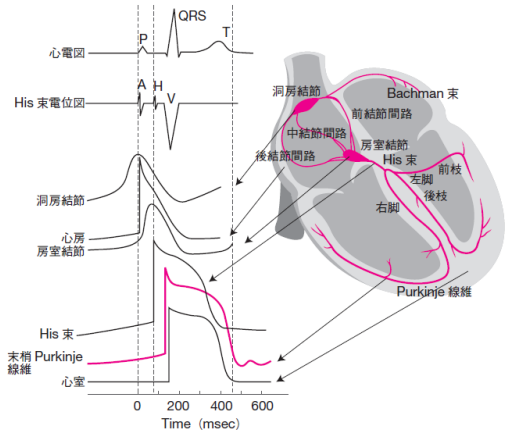


図 4 心臓各部位の活動電位

左図に心電図，His 束電位，各心臓部位の活動電位を示す．Purkinje 線維は赤線，一般心室筋は黒線で示し，右図に心臓の刺激伝導系を赤線で示す．正常では Purkinje 線維の脱分極の後に一般心筋が脱分極し，一般心筋の再分極の後に Purkinje 線維の再分極となる．

心臓各部位の活動電位

図 4 に心臓各部位の心筋活動電位と心電図との関係を示す．アイントーベンの心電図 (1903)，田原・アショッフらの刺激伝導系の発見 (1905)，そして，心筋細胞などの小さな細胞の活動電位測定は，Ling, G. & R. W. Gerard による 1949 年のガラスマイクロピペットの開発 [1]，Draper M. H. & Weidmann S.[2] による 1951 年にイヌでの Purkinje 細胞の計測の結果でなし得た図である．ヒス束心電図 (HBE と略) は，刺激伝導系の一部であるヒス束の電位波形で，1958 年 Alanis 等 [3] により動物で成功し，1969 年 Scherlag 等 [4] により不整脈診断等に応用された．特殊伝導系である

Purkinje 線維は心室腔内面を網目状に網羅し，最も早く脱分極する (左図赤線波形)．その後，近接心筋が脱分極し，心室筋全体に興奮が伝播する．再分極は心外膜側心筋より始まる．心内膜側心筋が最も早く興奮し，最後まで興奮が持続することは，房室弁逆流を防ぎ，心腔内血液を駆出する上で効率がよい．しかし，大動脈弁狭窄などで左室内圧が上昇すると，心肥大が発生し，心外膜側心筋の再分極が心内膜側心筋より遅れ，図 2 左図に示すように T 波の逆転が生じる．

体表心電図の発生機序

正しい R 波，ST セグメント，T 波の発生機序を図 5 に示す．A は心筋が全て－の静止電位であるために細胞外電位は全て＋を示す．B は心内膜側心筋が脱分極を開始するために，心腔内細胞外電位が一部－になる．そのために R 極は－電位を心電図の－端子に荷電し，その結果，R 波の上昇となる．しかし，心外膜側 F 極は＋電位のままで，変化はない．C は心内膜側心筋の脱分極は完了し，心外膜側心筋が脱分極していく過程を示す．R 極は－のままで，F 極は＋から－に変化する．そのために＋端子に－の電位が印加されるために，R 波の下降成分が生まれる．D は全ての心筋が脱分極された状態であり，両端子は－に荷電され，心電計は ST セグメントを形成する．この状態は心電計は基線に戻るが，A の静止状態の基線と同じではない．E は心外膜側の心筋が再分極過程に入るために心外膜側細胞外電位は＋に移動する．そのために F 極に接続された＋端子の電位は増加し，心電計では T 波の上向部分を形成する．F は心外膜側心筋の再分極は完了し，心内膜側心筋の再分極過程である．そのために心腔内細胞外電位の上昇が発生し，－端子に＋の荷電が加わり，T 波の下降成分が形成される．

このように，R 波は異なる二つの要素で形成され，ST セグメントの基線は静止状態の基線とは異なる状態であり，T 波も二つの要素で形成される．心筋障害で静止電位が変化すると，ST 上昇や ST 低下が発生するのは当然である．

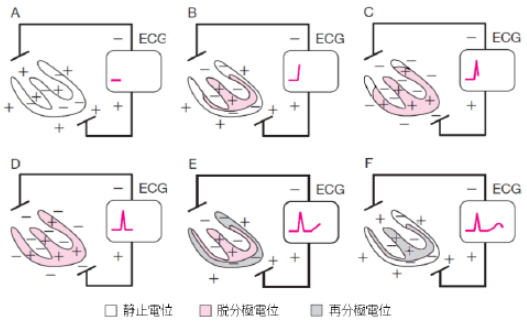


図 5 体表心電図の発生機序

A から F の順に R 波，ST セグメント，T 波の発生機序を示す．R は右肩電極，F は左脚電極．細胞外電位は活動電位の逆転電位である．本文参照．

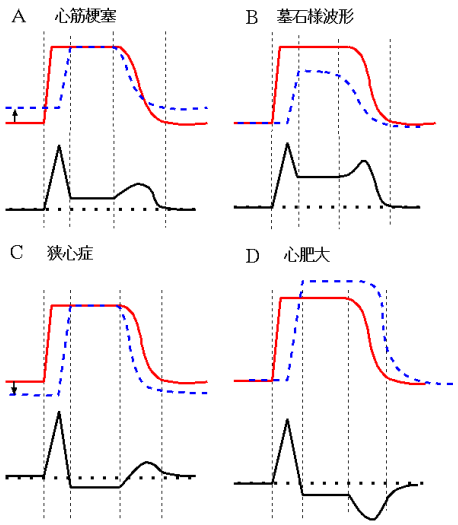


図 6 ST セグメントの変化

心内膜側心筋活動電位は赤線，心外膜側心筋活動電位を青線，下に黒線で心電図波形を示す．A:心筋梗塞，心外膜側心筋の静止電位の上昇．B：墓石様波形，心外膜側心筋の脱分極電位低下．C：狭心症，心外膜側心筋の静止電位低下．D：心肥大：本来，脱分極電位は上昇しないが，仮に心臓外膜側の表面積増加による細胞外電位増加を心外膜側心筋の活動電位で図示した．心外膜側心筋の再分極が遅延するために T 波逆転が生じる．

ST セグメント

心内膜側細胞外電位，心外膜側細胞外電位が静止時および脱分極時でそれぞれ同じであれば心電図に基線と ST セグメントの Y 座標は同一の位置に描かれる．しかしこの 4 つの電位に変化が

生じると ST 上昇，または ST 低下が発生する．図 6 にそれぞれの組合せを示す．A は心筋梗塞時の ST 上昇である．虚血のために心外膜側心筋の静止電位が上昇する [6]．脱分極時 (活動電位 2 相) の電位には変化はなく，基線から見ると ST 上昇に見える．梗塞部位は心内膜側が最も大きくなるが，梗塞部以外の心内膜側心筋は正常であるため，平均すると心内膜側細胞外電位は正常と変らない．心外膜心筋の脱分極時間が短くなると，ST 上昇と共に上に凸型の T 波が強くなる．B は冠動脈攣縮や心筋梗塞初期に見られる墓石様波形である．突然の虚血で心外膜側心筋が脱分極できない心筋が多くなるため，加算する細胞外電位が低下する．極端な場合は心室筋活動電位かと見誤るほどになる．C は狭心症で心外膜側心筋が酸素欠乏に陥り，ATP 依存性 K^+ チャネルが開口し静止電位が低下する．基線から見ると ST 低下になる．酸素欠乏になっても脱分極電位は正常であるため，静止状態から脱分極状態への振幅は大きくなる．D は心肥大で心外膜表面積が増大し，その加算で心外膜側細胞外電位が増大する．本来は心筋活動電位に変化は生じないが，図の整合性のために活動電位 2 相を高電位にした．また，心外膜側脱分極時間が遅延するために ST 低下と共に T 波反転を表示している．

シミュレーション

心電図計測は，図 7A に示すように，左脚 F 極から右肩 R 極の電位の引き算結果であるが，細胞外電位は心筋活動電位の反転波形となる．反転波形どうしの引き算は理解しずらく，図 7B に示すように心電計入力の＋－端子を逆に接続すると仮定すると，心内膜側活動電位から心外膜側活動電位の引き算結果が心電図になる．つまり，逆転の逆転は真という理屈である．この方法だと活動電位の変化を難なく理解できるため，種々の活動電位の変化による心電図を求め，図 8，図 9 にシミュレーション結果を表示した．

内膜側活動電位を赤色，心外膜側活動電位を青色で示し，赤－青の波形が心電図となり，黒色で

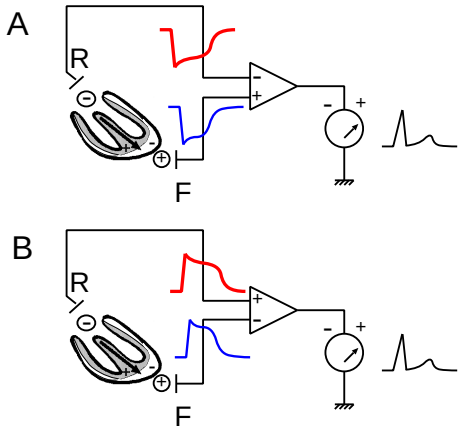


図 7 シミュレーションの原理

図 A は実際の心電図計測図である．R 極は右肩端子で心腔内細胞外電位を検出し，心電計の－端子に入力する (赤波形)．F 極は左脚端子で心外膜側 (心尖部) 細胞外電位を検出し，心電計の＋端子に入力する (青波形)．反転波形の引き算操作は難解なので，図 B のように，仮想的に入力端子を正負逆にすると，心内膜側活動電位から心外膜側活動電位の引き算として考えることができる．

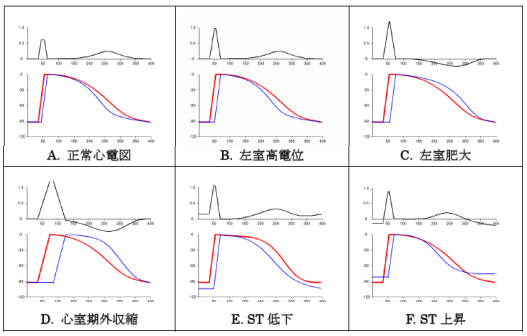


図 8 シミュレーション I

心内膜側活動電位を赤，心外膜側活動電位を青で示し，赤線から青線の波形を引き算すると上に示す心電図波形となる．本文参照．

上に表示している． A は正常心電図である．上向きの幅の狭い R 波と上向きの T 波が現れている．B は青色の心外膜側電位を少しだけ右方に移動したときの図で， R 波の幅が広くなると同時に電圧も高くなる．C は更に右方に移動させる．すると R 波の高さ，幅は広くなると同時に，T 波の逆転が見られ，左室肥大の診断基準に合致する．T 波の逆転は心外膜側より心内膜側の方が早く再分極するためである．D は心外膜側の興奮が極端に

遅延した場合である．心室期外収縮に相当する．幅の広い大きな R 波，下降する ST セグメント，そして逆転 T 波となる．E は心外膜側の静止電位が低下したために発生する ST 低下を示す．心筋虚血に陥ると，ATP 依存性 K^+ チャネルが開き，静止電位が低下するためである．F は心外膜側の静止電位が上昇するために発生する ST 上昇を示す．急性の酸素欠乏に陥ると，心筋細胞の静止電位が上昇することが知られている．心筋梗塞の場合は心外膜側より心内膜側の方が梗塞部位が大きいのに正常の心内膜側活動電位を示しているのは何故かと質問を受けるが，部分的な心筋梗塞であっても残った多くの心内膜側心筋は正常であるために平均としてほぼ正常の心内膜波形になると説明している．更に大きな梗塞で心内膜側心筋障害が発生すると，別誘導でミラー状の ST 低下が発生する [5]．

図 9 に示す G は心外膜側活動電位の再分極が早期に発生するために T 波増高が生じる．この波形は心筋梗塞の初期段階で見られ，Giant T wave と呼ばれている．H は心外膜側再分極が心内膜側のそれに近づいた場合で，T 波高が低下する．アドレナリン投与などでもっと近づくと T 波が見えなくなる．J はジギタリスの盆状 T 波である [5]．K は早期再分極症候群で見られる Na^+ チャネル機能不全である [5,6]．突然死の原因の一つに揚げられている．L も異形狭心症や心筋梗塞の初期に現れる墓石様波形である [6]．心外膜側活動電位の低下により発生し，極端な場合は心内膜側活動電位がそのまま表示される．

このように上記のシミュレーション例を見ると，心内膜側活動電位から心外膜側活動電位の引き算だけで種々の異常心電図を表示することができ，著者は「体表心電図の統一理論」と呼んでいる．

胸部誘導

図 10 に示す胸部誘導を見ると，ST セグメントが水平なのは V_6 誘導だけで，V_2 から V_6 までの誘導は上向き T 波に連続している．これは正しい波形なのかどうか診断に不安が残る．また標準四肢誘導は矢状断面を反映するのに対し，胸部誘

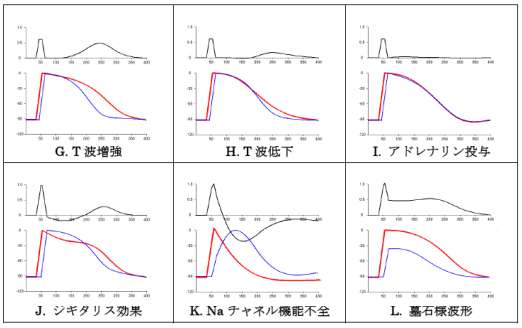


図 9 シミュレーション II
表示は図 8 と同様．本文参照．

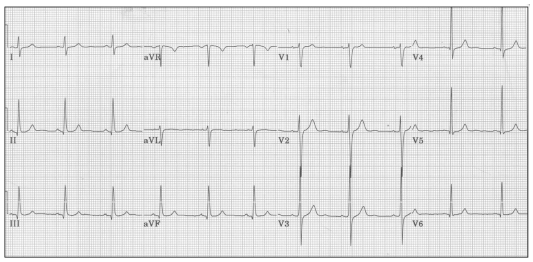


図 10 正常心電図
I 誘導の s 波が若干大きく，また若干反時計回転であるが，正常心電図である．四肢誘導の ST セグメントは水平で T 波の下降線は急峻である．V_2 から V_5 までの ST セグメントは上向きであるが，下に凸の曲線で，その勾配は減少し，V_6 では殆ど水平の ST セグメントである．V_1 は陰性 T 波でもよい．

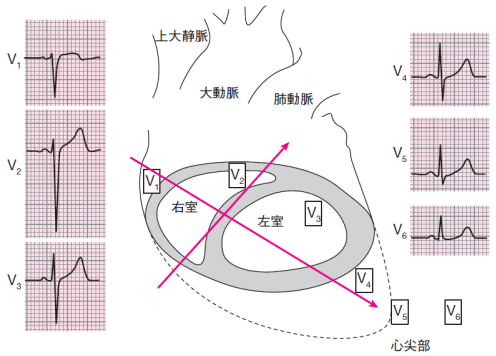


図 11 胸部誘導，水平断面のイメージ
胸部誘導の電極と心臓の位置関係を示す．下から覗き見て心室中隔が左側に回転すると反時計回転，右側に回転すると時計回転とよぶ．移行帯は V_3〜V_4 が正常である．ST セグメントは右上がりの勾配であるが，V_6 に行くにしたがって勾配は小さくなる．

導は水平断面を反映するといわれている．そのイメージを明らかにするために，著者自身の胸部誘導を重積させて図 11 に示す．R 波と S 波との比が 1 の部分を移行帯という．正常は V_3〜V_4 でそれより前であれば反時計回転，後なら時計回転という．図 11 のように立体図にすると判りやすい．また，右室肥大になると，V_1，V_2 に影響を受けるが，直接 R 波になるのではなく，不完全右脚ブロック型の rsR' 型になる．r 波は中隔心筋の興奮である．もし右室肥大で R 波となれば，それは高度不完全右脚ブロックと呼び，先天性心疾患に多い．ST セグメントは，V_2 から V_5 まで上向き勾配であるが，その勾配は徐々に弱くなり，V_5 ではほぼ水平になっている．

図 12 に胸部誘導の測定原理と各電極の検出波形を示す．心筋活動電位で表示するために心電計の入力端子を＋－逆に接続している．R, L F の 3 電極の平均値を M として比較電位を作成している．下図の左端に赤色の M がその電位を示す．R は心内膜側電位であるため，一番始めに脱分極し，他の F や L の再分極の後に再分極する．次に F が脱分極し，L が最後に脱分極する．したがって M の 0 相立上りの勾配は鈍くなり，脱分極状態が最も長く維持される．右側に V_1，V_3，V_6 誘導の電位を青色で示す．V_1 は最も早く脱分極するため，大きな S 波と大きな T 波になる．V_3 誘導は M の脱分極の後に脱分極するから RS 波の移行波になり，T 波も中等度の大きさになる．V_6 は最後に脱分極するため R 波であって，T 波は小さく ST セグメントも水平になる．教科書で述べられている中点電位 (M) は決して基準電位を示すものではなく，活動電位の平均値であることを理解する必要がある．また，通常は右室壁は非常に薄いため，その活動電位の影響を考える必要はない．なお，実際の V_1 誘導の T 波は平坦に近いが，小児や女性では逆転 T 波が観測されることが多く，右室優位心室の再分極の影響を受けていると考えれば納得できる．

異常 Q 波発生機序

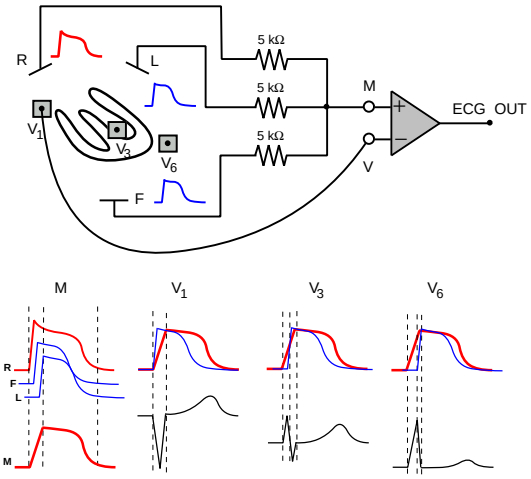


図 12 胸部誘導の解釈

胸部誘導心電計の配線図．R, L, F の各端子は 5KΩ の抵抗で平均化され (赤色 M)，＋端子に入力される．V 誘導は－端子に入力される．実際とは異なり，活動電位で表示するために入力端子の接続を逆に表示している．下図左より M，V_1，V_3，V_6 の信号をシミュレートする．本文参照．

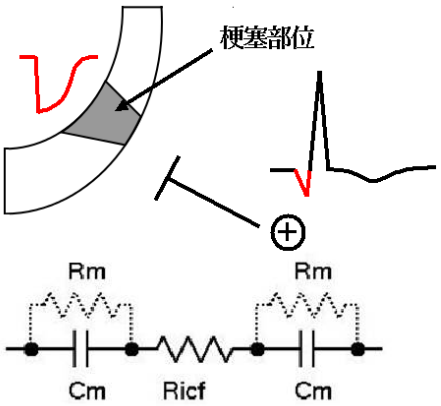


図 13 異常 Q 波の発生機序

上図：心室筋の一部を表示，灰色部位が梗塞となる．内側に心内膜側細胞外波形を赤色で示し，その漏電電位を右側の心電図上に異常 Q 波として示す．下図は膜間容量 Cm, 細胞内抵抗 Ricf を示し，心筋障害になると，破線で示す Rm が発生し，心内膜側電位が漏電していることを示す．

異常 Q 波の発生機序を図 13 に示す．梗塞により壊死化した心筋は細胞膜の絶縁性が低下し，心内膜側細胞外電位が細胞外に漏電する．細胞外では＋電極で計測するため，陰性の心内膜側細胞外電位がそのまま漏電し，他の心外膜側細胞外電位

とミックスする．しかし，心外膜側細胞外電位は心内膜側細胞外電位より遅れて変化するので脱分極の初期段階に Q 波として出現する．心筋梗塞は ST 上昇が出現，その数時間後に異常 Q 波が表れる．障害により組織細胞膜そのものの絶縁性が低下し，点線で示す Rm が発生したと考える．貫壁性梗塞と判断し，血栓溶解術が急務である．その後，梗塞心筋の線維化により修復が完成すると，細胞膜の絶縁性が元に戻り，異常 Q 波も消失する．異常 Q 波発生機序を理解するには心電図の本来の図 5 に戻って考えなければならない．

波形概念の拡張

1) ST 上昇，ST 低下についての見方：

II 誘導心電図を従来は，P，QRS，T 波より成り立つと解釈してきた．しかしよく考えると図 14 に示すように，R 波の上昇過程は心内膜側活動電位の脱分極を反映し，R 波の下向過程は，心内膜側活動電位は第 2 相，すなわち平坦相に到達しているために，心外膜側活動電位の脱分極による引き算効果で下向する．その後，両活動電位は脱分極状態 (2 相) で等電位となり，ST セグメントが形成される．心外膜側の再分極 (3 相) が始まると，引き算効果が弱くなり，T 波の上昇過程が描かれる．その後遅れて心内膜側活動電位が再分極 (3 相) するのに対応して T 波の下向部が形成され，心電図は基線に戻る．このときの T 波は決して対象波形ではなく，急峻な下向曲線を描く．その理由は心内膜側再分極チャネルである I_{Ks} の機能による．I_{Ks} はβ刺激により機能が亢進し，素早く心内膜側活動電位の再分極を行う．I_{Ks} の機能低下は 1 型 QT 延長症候群になる．

ここまで考えると，図 14 上図の心電図の青線を心外膜側活動電位の反転波形が表示されていると見ることができる．すると，墓石様波形では心外膜側活動電位が低下するために十分な引き算操作ができず，ST 上昇の波形になる．また，左室肥大では心外膜の表面積が拡大する．その結果，心外膜側活動電位の増大により，強い引き算操作の結果，ST セグメントが基線以下に沈下し，ST 低下の状態となる．心外膜側心筋の再分極が延長すると，陰性 T 波になることも想像できる．WPW のデルタ波は副伝導路により，異所性に心内膜側

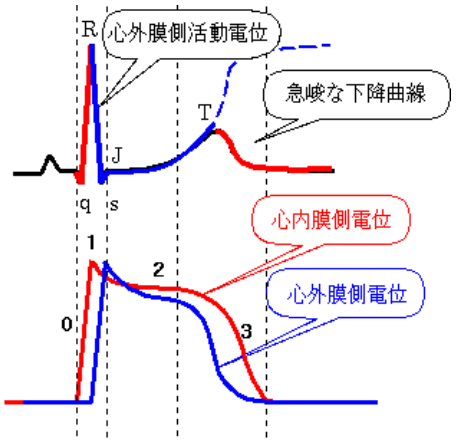


図 14 新しい心電図の見方

赤は心内膜側活動電位，青は心外膜側活動電位を示す．上は各活動電位で影響を受ける心電図を色分けしている．下はそれぞれの活動電位．数字は活動電位の相番号を示す．R 波の下降部分，ST セグメント，T 波の上向部分を心外膜側活動電位の引き算による逆転波形と考える．

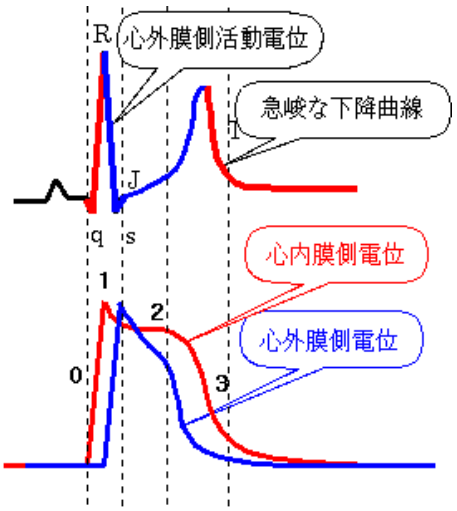


図 15 テント状 T 波

赤，青の表示は図 14 と同じ．高 K^+ 血症では交感神経の機能更新のために I_{Ks} の亢進が生じる．そのため，心外膜側心筋の再分極が早くなり，ST セグメントは水平部分は維持できず，すぐさま T 波の上向部分になる．心内膜側心筋も同様に再分極が早くなるためにテント状 T 波になる．

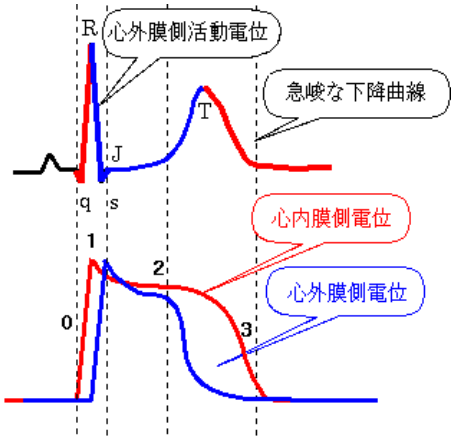


図 16 冠動脈攣縮初期の巨大 T 波

赤，青の表示は図 14 と同じ．心外膜側心筋は心内膜側心筋に比べて虚血に弱く，十分な活動電位 2 相を維持することができないが，一定の水平 ST セグメントがある．そのために心内膜側活動電位より心外膜側活動電位を引き算すると高い T 波が生じる．更に虚血が進むと図 17 に示す墓石様波形になる．

脱分極が始まったと思えば，赤線で示す R 波の上向成分を分離して考えることの価値がわかる．

2) テント状 T 波：

テント状 T 波は図 15 に示すように，ST セグメントの水平部分がなく，急峻な上向および下向する T 波が特徴である．これは心外膜側の脱分極後の 2 相が短縮し，すぐさま再分極を行い，その性質も I_{Ks} の亢進状態であることを示す．同様に下向部分も心内膜側心筋の I_{Ks} の亢進のために急峻な下向 T 波となる．

3) 冠動脈攣縮初期の巨大 T 波：

冠動脈攣縮は墓石様波形で有名であるが，その初期症状に T 波増高が知られている．この場合，高 K^+ 血症 T 波とは異なり，ST セグメントの水平部分が存在し，T 波の上向，下向曲線もそれほど急峻ではない．このメカニズムは図 16 に示すように心外膜側活動電位の 2 相部分が短縮して再分極に入るため，心内膜側活動電位との電位差が増大することが原因である．さらに心外膜側の脱分極電位が低下すると巨大 R 波となり，全く脱分極できなければ墓石様波形になる．実際は虚血部位の心内膜側心筋は最も強く障害を受けるが心内膜側細胞外電位全体が平均化されるために正常波形と変りはない．図 17 に正常心電図から墓石様波形に移行する様子を示す．

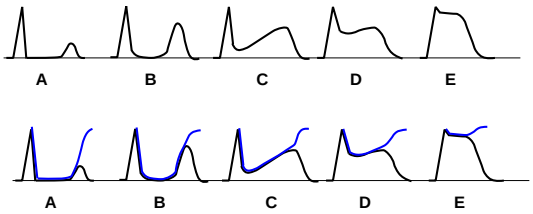


図 17 正常心電図から墓石様波形への変化

心筋梗塞の初期段階，冠動脈攣縮では巨大 T 波，ST セグメント上昇，そして墓石様波形に至る．その様子を A，B，C，D，E の順に示す．下図に R 波の下降部，ST セグメント，T 波の上向部を青線で示すが，心外膜側細胞外電位の反転波形と見れば，これらの分画は一塊のコンポネントとして見ることができる．文献 7) より改編．

おわりに

アイントーベン以降，「心筋の＋の興奮電流が＋電極に向かうから心電図が＋に振れる」と継承されてきた心電図発生理論を現代の生理学の基本である細胞内外の電解質の濃度差で生じる活動電位，そして心内膜側，心外膜側の細胞外電位差で説明する心電図発生論に置き換えた．この考え方に立つと，R 波は単一の波形ではなく，心内膜側の興奮による上昇過程と，興奮が伝播した後，心外膜側心筋表面の興奮で生じる R 波の下降成分で構成されていることがわかる．ST セグメントは興奮のない静止時の基線とは全く異なる過程であり，T 波についても上昇過程と下降過程の二つの成分で構成されている．更にいうと，R 波の下向部，ST セグメント，T 波の上向部は心外膜側活動電位の逆転波形であるという認識で心電図を見れば墓石様波形を含む種々の病的な心電図は難なく理解できる．

心電図学は決して暗記の学問ではなく，一元的に統一された現象の上に成り立っている．

引用文献

1. Ling, G. and R. W. Gerard. The normal membrane potential of frog sartorius fibers. J. cell. comp. Physiol. 34: 383-396, 1949.

2. Draper M. H. and Weidmann S: Cardiac Resting and Action Potentials recorded with an Intracellular Electrode. J. Physiol. 115, 74-94, 1951.
3. Alanis, J. , Gonzales, H. , and Lopez, E. : Electrical activity of the bundle of His. J. Physiol. 142, 127, 1958.
4. Scherlag, B. J. , Lau, S. H. , Reliant, R. IL, Berkowitz, W. D. , Stein, E. , and Damato, A. N. : Cathter technique for recording His bundle activity in man. Circulation, 39, 13, 1969.
5. 田中義文：成り立ちから理解する心電図波形: 心筋の活動電位を読み解く．学研メディカル秀潤社, 2012.
6. 田中義文：体表心電図波形の統一理論．日臨麻会誌．35:447-455,2015.
7. https://www.bmj.com/content/324/7341/831.full

心電図学教室：心筋イオンチャネルの分子構造とボルテージクランプ

田中 義文

はじめに

心電図を解釈する上で，心筋活動電位の成り立ちを理解することは大変重要である．なぜその様な波形になるのか，イオンチャネルについての物理科学的な原理やタンパク構造の知識が必要となる．それら総合知識の応用が不整脈の診断に役立ち，また抗不整脈薬の治療にも役立つ．

心電図波形と心筋活動電位の概要

イオンチャネルの分子構造，その性質を述べる前に，心電図に関する基本知識を図 1 と図 2 て復習しよう．まず，心電図と心筋各部位の活動電位との関係を図 1 に示す．ECG は体表心電図であり，P 波は心房筋の脱分極波形を示す．HBE は His 束に電極を接触し，高感度，ハイパスフィルターで検出した電位であり，心房 (A)，His(H)，両脚枝の脱分極 (V) の順をスパイク波形として観測される．ECG では，P 波に続いて心室筋の興奮を示す QRS 波，再分極を示す T 波と続く．

図 1 下図に心筋各部位の活動電位を示す．周期的に脱分極する洞結節 (SAN) の興奮が心房筋に伝わり，房室結節 (AVN) に伝わる．心房筋の活動電位は心室筋と同様に Na^+ チャネルを刺激するために急峻は立上り (0 相) を示すが，SAN および AVN は Ca^{2+} チャネルの興奮であるために 0 相立上りは遅い．房室結節の興奮は His 束，左脚，右脚，両 Purkinje 線維と伝達し，近接領域の一般心筋を興奮させる．興奮終了時の再分極は心外膜側心筋より始まり，心内膜側である Purkinje 線維の再分極で終了する．心内膜側心筋が最後まで興奮を維持することは大変重要で，房室弁の閉鎖を筋緊張により維持できるが，これが逆になると心室から心房へ血液が逆流する．

京都府立医科大学 麻酔科学教室 名誉教授

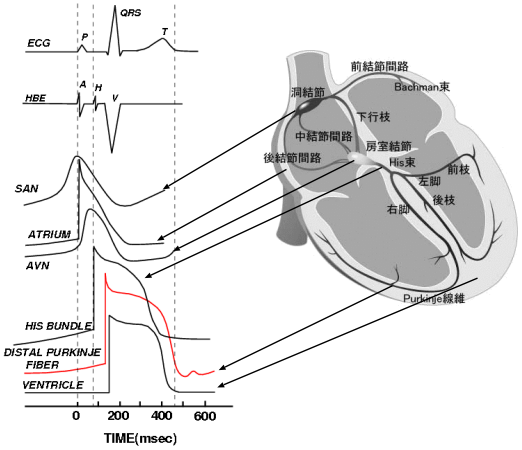


図 1 体表心電図と心筋各部位における細胞内電位の関係．

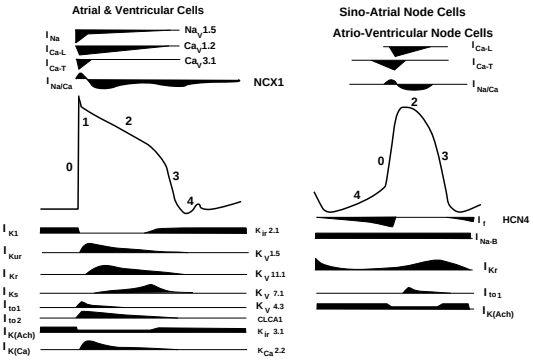


図 2 心筋結節の活動電位とイオンチャネルとの関係

図 2 は心筋活動電位と各種イオンチャネルのイオン電流との関係を示す．電位依存性イオンチャネルとは，ある閾値以上の電位になるとチャネルの開口により特定のイオンの細胞内外の流通が可能な状態になる．その時，細胞内外の濃度差と膜電位に応じて，流通方向と流通量が決定される．Na^+ や Ca^{2+} イオンは細胞外に多い．これらのイオンチャネルが開口すると，細胞内に向かってイオンが流入するために図では－の電流として表示している．一方 K^+ イオンは細胞内濃度が高いために K^+ チャネルが開口すると，＋方向にイ

オン電流が流れる．Cl^- イオンは細胞外から細胞内に流入するが－電流であるために＋方向に表記している．電流の時間変化は黒色のシルエットで示す．

一般に脱分極は活動電位 0 相とよび，ピークのオーバーシュートからの急峻な立ち下がりを 1 相，なだらかな立ち下がりを 2 相，再分極過程を 3 相，静止電位を 4 相とよぶ．1〜3 相までを再分極相とよぶ．結節の活動電位にはスパイクがないために 1 相はない．

一般心筋の 0 相は．Na^+ チャネルの開口による脱分極で急峻な立上りを示す．一方，SAN や AVN には Na^+ チャネルがなく，$Ca^{2+}{}_{-L}$ チャネルと Na/Ca 交換体[1]による細胞内 Ca^{2+} イオンの流入と筋小胞体からの Ca^{2+} イオン放出により脱分極が生じ，その立上り速度は遅くなる．1 相は急激に不活性化する急速 I_{Na} と I_{to1} の作用によるが，この作用は Purkinje 細胞より心外膜側心筋の方が強い．この結果，脱分極のピーク値は低下し，緩徐 I_{Na}，I_{Ca}，$I_{Na/Ca}$ の電位を上げる要素と I_{Kr}，I_{to2} などの電位を下げる要素でバランスをとりながら 2 相を形成する．I_{to1} の機能亢進は J 波の出現，早期再分極症候群，Brugada 症候群の coved 波形の原因となる．心筋では緩徐 I_{Na} の不活性化と共に I_{Ks} の作用で再分極が発生し，3 相を経て I_{K1} が開口する 4 相静止電位に向かう．結節には I_{Ks} がない．また、結節の 4 相は I_{K1} がなく，常に I_{Na-B} により，Na^+ イオンが流れ込み，静止電位を一般心筋 (－90 mV) より高い －60mV を維持する．同時に Na-K ATPase で，Na^+ イオンと K^+ イオンとの交換を行い，また Ca^{2+} ATPase により細胞内残留 Ca^{2+} イオンの放出を行う．I_f および I_{Ca-T} の作用で静止電位が徐々に上昇し，次の心拍である脱分極に備える．

イオンチャネルの電気特性と分子構造

イオンチャネルの電気特性測定は 1954 年 Hodgkin&Huxley のボルテージクランプの実験で明らかになった．図 3 に実験システムを示す．OP アンプの＋端子は入力と同じ極性で増幅し，－端子は入力の反転電位を増幅する．このアンプの出力を入力側に加えると負帰還となり，＋/－入力電位が常に同一電位になるように動作する．つまり＋の入力電位に追従する voltage follower の役割りをする．そこで，軸索の静止電位 －70 mV から脱分極電位である+20 mV に突然変化させると，それに追従するためにどの様な電流が必要であるかを CRO で調べた．出力に抵抗があるが，電

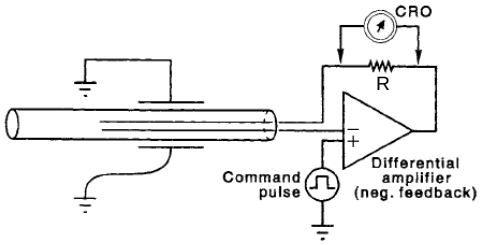


図 3 ホジキンハックスレーのボルテージクランプ
イカの巨大神経軸索に銀線 2 本を刺入，一方に OP アンプの－端子に接続，出力端子は抵抗を介して他方に接続．＋入力端子にはクランプ電位を印加する．CRO はオシロスコープで印加電圧に対応する電流を R を介して電圧測定している．

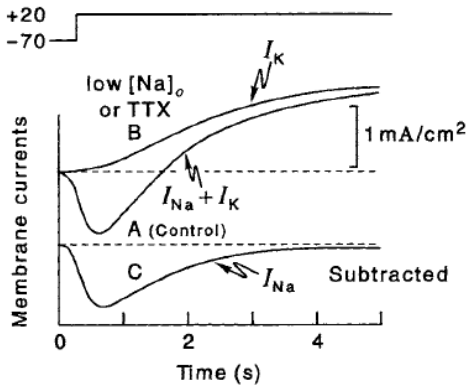


図 4 ボルテージクランプの測定結果
静止電位 －70 mV より脱分極電位+20 mV を印加すると，中央の I_{Na}+ I_K が得られる．フグ毒 TTX または外液の Na^+ イオン濃度を下げると，上図に示す I_K 電流の変化のみが得られ，引き算をすると I_{Na} 電流が計算される．

[1] Ca^{2+}1 個と Na^+3 個を交換する．

流をオームの法則で電圧に変換しているだけで，アンプの増幅率が非常に高ければ，どのような抵抗値を接続しても－端子の電圧は＋端子の電位に追従する．

図 4 はイカの軸索をもちいて得られた実験結果である．神経の活動電位には Na^+ チャネルと K^+ チャネルが関与すると考えられていた．脱分極のために，始めに Na^+ チャネルが開口し，細胞内に Na^+ イオンが流入する．その後，細胞内の K^+ イオンは＋電位のために細胞内の居心地が悪くなり，K^+ チャネルを開口して K^+ イオンが放出する．その様子がイオン電流の形で測定されている．実験には描かれていないが，静止電位に戻すと K^+ 電流は減衰曲線を描いて 0 に戻る．種々の時間差での繰り返し実験の結果から，不応期の存在が明らかになり，また，各チャネルに開口ゲート，閉口ゲートが独立して存在することが明らかになった．その後，カルシウムを含むイオンチャネルブロッカーの開発，遺伝子操作による個々のチャネルの発現，細胞単位でのボルテージ・パッチクランプの開発，そしてイオンタンパクの構造解析など多くの発展で今日に至っている．

Na^+ イオンチャネル

Na^+ イオンは細胞外に多く，細胞内に少ない．そのために Na^+ イオンチャネルが開口すると，濃度勾配に従って細胞外から細胞内に Na^+ イオンが流入する．このイオン電流を内向き電流とよび，－電流で表示する．Na^+ イオンチャネルは電位依存性 Na^+ イオンチャネルのみである．

電位依存性 Na^+ イオンチャネル

近年タンパクのアミノ酸一次構造は元より，その立体構造，そして遺伝子解析より，特定の遺伝子操作で各種機能タンパクを卵細胞に機能発現し，ボルテージクランプ，パッチクランプの実験が可能になった．

図 5 は Cardiac Electrophysiology: From Cell to Bedside から引用した電位依存性 Na チャネルの立体構造を示す．図 5 上図左側は細胞外から見た図，中央は細胞膜での断面図，右側は細胞内から見た図である．4 個の大きなドメインが集合してその中央にイオンチャネルが作成される．イオン孔は 8Å 程度の直径だから細胞膜厚の 1/10 になる．したがって立体構造からイオン孔を直接観測することはできない．図 5 下図は 1 つのドメインが構成する α ヘリックスの 6 セグメントの開口，閉口状態を示す立体構造である．S4 が電位感受セグメント，S5-S6 間に p-loop とよばれるアミノ酸配列が存在し，その配列が S4 側に引き寄せられるか否かでチャネルの開閉が決定される．このような表記は専門家は理解できても門外漢には敷居が高い．もっと分りやすいトポロジーは Dubin 著の Ion Adventure in the Heartland Vol.1 に記述されている．それを図 6 に示す．

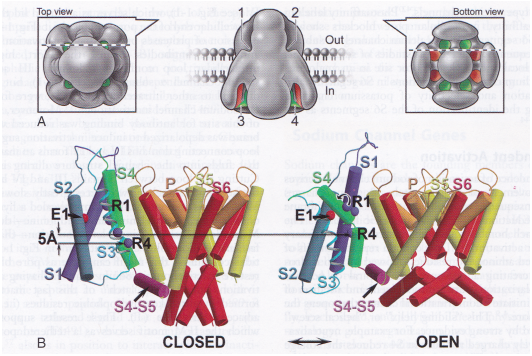


図 5 電位依存性 Na チャネルの立体構造構造
Cardiac Electrophysiology: From Cell to Bedside: Expert Consult - Online and Print, 5ed よりの改編

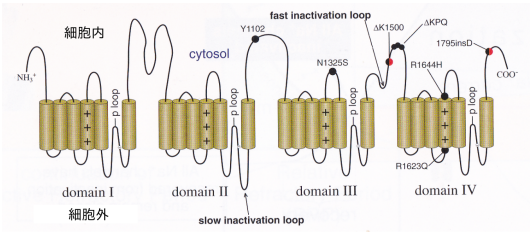


図 6 電位依存性 Na チャネルのトポロジー
Dubin 著の Ion Adventure in the Heartland Vol.1 より改編

図 6 に描かれているタンパク構造は Na^+ チャネルに限らず，電位依存性 K^+ チャネル，電位依存性 Ca^{2+} チャネルにも共通している．中央に脂質二重膜の細胞膜があり，上が細胞内膜側，下が

細胞外膜側である．細胞内 NH_3^+ より始まるアミノ酸配列で終端も細胞内 COO^- で終了する．膜を貫通するドメインが 4 個あり，左より，I, II, III, IV と呼ぶ．それぞれのドメンインには S1 から S6 までの α ヘリックスのセグメントがあり，それぞれの S5, S6 でイオンチャネル孔の内壁を 1/4 づつ形成する．S5, S6 を繋ぐアミノ酸配列を p-loop とよび，中にドメイン I ならアスパラギン酸，ドメイン II ならグルタミン酸の陰性に帯電するアミノ酸が配列されている．ドメイン II には更に 3 個の陰性に帯電するアミノ酸があり，遅延性不活性化ゲートの役割も持つといわれている．ドメイン III には陰性アミノ酸がなく，ドメイン IV は陽性アミノ酸であり，それらを含めて Na^+ イオン選択性の性質を形作る．なお，p-loop の p は pore (孔) を意味する．ドメイン III の S6 とドメイン IV の S1 を繋ぐアミノ酸配列は急速不活性化ゲートを構築する．これらのアミノ酸の機能は 3 型 QT 延長症候群の遺伝子配列の変異で明らかになった．

Na^+ チャネル活性化ゲート

図 7 左図は細胞外からみた Na^+ チャネル孔を示す．各ドメインが 1/4 を形成し，最外周は S1, S2, S3 が並び，中央に電位感受性セグメントである S4 が配置，最内周に S5, S6 が配置し，その間を結合する p-loop はチャネル孔を細胞外から垂れ込む配置となる．S6 側の p-loop は陰性アミノ酸が配置され，Na^+ を含む用イオンがクーロン力で引き寄せられる．図 7 右図はチャネルの横断面を示す．下が細胞外側，上が細胞内側である．p-loop は S5 の終端から上に向かい，U ターンして S6 の先端に連結する．図はゲートの閉鎖状態であるが，およそ 3Å の隙間があり，水分子は自由に通過する．Na^+ イオンの直径は 8Å である．

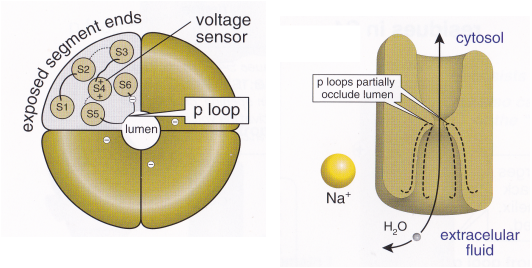


図 7 電位依存性 Na^+ チャネルの一般構造
左図：チャネルを細胞表面より見る．p loop はチャネル孔に端れ込んでいる．右図：チャネルの滑面．下は細胞外，上は細胞内．チャネル中央の狭部は Na チャネル開閉弁になる．狭部は閉鎖時でも水は通過するが，8Å の Na^+ イオンは通過できない．

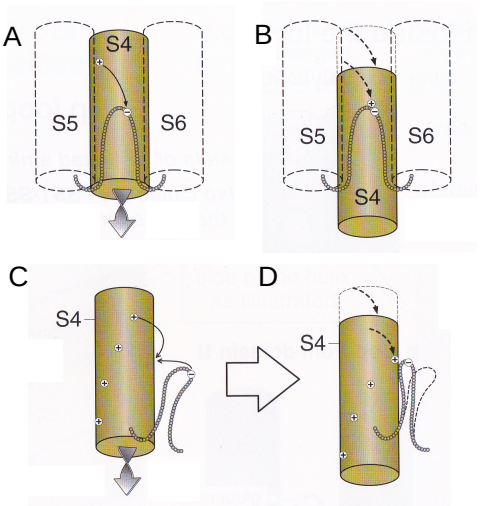


図 8 S4 の回転下降による p-loop の制御

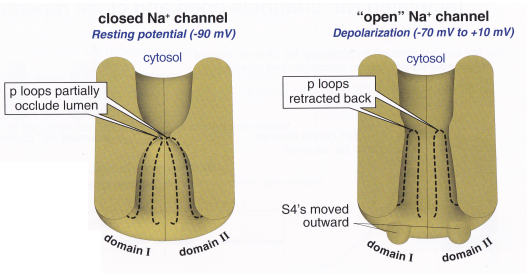


図 9 p-loop の移動による活性化ゲートの開閉

図 8 は S4 と p-loop の開閉との関係を示す．S5, S6 の後方に S4 α ヘリックスが 6 周旋回しているが，3 個毎のアミノ酸は＋に帯電するリジン，アルギニン，ヒスチジンで構築される．細胞内電位が −90 mV から −70 mV に上昇すると，電位感受性を持つ S4 セグメントは図 8A から図 8B に示すように下方に 4Å 移動すると共に，右 1/4 回転し，＋に帯電したアミノ酸が p-loop の−に帯電したアミノ酸とクーロン力で結合し，チャネルゲートが開口状態になる．その様子を図 8C, D に示

す．p-loop による活性化ゲートの開閉状態を図 9 に示す．開口により S4 が下降し，閉口により S4 が定常位に戻る．また，Na^+ イオンが通過する度にクーロン力の乱れで，p-loop がパタパタと開閉し，その様子がパッチクランプで測定される．その結果 Na^+ チャネルは確率的に開閉されていることが明らかになった．

Na^+ チャネル急速不活性化ゲート

図 10 上図に Na^+ イオンチャネルの開口による心筋脱分極波形，下図にボルテージクランプのデータを示す．前述のごとく，p-loop による活性化ゲートは −70 mV 以上になるとパタパタと開閉を繰り返し，最大＋ 10 mV まで脱分極する．90 %の Na^+ チャネルは開口後急速に不活性化ゲートが作動して Na^+ イオンの細胞内流入を遮断する．その様子は図 10 下図のボルテージクランプのデータを見れば判る．つまり，図 4 に示す I_{Na} とそっくりな波形で，印加電圧が低いと内向き Na^+ イオン電流は少ないが，印加電圧が高くなると十分な深さの内向き電流が記録される．また，印加電圧を一定値に維持していても内向き電流が 0 に戻ることは活性化ゲートよりも更に強い不活性化ゲートの存在を示している．

図 11 はその急速不活性化ゲートの構造を示す．急速不活性化ゲートはドメイン III の S6 からドメイン IV の S1 へ細胞内側で橋渡しをするアミノ酸配列 (L_{III-IV} loop) であり，そこに多くの＋に帯電するアミノ酸と中央に 3 個の陰性に荷電したアミノ酸が配列している．脱分極で細胞内電位が＋に荷電すると loop は居心地が悪くなり，Na^+ チャネル孔に潜り込み，不活性化ゲートになると共に中央の 3 個の−に帯電したアミノ酸が S4 セグメントを上に引き上げて次の活性化ゲートの開口準備を行う．L_{III-IV} loop が細胞外ではなく，細胞内に存在するために活動電位が 3 相終了近くまで急速不活性化ゲートとしての役割を演じると共に相対不応期に大きく関与する．

Na^+ チャネル緩徐不活性化ゲート

およそ 10 %の Na^+ チャネルはゲートの開閉を繰り返し，活動電位 2 相に関与する．しかしそのチャネルも 3 相である再分極終了近くになると，ドメイン II の p-loop に付属する緩徐不活性化ゲートの閉鎖で脱分極を終了する．図 12 にその構造を示す．ドメイン II の p-loop のアミノ酸は−に帯電しており U ターン状に外側より入り込んでいる．細胞が静止電位であれば付加されている緩徐不活性化ゲートはクーロン力で外側に弾き出さ

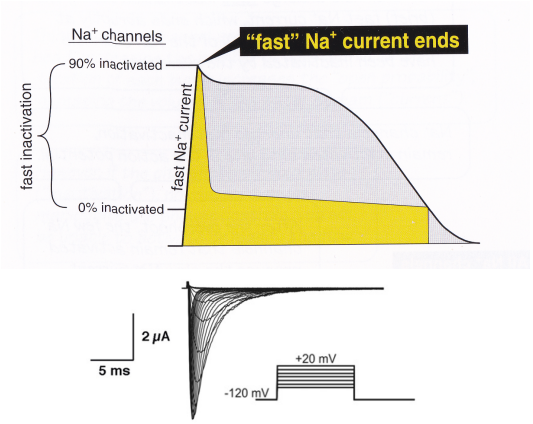


図 10 Na^+ イオンによる脱分極とボルテージクランプ

細胞内電位が −70 mV 以上になると活性化ゲートが開き心室筋の脱分極が始まる．その 90 %は急速不活性化ゲートの閉鎖により Na^+ チャネルは閉鎖する．下図に Na^+ チャネルのボルテージクランプによる Na^+ イオン電流を示す．

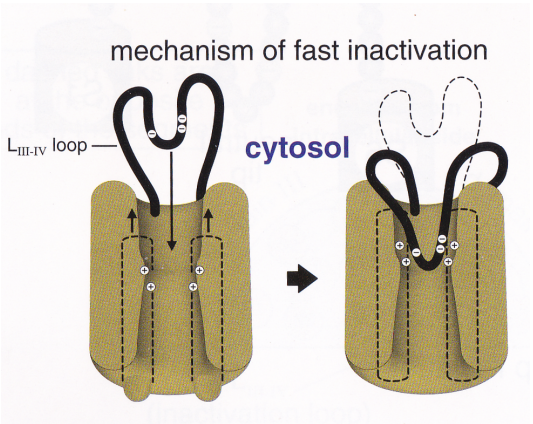


図 11 Na^+ チャネル急速不活性化ゲート

細胞内電位が脱分極すると，細胞内側ドメイン IIIS6 からドメイン IVS1 を繋ぐ L_{III-IV} loop が細胞内側より Na^+ チャネル孔を塞ぐ．同時に下降していた S4 セグメントを上昇させ，次の開口に備える．

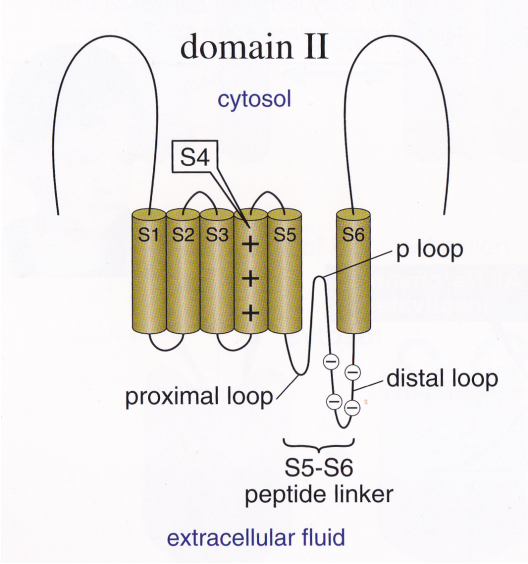


図 12 Na^+ チャネル緩徐不活性化ゲート

緩徐不活性化ゲートはドメイン II の p-loop に付属し，細胞外に存在する．一に帯電したアミノ酸が存在するために活動電位 3 相の終了近くになると細胞外電位が＋になるために遠位ループが折り畳まれてチャネル孔を細胞外から閉鎖する．

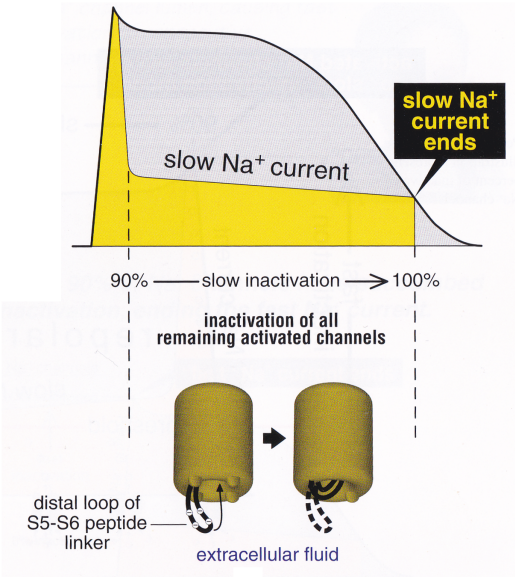


図 13 活動電位と Na^+ チャネル緩徐不活性化ゲート

上図に緩徐 Na^+ 電流による脱分極を示す．活動電位 3 相の終了近くまで開口状態が続き，緩徐不活性化ゲートにより閉口する．下図にドメイン II の p-loop に付属する緩徐不活性化ゲートの開口と閉鎖状態を示す．

れているが，脱分極状態になると，折り曲げられてチャネル孔に引き込まれてチャネル孔の入口は塞がれる．その構造変化がなぜ緩徐になるかは判らないが，少なくとも細胞内側にある急速不活性化ゲートよりは構造上折れ曲がりが多くなり遅そうである．急速，緩徐両者とも細胞が静止電位に戻るとクーロン力でチャネル孔より吐き出されてすぐさま次の脱分極に備えることができる．

実際の所，緩徐 Na^+ イオンチャネルが何%関与するのか多くの説がある [1]．また，超緩徐 Na^+ イオンチャネルの存在も取りざたされているが，ここまで拡大解釈すると，I_{Na-B} 電流との区別も難しくなる．また近年，心筋 Na^+ イオンチャネルとは異なる疼痛領域で，Nav1.6 や Nav1.7 などの緩徐 Na^+ イオン不活性化ゲートが注目され，肢端紅痛症 (erythromelalgia: IEM) や発作性激痛症 (paroxysmal extreme pain disorder: PEPD) などの疾患の緩徐不活性化ゲートの機能不全となれば疼痛発作の理由も納得できる [2]．

Ca^{2+} イオンチャネル

電位依存性 Ca^{2+} イオンチャネル

電位依存性 Ca^{2+} イオンチャネルは T 型 I_{Ca-T} と L 型 I_{Ca-L} の 2 種類がある．T 型とは tiny-conductance の意味で脱分極時間が短く TTCC と略され，L 型とは long-opening の意味で脱分極時間が長く LTCC と略される．

I_{Ca-T} チャネルは脱分極電位が −70 mV と低く，洞結節 (SAN) や房室結節 (AVN)，それに Purkinje 線維など自発的に脱分極できる組織に存在し，一般心筋にはない．他方，I_{Ca-L} チャネルは心房筋，心室筋である一般心筋に存在し，リアノジン受容体と結合して筋小胞体から大量の Ca^{2+} イオンを放出 (CICR) する主役の Ca^{2+} チャネルである (図 2 参照)．

両心筋では静止電位から −70 mV に上昇した時点で Na^+ チャネルの開口で脱分極し，次いで −40 mV に上昇すると，Ca^{2+} チャネルが開口する．その立上り速度も Na^+ チャネルに比べて遅

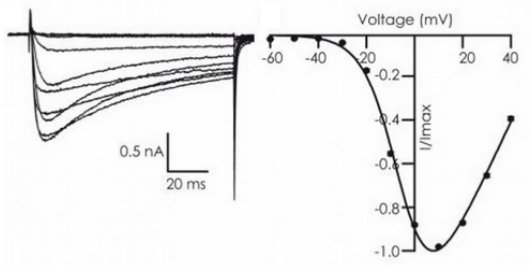


図 14 L 型電位依存性 Ca^{2+} イオンチャネルのボルテージクランプデータ
上左図にボルテージクランプデータ，右図に各電位での最大イオン電流を示す．

く，また不活性化も遅い．図 14 にボルテージクランプの結果を示す．−40 mV で開口し，＋ 10 mV で最大イオン電流になる．＋ 40 mV まで測定されているが、内向き電流は減少していく．開口後 5 ms 程度で最大電流に達し，不活性化ゲートが作動し内向き電流は減衰する．別のデータであるが，200 ms まで内向き電流が持続していることから，長時間開口が持続する Ca^{2+} チャネルである．

Ca^{2+} イオンチャネルは Na^{+} イオンチャネルと同様に 4 ドメインの一本のアミノ酸構造であり，各ドメインの S4 は電位感受性セグメントで上下に移動して活性化ゲートの開閉を行う．p-loop は一に荷電するグルタメートを 1 つ持つが，ドメイン I, III はその位置は開口孔より深い位置にあり，ドメイン II, IV は浅い位置にあり，同時に 2 個の Ca^{2+} イオンを捕捉する．取り込みから細胞内放出までの様子を図 15 に示す．Na^{+} チャネルとは異なり，図 A に示すように，−40 mV になるまでは Ca^{2+} イオンを 2 個保持したま脱分極の上昇を待つ状態がある．それが過ぎると S4 セグメントが下がり，図 B のように p-loop が壁側に引き寄せられれ活性化ゲートが開く．図 C のように 2 個の Ca^{2+} イオンが細胞内に放出されると，一旦活性がゲートが閉じられ，図 D のように次の 2 個の Ca^{2+} 捕捉を待つ．このように活性化ゲートはバタバタと開閉を繰り返す．

電位依存性 Ca^{2+} イオンチャネルの不活性化ゲートにも急速不活性化ゲートと緩徐不活性化

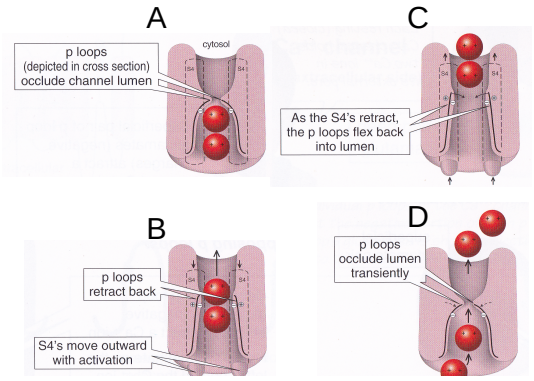


図 15 Ca^{2+} イオンの取り込みから細胞内放出まで
A:4 個の p-loop は上下二段に陰性アミノ酸があり 2 個の Ca^{2+} イオンを取り込む．B, C:活性化ゲートが開き，チャネル内イオンが放出され，活性化ゲートが閉じられる．D:再び 2 個のイオンが取り込まれ A に戻る．

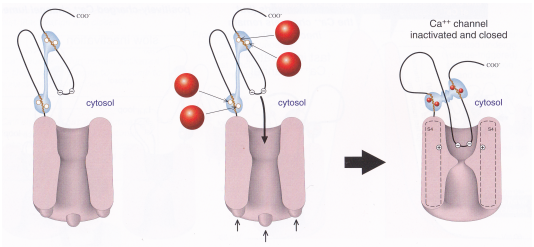


図 16 Ca^{2+} イオンの急速不活性化ゲート
左図：COO^{-} 鎖は不活性化ゲートでカルモジュリンと結合．中央：遊離 Ca^{2+} イオンとカルモジュリンの両端が結合．右図：カルモジュリンは短縮し，COO^{-} 鎖の中央部分がチャネル孔に潜り込む．

ゲートの 2 種類がある．心室筋の活動電位 2 相では Ca^{2+} チャネルの活性化と不活性化が同時に機能しているために正確な不活性化のタイミングは明らかではない．しかし SAN や AVN では明らかで 0 相のピークでは急速不活性化ゲートは全て閉じられ，2 相の終了時 −40 mV の時点で緩徐不活性化ゲートは全て閉じられる (図 2 参照)．図 16 左図に Ca^{2+} チャネルに Ca^{2+} イオンが無く，開口状態のチャネルがあり，その COO^{-} 端側ストランドに結合していない大文字の I 状の形をしたカルモジュリンがある．細胞内に大量の Ca^{2+} イオンが蓄積すると中央の図のようにカルモジュリンの両端の 2 ホールに Ca^{2+} イオンが結合し，さらに COO^{-} ストランドと結合する．その結合が

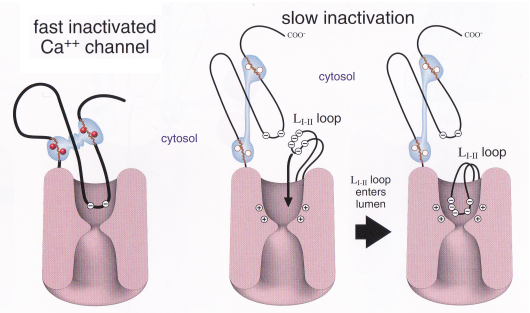


図 17 Ca^{2+} イオンの緩徐不活性化ゲート
左図：急速不活性化ゲートが閉じた状態．中央：L_{I-II} loop の緩徐不活性化ゲートはより多くの陰性アミノ酸をもつために交換する．右図：緩徐不活性化ゲートが滑り込んだ状態．

終了すると，右図に示すようにカルモジュリンは収縮し，中央のストランドに付いている 2 個の－に帯電したアミノ酸がチャネル孔にクーロン力で引き込まれ，すべての S4 セグメントは引き上げられ，活性化ゲートはもとの閉じた位置に戻る．

Ca^{2+} チャネルの緩徐不活性化ゲート (L_{I-II} loop) は急速不活性化ゲートとの交換になる．図 17 左図は急速不活性化ゲートの閉塞状態を示す．そこに S4 ストランドが元の位置に戻ると，そこには＋イオンに帯電したアミノ酸が存在する．そのためにもっと多くの－に帯電した L_{I-II} loop が滑り込み，急速不活性化ゲートと交換する (右図)．活動電位が静止電位 (−60 mV) に戻った時点で全ての緩徐不活性化ゲートは解除されるが，−40 mV から −60 mV までを相対不応期と呼ばれ，何かの刺激があれば脱分極する可能性がある．この不活性化ゲートからの回復過程は Na^+ チャネルの場合と同じである．

K^+ イオンチャネル

K^+ イオンチャネルは電位依存性 K^+ イオンチャネルと 4 ドメインが M1, p-loop, M2 しか持たない単純な構造の内向き整流 K^+ イオンチャネルの 2 種類に大きく分類される．電位依存性 K^+ チャネルには I_{to1}(一過性外向き K^+ チャネル)，I_{Kur}(超急速活性化遅延整流性 K^+ チャネル)，I_{Kr}(急速活性化遅延整流性 K^+ チャネル)，I_{Ks}(緩徐活性化遅延整流性 K^+ チャネル) の 4 種類があり，内向き整流 K^+ イオンチャネルには本来の I_{K1} とよばれている内向き整流 K^+ イオンチャネルと $I_{K(Ach)}$ とよばれるアセチルコリン作動性，$I_{K(Ado)}$ とよばれるアデノシン作動性 K^+ イオンチャネル等がある．

電位依存性 K^+ イオンチャネル

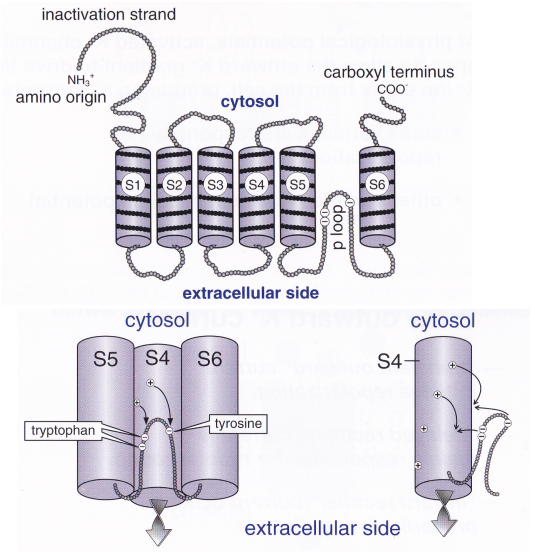


図 18 電位依存性 K^+ イオンチャネルのトポロジーと p-loop
上図は電位依存性 K^+ イオンチャネルのトポロジー，1 ドメインを示す．下図に S4 電位感受性セイグメントと p-loop による活性化ゲードの開閉を示す．4 ドメイン全て同じ．

電位依存性 K^+ イオンチャネルのトポロジーは図 18 に示すように，電位依存性 Na^+ イオンチャネルと良く似ている．電位感受性セグメントは S4 であるが，p-loop には－に帯電するアミノ酸がトリプトファン 2 個，チロシン 1 個の計 3 個ある．4 ドメインは全て同じで，それぞれ末端に NH_3^+ と COO^- を持ち，Na^+ チャネルのように各ドメイン間の連結はない．したがって，Na^+ イオンチャネルに存在する急速，緩徐不活性化ゲートはない．その代わりに，アミノ基 (NH_3^+) 終端が不活性化ストランドが存在し，脱分極するとクーロンの法則で細胞内側イオン孔に潜り込んでチャネ

ルを閉口する (ball and chain モデル)．ただ，この不活性化ゲートは I_{to1} が最も強く，I_{Kur} と I_{Ks} チャネルは再分極が静止電位に近づくと閉口するので，実質上は不活性化ゲートとしての機能はない．I_{Kr} チャネルは細胞が静止電位になってから大きく K^+ イオン電流が増加し，その後徐々に減衰するから活性化ゲートの閉口か，不活性化ストランドの閉口か区別ができない．また，4 ドメインが同じであることから，どのドメインのアミノ基終端が細胞内側チャネル孔を閉鎖するのか明らかではない．チャネル孔が閉口すると S4 セグメントは元の状態に戻って次の開口の準備をするのは Na^+ チャネルと同じである．

I_{to1}

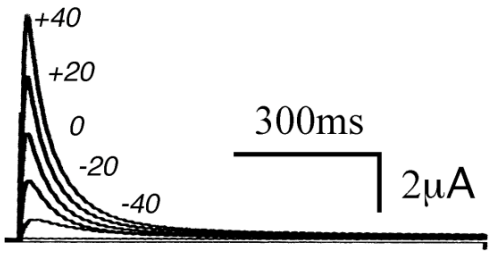


図 19 I_{Kur} と I_{Ks} のボルテージクランプ
左図 A に I_{Kur}，右図 B に I_{Ks} を示す．時間軸が異なるのに注意．両者とも脱分極電位で開口するが，その電位が終了すると，不活性化ゲートがすぐさま作動し，小さなテーリングで閉口する．

I_{to1} は I_{Na} の脱分極 0 相に続いて発生する重要な K^+ チャネルの開口で，活動電位 1 相を形成し，2 相平坦相の電位を規定する．K^+ チャネルの開口は即座に閉口するために一過性外向き K^+ チャネルと呼ばれる．ボルテージクランプのデータを図 19 に示す．K^+ イオンは細胞内から細胞外に流れるために＋電流で示され，即座に電流が減衰するところから不活性化ゲートが差動していることが分かる．活性化ゲートは p-loop で構成され，不活性化ゲートはアミノ基終端の不活性化ストランドで細胞内から閉口する．脱分極終了時までクーロンの法則で閉口する．このチャネルは交感神経の支配を受け，頻脈になると活動電位 2 相の持続時間が短縮するために都合がよい．キニジンのブロック効果もある．I_{to1} は心内膜側より心外膜側の方が多いといわれ，それが心外膜側心筋の APD 短縮の原因となっている．

I_{Kur} および I_{Ks}

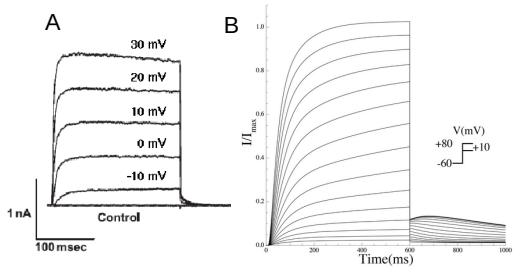


図 20 I_{Kur} と I_{Ks} のボルテージクランプ
左図 A に I_{Kur}，右図 B に I_{Ks} を示す．時間軸が異なるのに注意．両者とも脱分極電位で開口するが，その電位が終了すると，不活性化ゲートがすぐさま作動し，小さなテーリングで閉口する．

図 20 に I_{Kur} と I_{Ks} のボルテージクランプの結果を示す．K^+ チャネルの開口で細胞内より細胞外に K^+ イオンが流出するから＋電流で描かれている．両者とも似た波形であるが，x 軸である時間軸が異なっている．脱分極のための印加電圧が持続中は K^+ 電流は＋のまま持続し，静止電位に戻るとすぐさま細胞内に存在するアミノ基側の不活性化ストランドが作動してチャネル孔を閉口し，少しのテーリングだけでイオン電流が強力に減衰する．この図から不活性化ゲートは Na^+ 電流のように脱分極中に作動するのではなく，活動電位 3 相である再分極相が終了時点で電位依存性 K^+ チャネルが閉鎖することがわかる．当然なから 3 相を形成する主役は遅延性に K^+ チャネルを開口させる I_{Ks} である．その作用により急速に活動電位を静止電位に引き戻す．

I_{Kur} は心房筋に多く存在し，I_{Ks} は心室筋に多く存在する．また両者とも β 作用感受性を持ち，心拍数が多くなると K^+ イオン電流を増加させて素早く再分極する．I_{Ks} の機能低下は心電図 T 波のテーリングが長くなり，1 型 LQT 症候群の原因になる．

I_{Kr}

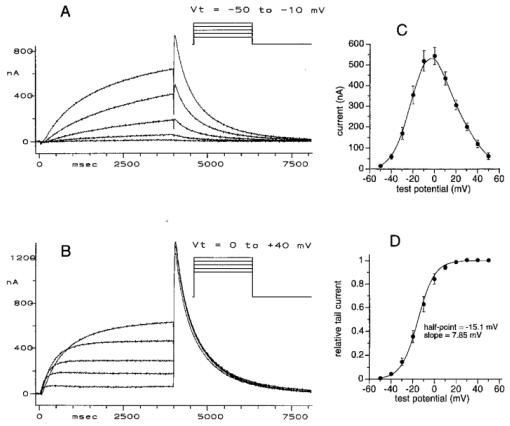


図 21 I_{Kr} のボルテージクランプ
図 A は −40 mV より −10 mV までの印加電圧の反応，図 B は 0 mV より 40 mV までの印加電圧の反応を示す．図 C は最終印加電圧の K^+ 電流，図 D は静止電位直後の K^+ 電流を示す．文献 3 より．

I_{Kr} は心室筋の脱分極状態に対して常に K^+ イオンを流出させて活動電位 2 相を維持する重要なチャネルである．また，3 相開始時に K^+ チャネルが強く開口するために頻脈による APD(脱分極持続時間) の短縮に寄与する．一方，低 K^+ 血症では不活性化ゲートの作用が強くなるため，QT 時間の延長による不整脈の発生が予想される．キニジン副作用で生じる下痢による低 K^+ 血症には注意が必要である．その他の薬剤性 2 型 LQT 症候群の主因は I_{Kr} チャネルの不活性化による．

I_{Kr} のボルテージクランプの結果を図 21 に示す．A を見ると印加電圧を −50 mV から −10 mV に上昇すると遅延性に K^+ 電流が上昇する．これだけを見れば波形は I_{Kur} や I_{Ks} と変らないが，静止電位に戻すとすぐさま不活性化が生じるのではなく，更に大きな電流の減衰曲線に跳ね上がる．図 B はさらに 0 mV から 40 mV に上昇させた反応である．すると K^+ 遅延電流は減少していく．しかも静止電位に戻すとほぼ 0 mV と同じ遅延曲線を描くが，静止電位による減衰曲線は跳ね上がったままである．図 C はこの印加電圧の最終電位を描いたもので，0 mV を頂点として山形になる．図 D は不活性化状態の初期電流を描いたもので，およそ 15 mV の電位で飽和状態が続く．このことから I_{Kr} は脱分極電位が 0 mV 以上の高電位になれば K^+ チャネルとしての機能が低下し，また不活性化の発現は徐徐に強くなり，強く開口状態が継続することがわかる．このことから不活性化ゲートに ball and chain の作用では説明できず，K^+ 電流が多いほど不活性化が弱い．この不活性化の減弱する現象は，単位面積あたりの I_{Kr} の流出する K^+ 電流は他の I_{Kur} や I_{Ks} に比べて数十倍に多く，陽性のアミノ基は弾き飛ばされて ball and chain 不活性化効果は作動せず，foot on the door, つまり大量の K^+ 電流がドアの隙間に脚を突っこみ，ドアが閉じられない状態と比喩されている．印加電圧が 0 V 以上で高くなるほど K^+ 電流が抑制される理由は判らないが，S6 β シートと細胞脂質二重膜との荷電が作用して K^+ イオンチャネル孔を狭めている可能性がある．

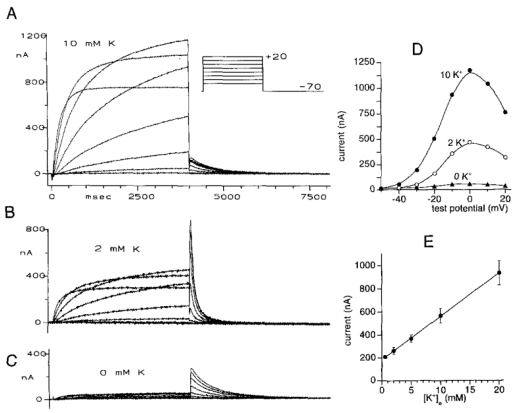


図 22 細胞外 K^+ 濃度変化による I_{Kr} ブロック効果
左図 A, B, C に各細胞外 K^+ 濃度に対する I_{Kr} のボルテージクランプを示す．図 D は最大 K^+ 電流，図 E は K^+ 濃度変化に対する電流の直線性を示す．

図 22 に細胞外 K^+ イオン濃度を 10 mM, 2 mM, 0mM のときのボルテテージクランプのデータを示す．印加電圧が上昇すると K^+ 電流は増加，0 mV 以上では逆に減少するところは図 21 と同じ結果であるが，細胞外 K^+ イオン濃度が低下するほどに K^+ 電流は低下する．本来なら細胞内外の濃度差が大きいほど K^+ イオン電流は増加するはずである．しかし逆の結果となっている．この理

由は一部ではネルンストの式に従って静止電位が上昇するためとの考え方もあるが，ボルテージクランプの実験では意味がない．このメカニズムは解明されていないが，低 K^+ 血症と 2 型 LQT 症候群との相乗効果は非常に重要である．

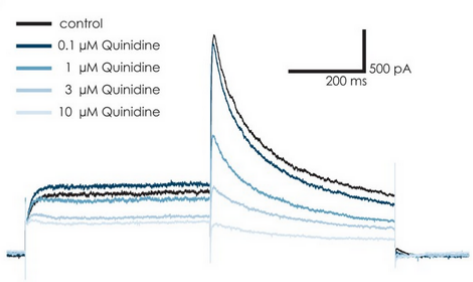


図 23 キニジンによる I_{Kr} ブロック効果
細胞外キニジン濃度に対する K^+ 電流を示す．キニジン濃度が濃くなると顕著にチャネルブロックが示されている．

図 23 はキニジンによる K^+ イオンチャネルのブロック効果を示す．キニジン濃度に比例して K^+ 電流の減少が認められる．Brugada 症候群，早期再分極症候群では活動電位 2 相の持続時間短縮が原因とされるために I_{Kr} の機能のブロックが治療の適応となる．一方，LQT2 ではキニジンは使用禁忌である．

I_{K1}

I_{K1} は内向き整流性 K^+ チャネルであり，心筋細胞の静止電位を作成する．電位依存性がないので S1〜S4 までが欠如し，S5, p-loop, S6 のみの構成となる．この S5, S6 の呼び名では都合が悪いので，M1, M2 と呼ぶ．この 2 モジュールが 4 量体となってチャネルを作る．K^+ イオン活動電流のタイミングとチャネル構造を図 24 に示す．

ボルテージクランプ図 25 に注目すると，I_{K1} は K^+ イオンに対して透過性があるので，細胞外液の K^+ 濃度が細胞内濃度と同じ 156 mM なら静止電位が−から 0 mV までは直線状に負の K^+ 電流が流れる．つまり細胞外に比べて細胞内の方が負の電位であれば，陽イオンである K^+ イオンは細胞内に流入し，細胞内電位が低ければそれに比

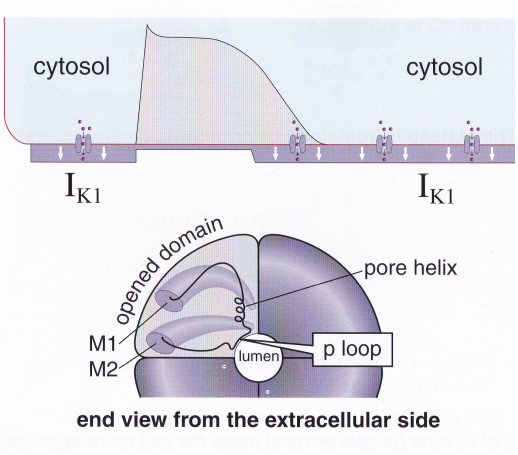


図 24 I_{K1} の K^+ 電流とチャネル構造
上図：静止電位では I_{K1} 開口により K^+ イオンが細胞内に流入するが，脱分極時には整流作用により K^+ イオンは流出しない．下図：M1, p-loop, M2 の 4 量体で構成されている．

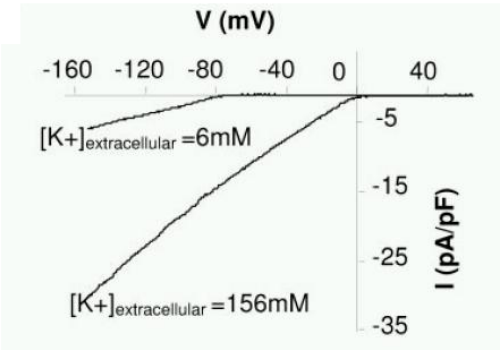


図 25 I_{K1} のボルテージクランプ
細胞外 K^+ イオン濃度を 6 mM と 156 mM との比較．文献 4 より一部改編

例して流入するイオン数が増加する．細胞内電位が 0 mV を越えて＋になると，今度はそのまま直線状になって K^+ イオンが細胞内から流出するのはないかと思えるが，X 軸をたどって流出しない．K^+ イオンの流出がブロックされる．これは細胞内の他の陽イオンである Mg^{2+} イオンや NH_3^+ 基を 4 個持つスペルミンとよばれる陽イオンタンパクが I_{K1} チャネルの流出孔を塞ぐためである．つまり 0 mV を変曲点として整流作用を示す．したがって，このチャネルを内向き整流性 K^+ チャネルとよぶ．実際の細胞では細胞外 K^+ 濃度は 5 mM

であるからネルンストの平衡電位を計算して −90 mV 付近が変曲点になる．図 24 では 6 mM の測定を行っており，およそ −80 mV 付近で変曲点が得られている．変曲点の問題はネルンストの平衡電位で解決できるが，なぜ細胞外液が 6 mM に比べて 156 mM の方が勾配が大きいのかが解決できない．細胞外から細胞内に流入する K^+ チャネルでのイオン密度が高いためという理由だけかもしれないが，細胞内 K^+ イオンが流出する I_{Kr} でも同じ現象が生じているので，共通する理由が存在するはずである．

図 24 上図を再度見ると，心筋活動電位の静止電位の時に細胞内より細胞外へ濃度勾配に従って I_{K1} チャネルを介して K^+ イオンが流出し，Nernst の濃度勾配の式に従って静止電位を保とうとしている．一方，脱分極状態では流出が途絶えている．これはまさに細胞内 Mg^{2+} やスペルミンのブロックによる内向き整流効果が現れている．Mg^{2+} はブロックの反応は早いが K^+ イオンのリーク電流が生じる．スペルミンは分子が大きいために反応は遅いが，完全にチャネル孔を塞ぐためにリーク電流は発生しないなどの特徴を持つ．したがって心房筋では主として Mg^{2+}，心室筋ではスペルミンが作動していると考えられる．心筋の静止電位が −90 mV だから I_{K1} チャネルは不要ではないかという疑問もあるが，I_{Kr} の作用で活動電位が過分極状態になった場合を想定すると，静止電位を安定化させる意味で重要なイオンチャネルであることがわかる．

図 26 は心筋細胞が酸素欠乏に陥ったときの心筋活動電位の変化である．1 分後には静止電位の上昇とともに活動電位 0 相の立上りが弱くなっている．その後静止電位は素早く上昇，0 相勾配もなだらかになるが，脱分極電位は 4 分目までは維持する．これらは酸素不足による Na-K ATPase の活動低下が原因とも考えられるが，時間経過のわりには静止電位上昇がはななだしい．これは内向き整流性 K^+ チャネルの活性化ゲートの機能不全による．活性化ゲートは細胞内 PIP_2 (フォスファジルイノシトール 2 リン酸) によって制御されている．PIP_2 は細胞内に大量に存在するが，酸素欠乏になると，リゾリン脂質が大量に発生し，この PIP_2 の作用に拮抗する．そのために内向き整流性 K^+ チャネルの活性化ゲートを閉鎖させることが出来ず，静止電位の上昇が短時間で発生する [6]．

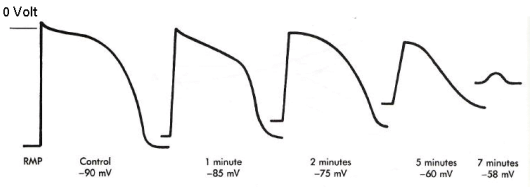


図 26 心筋酸素欠乏による活動電位の変化
酸素欠乏後 1 分で静止電位上昇が発生．4 分後では静止電位上昇は強く，活動電位 0 相の傾きも強くなるが，脱分極電位の低下は少ない．文献 5 より改変

図 26 の 2 相平坦相が短縮する理由はミトコンドリアや SR の機能が低下し，CICR の機能不全が発生するためであり，3 相の立ち下がりがなだらなになるのも同様に向き整流性 K^+ チャネルの活性化ゲートの機能不全による．

図 26 は心筋循環虚脱の極端な活動電位の変化を示すが，心不全や心筋梗塞などでは早期後脱分極 (early afterdepolarization: EAD)，すなわち相対不応期での異常興奮と I_{to1} の関係を図 27 以下に示す．

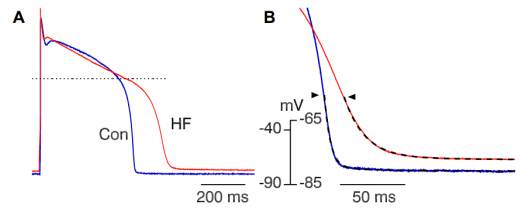


図 27 心不全心筋での活動電位と 3 相の変化
Con.（青線）正常心筋活動電位，HF.(赤線) 心不全心筋活動電位．
A: 市場心筋と心不全心筋の活動電位の比較．APD は延長し，3 相の傾斜はなだらかになる．
B: 3 相部分を拡大．なだらかな傾斜の終端は I_{K1} の静止電位付近での K^+ コンダクタンス低下を示す．
文献 7 より改編．

図 25 では K^+ イオンは −80mV 以上では全く流れない図であるが，実際は図 24 上図に示すよ

うに活動電位 3 相の中程から K^+ イオンは流れ出し，活動電位は急速に静止電位に向かう．それが図 27A に示す Con の活動電位である．しかし心不全になると血液駆出時間が延び，その結果 K^+ チャネル孔とスペルミンとの解離が悪くなり，図 27A の HF の活動電位曲線になる．すなわち 3 相の立ち下がりが悪く，また同図 B に示すように 4 相への移行もなだらかになる．ここに異常刺激が発生すると相対不応期での Na^+ チャネル興奮の発生する可能性が高くなる．

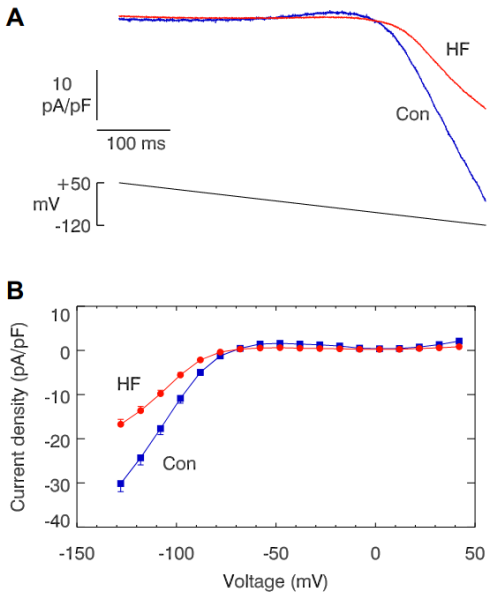


図 28 I_{to1} のボルテージクランプ
A: 青線は Con で正常の I_{to1} チャネル曲線，赤線は心不全心筋の I_{to1} チャネル曲線．数に示すように 50mV より −120 mV までスイープしている．Con では 0 mV 付近より K^+ 電流が検出されている．
B: A 図を座標変換して描画した．文献 7 より改編．

図 28 は正常細胞と心不全細胞での I_{to1} チャネルのボルテージクランプを示す．正常では 0V 付近より K^+ イオン電流が検出されるが，心不全細胞ではそれがない．また心不全ではコンダクタンスが悪く，傾斜がゆるやかになっている．

I_{to2}

I_{to2} は別名 $I_{Cl(Ca)}$ ともよばれ，心室筋脱分極時の細胞内 Ca^{2+} イオン濃度に反応して，細胞外

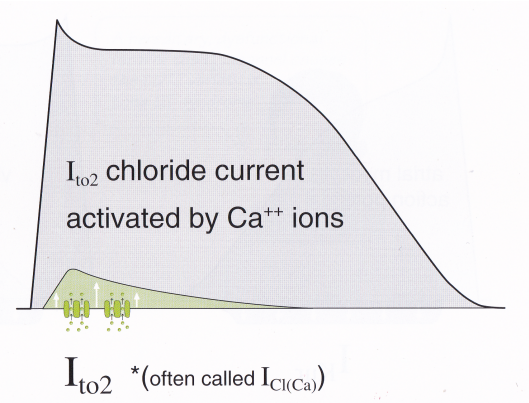


図 29 I_{to2} の Cl^- イオン流入と活動電位との関係
I_{to2} の細胞構造は 2 孔構成で，電位感受性セグメントはない．Cl^- イオンの細胞内流入は陽イオンの細胞外流出と電位的には同じだから電流曲線は＋軸である．

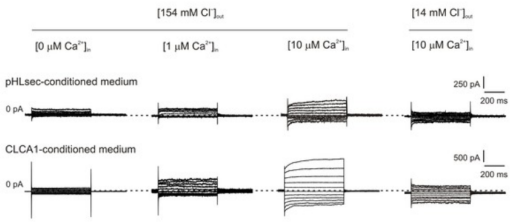


図 30 I_{to2} のパッチクランプ
左より 3 欄は細胞外 Cl^-154mM，右欄は 14mM，細胞内 Ca^{2+}0μM，1μM，10μM を設定，上段は前駆状態のチャネル，下段が完成した I_{to2} データ．−5mV〜15mV 印加電圧．文献 7 より一部改編

Cl^- イオンを細胞内に流入させて脱分極電位の低下を行う．活動電位の 2 相平坦化に役立てている．ジギタリスの副作用として細胞内 Ca^{2+} イオンの過剰による APD(活動電位時間) の短縮，盆状 T 波の発生はこのチャネルの作用である．またアレルギー，喘息，嚢胞性肺線維症など突然の細気管支分泌と深く関係する．個人的な意見であるが，細胞内 Ca^{2+} 濃度は μM に比べ，細胞外では mM である．その結果ネルンストの平衡式に従うと非常な高電位になる．それを防止するためにこのチャネルを使っているのではないかと考えている．

図 29 に心室筋の活動電位と I_{to2} による Cl^- イ オンとの関係を示す．活動電位 1 相の直後の

CICR に呼応して細胞内遊離 Ca^{2+} イオン濃度が上昇するため，その反応として細胞外 Cl^- イオンが I_{to2} チャネルより流入する．その後，筋小胞体への Ca^{2+} イオン再吸収による遊離 Ca^{2+} 濃度低下とともに Cl^- 流入は減少していく．

図 30 に I_{to2} のパッチクランプを示す．上段は前駆状態のチャネル，下段は完成したチャネルで，右欄は細胞外 Cl^- 濃度 15 mM だから通過電流は少ない．左 3 欄は細胞外 Cl^- 濃度を細胞内と同じ 154 mM に設定，更に Ca^{2+} 濃度を 0, 1, 10 μM で測定している．細胞内外の Cl^- 濃度が同じだから 0 V が平衡電位となり，細胞内電位により Cl^- 電流が変化する．その変化は平行線の密度から内向きの方が通過しやすく，また当然ながら Ca^{2+} 濃度が多いほど通過し易いことがわかる．図 24 に示す I_{K1} と対比して考えると，Cl^- イオンの流出を阻止するような陰性リン酸やアミノ酸は無さそうである．参考までの細胞内 Cl^- イオン濃度は 15 mM 程度であるから，図 30 の右欄が実際のデータと考えればよい．

おわりに

今やイオンチャネルのアミノ酸配列や立体構造が明らかになったが，そのデータを一見しただけでは門外漢の小生にはチャネルの動作が理解できるものではない．幸い，Dale Dubin 著の Ion Adventure in the Heartland の解説を元にして，ボルテージクランプのデータを付け加えてチャネルの構造と機能の解説を行った．引用している図の多くは上記著書を改編している．

最後に各種イオンチャネルのが細胞表面の 1 平方 μm あたりでの分布密度を表 1[8] に示す．圧倒的に多いのが Na-K ATPase であり 400 個以上である．生体は細胞内に侵入する Na^+ イオンを排除し，K^+ イオンを取り込んで高 K^+ 血症を防いでいることがわかる．そのための酸素消費量は全酸素消費量の 80 %ともいわれている．次に多いのが Na^+ イオンチャネルであり 16 個，I_{Ca-L} チャネルは 1.2 個．CICR を駆動させるだけの存在だから，少ないのは納得できる．I_{Ca-T} チャネルが 0.1 個は結節細胞しか存在しないから当然であろう．I_{Ca-DHP} は筋小胞体へ流入する Ca^{2+} イオンチャネルで 25 個と非常に多い．I_{KV} で示す電位依存性 K^+ チャネルや I_{K1} は少なく 1 個程度である．この例からも明らかなように，K^+ チャネルは K^+ イオンを流出させるのが目的ではなく，単に Nernst の濃度勾配による電位式を満足させればこれで十分なのかもしれない．ATP 依存性 K^+ チャネルやムスカリン作動性 K^+ チャネルなど心機能にブレーキを掛けるチャネルが多いことには血流障害や酸素不足に対処するための準備かもしれない．また，心臓は副交感神経優位で制御されていることも立証できる．

表 1　心筋細胞膜のチャネル密度

各種イオンチャネル	1 平方ミクロンあたりのチャネル数
Na-K ATP pump	～ 400
Na^+チャネル	16
K^+チャネル群	
ATP 依存性	10
I_{K1}	1
I_{KV}	1
Ca^{2+}チャネル群	
I_{Ca-L}	1.2
I_{Ca-T}	0.1
I_{Ca-DHP}	25
βアドレナリン	2
ムスカリン	6

出典：L. H. Opie: Heart Physiology From Cell to Circulation. 4 th Ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2004.

未だ勉強不足で，$I_{K(Ach)}$，$I_{K(Ado)}$，$I_{K(Ca)}$，$I_{Na/Ca}$，I_f，その他 Na-K ATPase，筋小胞体でのカルシウムポンプ，更に細胞内シグナリングなど未消化のままである．アミノ酸配列から 3 次元構造とそのダイナミックス，また近年の細胞生理学にはとても追いつけないが，機会をとらえて勉強したい．

注：図については電子版 PDF を 400%に拡大して参照してもらいたい．

引用文献

1. A.L. Goldin: Mechanisms of sodium channel inactivation. Current Opinion In Neurobiology 13:284-290,2003
2. Hampl M, Eberhardt E., et al: Sodium channel slow inactivation interferes with open channel block, www.nature.com/scientficreports, 6:25974 — DOI: 10.1038/srep25974
3. Sanguinetti et al: A mechanistic link between an inherited and an acquired cardiac arrhythmia: HERG encodes the lKr potassium channel. Cell 81,299-307,1995
4. Y Fang, G Schram, VG Romanenko, C Shi, L Conti, CA Vandenberg, PF Davies, S Nattel, I Levitan: Functional expression of Kir2.x in human aortic endothelial cells: the dominant role of Kir2.2. Am J Physiol Cell Physiol 289: C1134-44, 2005.
5. Chap 5 Arrhythmogenic Mechanisms and Their Modulation. Marriott HJL, Conover MB. Advanced Concepts in Arrhythmias. 3rd ed. Mosby;1998.
6. 吉川哲史：心臓イオンチャネル A to Z. ライフメディコム，2015.
7. Klein M.G., Shou M, et al: Role of suppression of the inward rectifier current interminal action potential repolarization in thefailing heart. Heart Rhythm 14: 1217-1223,2017.
8. Sala-Rabanal M. et al: Secreted CLCA1 modulates TMEM16A to activate Ca2+-dependent chloride currents in human cells. eLIFE HTTPS://DOI.ORG/10.7554/ELIFE.05875.001
9. 田中義文：成り立ちから理解する心電図波形: 心筋の活動電位を読み解く．学研メディカル秀潤社，2012.

二酸化炭素ボンベ誤用事故 (6)
―特に書き残しておきたいこと―

佐藤 暢

はじめに

2011 年 7 月 14 日の神戸市立医療センター中央市民病院における二酸化炭素ボンベ誤用による致死的事故から 8 年近くにもなるが，その間に著者は「二酸化炭素ボンベ誤用事故」という表題で本誌に 5 回にわたりその原因と対策などについて詳しく書いてきた [1−5] .

それには，最初に寄稿した際に [1] 本誌編集部から 3 ページにわたる「参考」資料を付けて示された「共感」(35p) に支えられて来た事情があるので，この際改めて田中編集長に深甚なる謝意を表したい． 更に，当学会のホームページ[1]上に「二酸化炭素ボンベ等について」と題したバナーを設け，そこをクリックすると関連する著者の論文，緊急提言など 13 点 (今回で 14 点になる予定) を纏めて電子版を開示して下さったので，そのご好意に深謝しながら複写や引用などに大変便利になった事をお知らせしたい．

今回は，今までに書き間違えたこと，書き足らなかった関連事項や，書き残したいことなどを纏めて「二酸化炭素ボンベ誤用事故」(6) として総括する．

過去の報道から二酸化炭素ボンベ誤用事故を省みて

今までに二酸化炭素ボンベ誤用事故で新聞報道されたのは 4 件に過ぎないと著者は認識しており，異論は出ていない．その 4 件については，以前本誌 2015 版に纏めて再検証した [4]．最初の事故が 1992 年 5 月に起きてから 27 年近くになるので，概して約 6 年半に 1 件の割合いとなり，頻発とは言えないが，これら 4 事故に共通する特徴は，手術の直前か直後の患者搬送の際に直ちに使用できるような小型酸素ボンベ (500 *l*，黒塗色) が手元に準備されて無くて，それを探した結果，代りに同形同大 (内容量 3.5 *l*) の小型液化炭酸ガスボンベ (2.2 kg，緑塗色) を見て酸素が詰っていると誤認した看護師や医師が持ってきてそのまま患者に吸入さして致死的事故になった点である．このような人命を左右するうっかりミスは医学・医療以前のヒューマンエラーの問題であり，絶対に避けねばならない命題である．

年代順に事故の概要を過去の新聞記事から要点を集めて書くと，

事例 1

1992 年 5 月 29 日に帝京大学医学部付属病院で起きた事故では，33 歳の主婦が 4 月 26 日夜に交通事故で入院して，整形外科で骨盤骨折などの手術を受けた後の患者搬送に当たって担当の麻酔科医の判断で酸素吸入をすることになったが，台車の酸素ボンベが空であったため，整形外科医が新しいボンベを持ってくるように指示，準看護師が隣室の酸素ボンベ置き場から取ってきた二酸化炭素ボンベを，医師が確認しないまま台車に取り付けて使い，二酸化炭素 (炭酸ガス) を吸い始めてから痙攣や脈の異常が起きて，約 5 分後に誤りに気づき心マッサージなどの処置を受けたが低酸素状態となり，6 月 14 日に死亡したことが 18 日にわかったと同年 6 月 19 日に報道，(**注：**「この二酸化炭素ボンベは心臓外科の手術用で置き場も別になっていたが，18 歳の准看護婦が取りに行った置き場には当時 2 本のボンベがあり，その中の 1

鳥取大学名誉教授，元日本工業標準調査会 麻酔器専門委員会長

[1] http://www.jsta.net/

掲載許可日 2019 年 3 月 21 日

本が二酸化炭素ボンベで誤って置かれていた」との記載は，著者にとって新しい知見であった．）

事例 2

1999 年 10 月 28 日に兵庫医科大学病院で起きた事故では，腹部外傷の緊急手術後の搬送中に人工呼吸用の酸素ボンベからのガスの供給が切れて，看護師が手術室に取りに戻った．その際，別の看護師が誤って二酸化炭素ボンベを渡したが，看護師も医師もそれに気づかずに人工呼吸器につないで二酸化炭素を誤吸入してから 5 分後に心停止となり，心拍は心肺蘇生術で約 9 分後には再開したが，重度の記憶障害が残っていることが翌年 10 月 19 日にわかった．と同時に，30 年代の男性患者と両親が同大学と執刀医を相手取り，約 1 億 3 千万円の損害賠償を求める訴訟を神戸地裁尼崎支部に起こしたと翌 10 月 20 日に報道，(**注：**「看護師はボンベの「○○酸器」というメーカー名を見て酸素ボンベと思い込んだらしい」の記載もあったが，「○○酸器」を読む前にボンベの緑塗色が眼にはいっていた筈なので，緑塗色の意味を知らずに酸素と勘違いしたに違いない．

事例 3

2008 年 8 月 24 日に二度にわたり公立八女総合病院で起きた死亡事故では，大腸がんで入院中の 70 代の男性が腹膜炎を起こして危篤状態となり，午前 3 時 50 分ごろ緊急手術のため手術部入り口から手術台までの約 20 m をストレッチャーで運ぶ際に看護師が台車に備え付けの酸素ボンベも保管場所にあった酸素ボンベも全部が空だと気づき，慌てて別の場所にあった二酸化炭素ボンベを持ってきてストレッチャーに取り付けて使ったので，手術を前にして腹膜炎で死亡となり，次いで同日午後 6 時頃頭部打撲で救急搬送されてきた 80 代の男性に，午前中のミスに気づかないまま同じ二酸化炭素ボンベを前と同様に使って，25 日の朝急性硬膜下血腫で死亡となったが，後で看護師長がボンベが違うことに気づいたという．同院は異常死の可能性があると八女署に届けたが，吉田企業長は，27 日に記者会見して「二酸化炭素の毒性は極めて低く，投与も短時間のため死亡との関係は薄いと考えている」と述べ，二酸化炭素の誤投与が直接の死亡原因ではないと説明したと同年 8 月 28 日に報道，

事例 4

2011 年 7 月 14 日に神戸市立医療センター中央市民病院で起きた事件では，その前夜に腹部大動脈瘤切迫破裂で緊急入院した 80 歳代男性の手術が 14 日午前 0 時半ごろ終了してから ICU に搬送中に酸素吸入をするために，麻酔科医が看護師に酸素ボンベを取ってくるように指示したところ，看護師は「そこにあります」と答えたので，麻酔科医は同手術室内にあった二酸化炭素ボンベを取って来て人工呼吸器 (詳しくはリザーバー付きアンビユーバッグ) に接続して数分間使用したところ，患者は間もなく心停止を来したので，心肺蘇生を施して心拍は再開した．後で二酸化炭素ボンベを誤ってつないでいたことが判明したとか，患者は一度蘇生していたのに 7 月 20 日になって一時心肺停止状態に陥り，重篤であると同日夜に急遽記者会見を行って公表した．このことは翌 7 月 21 日朝になって地方の紙面で報道，(**注：**その記者会見で配られた資料は文献 5 の表 1 として 73p に示されているが，そこで注目すべきは，7 月 13 日 (水) 夜に始まって 4 時間半の緊急手術が終了したのが 14 日の 0:26，手術室退室準備開始が 0:37 で，心停止が 0:39 と記してあるので，二酸化炭素を吸入開始してから 2 分以内と非常に早く心停止となり，また心肺蘇生法開始が 0:41 で自己心拍再開が 11 分後の 0:52 に成功している点と，その後 ICU で治療を継続して改善傾向が見られたのに，6 日後の 7 月 20 日 (水) の正午過ぎに心停止を来したので再び蘇生を行い，心肺補助装置を装着して最大限の治療を続けている段階で，同日夜に記者会見を開いて，これから院内に事故調査委員会を設置して原因究明に当ると記載されている．事故調査委員会の結果は報告書として同年 9 月 30 日に公開されたが，その内容には不当・不審な問題点が少なからずあった点である [1,2]．

以上は，朝日新聞と読売新聞の記事データベースを著者が調査して探し出した計 14 本の記事を纏めたものであり，当該施設の都合と著者の不慣れが重なって毎日新聞を始めもっと多くの新聞について調査できなかった点は残念であるが，実状は各新聞とも記者会見を基にして報道している様子なので内容的には大差ないところ，紙面編集上の時間的，スペース上の制約が強くて，各地方版，朝夕刊毎に記事の扱い方，書き方，字数など編集上の差が大きいと感じた．また，文献 6 の冒頭にあげた事例 **1** の記事は，同じ新聞のデータベースについての今回の索引には無いことなどから，地方版には割愛されたものが少なくないと思われたが，新聞間の比較が今回の目的ではなくて，関連する過去の新聞記事を集めて緑塗色の二酸化炭素ボンベ誤用事件の経緯を顧みて，医療用ボンベ誤用事故にまつわる問題を総括し，更には将来像を著者なりに展望したい．

先ず，釈明したいのは，前記した文献 4 の 4 件の再検証 (p74 － 76) では，1999 年の事例 **2** を 2008 年に起きた事例 **3** よりも後に書いたことである．事例 **2** は死亡事故ではなかった故か事故後には報道が無く，その後遺症 (重度の記憶障害など) で働けなくなって，事故から 1 年後の 2000 年 10 月になって高額の損害賠償訴訟を起こしたとの報道が夕刊にあったが，その時には著者の知るところとならなかった． 2008 年に事例 **3** の事故が起きて大きく報道されてから後で，当時日本医療ガス協会技術顧問であった中島太郎氏のスライド (毎日新聞の記事) を見て初めて知った覚えがある．そこで，著者のファイルでは事例 **2** は事例 **3** の後に置かれていた．そして，著者は事例 **3** の事故を事例 **1** から 16 年間をおいて起きたと書いたが [4,6]，その中間に事例 **2** が起きていたことを後で知った．これが，文献 4 での記載順序が逆になった事情の説明である．

二酸化炭素ボンベ誤用事故の原因解明について

事例 **3** において「ボンベ側の接続金具が酸素，二酸化炭素とも同じだった」ことに触れた記事が 1 社にあるが，その対策として小型医療用二酸化炭素ボンベのガス別特定化が進められた．事例 **4** ではその対策は取られていたのに事故となった．しかし，事例 **4** でこの点に触れた記事は見られなかった．

そこで特に注目すべきは，緑塗色の二酸化炭素ボンベを酸素が詰っていると誤認して取ってきたまま直ぐに繋いで誤用事故になった原因解析についてである．

報道では，以上 4 件とも現場に直ちに使えるような酸素ボンベが無くてそれを探し求めた点では共通している．そして，酸素ボンベは黒色，二酸化炭素ボンベは緑色との色分けを書いた記事は半数以下で見られたが，緑塗色の二酸化炭素ボンベを見て酸素が詰っていると (黒塗色の酸素ボンベとではない) 勘違いしたのは何故かについては，どの記事も全く触れていない． それは，厚生大臣を主務大臣として政府が官報で公示した JIS(日本工業規格)「麻酔器」,「医療ガス配管設備」などでの医療ガスの識別色に関する規定 “ 酸素は緑色 ” を知らなかったか，または無視したからである．それは厚労省も同じであって，医療機器・設備における酸素の識別色が緑であることが具体的に厚労省及び医薬品医療機器総合機構 (PMDA) からの通知に出たことは皆無である．

著者が委員会長を務めた日本工業調査会 医療安全部会 麻酔器専門委員会 (事務局：旧工業技術院表準部) で 1976 年の JIS T 7201「麻酔器」の改正で酸素の識別色は緑色，笑気は青色と決めた頃から [2] 長年のうちに，麻酔器を始め米国からの医療機器や配管設備の影響もあって，手術室や ICU を中心に医療分野では “ 酸素は緑色 ” との認識が次第に浸透してきた．おまけに，工事や労働・交通の分野では，緑色は安全，進行 OK の色，また森林を表す健康色として社会に定着している．一方で，旧通産省 (現経産省) の高圧ガス取締法 (現高圧ガス保安法) の容器保安規則・第十条第一項

で 1966 年以来酸素ボンベの塗色は黒，液化炭酸ガス (二酸化炭素) ボンベの塗色は緑と決められているが，これについては最近まで医療界には殆ど知られていなかったし，正規の教育内容に含まれてもいなかった．従って，日常黒色の酸素ボンベを見ていても，それが法規の定める酸素ボンベを識別するための塗色であるとの認識があった医師や看護師はごく限られていたと思われ，ましてや職場で緑色の二酸化炭素ボンベを認識したことのある医師や看護師は皆無に近かったと思われる．

そこで，酸素ボンベを急いで探しているうちに，酸素ボンベが黒色であることは頭の中から消えて，緑色のボンベを見た瞬間に“酸素は緑”と誤って認識するヒューマンエラーが起こった．これは，二酸化炭素ボンベの緑塗色が医療機器・設備での酸素の識別色の緑色と同じである日本で起こり易い特殊事情であり，始めに医療用酸素ボンベの識別色を緑色と決めてから麻酔器・呼吸器や配管設備を始め各種医療機器・設備でも酸素の識別色を同じ緑色に決めてゆく方式の米国では考えられないことである．ISO 32[7] を採用する欧州諸国やカナダ，オーストラリア，ニュージーランドなどでは，医療用ボンベでの酸素の識別色を白色と決めてから同様の方式を取っているので，医療用酸素ボンベと医療機器・設備との間で酸素の色は白に統一されている．

一方で，二酸化炭素ボンベの識別色は (高圧ガス) 容器保安規則により緑色であるが，1976 年の JIS T 7201「麻酔器」改正の折には二酸化炭素を麻酔器で使う適応はないとして省略した．その後医療用二酸化炭素の臨床使用が手術室を中心に増えてきたので，1997 年に JIS T 7101 「医療ガス配管設備」の改正で二酸化炭素の識別色はだいだい (橙) 色 (オレンジ色ともいう) と決めた．この色を医療用二酸化炭素ボンベの上約 1/3 に採用して緑色と橙色の 2 色塗装 (ツートン・カラー) とする方針を 1993 年に (財) 医療機器センターに設けられた医療ガス問題検討委員会で決めた [8]．これは，前述した事例 **1** の後で日本麻酔学会 (当時の会長 涌澤玲児) が厚生省健康政策局長宛てに提出した医療用炭酸ガスボンベの口金と識別色のガス別特定化の要望書に応えて設置された委員会であったが，この 2 色塗装は，医療用亜酸化窒素ボンベで容器保安規則による鼠色の上に JIS T 7201「麻酔器」の 1976 年改正で決めた亜酸化窒素 (笑気) の青色を重ねた 2 色塗装で医療用を区別する方式に倣ったものである．

このような混乱した状態の識別色を整理するようにとの意見は多いが，以下のような事情から容易ではない．本邦では以前から高圧ガスの容器保安規則でボンベの識別色を，酸素ガスは黒色，水素ガスは赤色，液化炭酸ガスは緑色，液化アンモニアは白色，液化塩素は黄色，アセチレンガスはかつ色，その他の種類の高圧ガスはねずみ色を，ボンベ表面の 1/2 以上に行うと決めてあるが，ここには医療用への配慮は無くて，亜酸化窒素，空気，窒素，ヘリウム，亜酸化窒素と酸素の混合ガス，エチレンオキサイドなどの医療用ガスは，全て鼠色で区別できない．

そこで，JIS T 1101「医療用配管設備」と JIS T 7111「医療ガスホースアセンブリ」では，窒素は鼠色のままで，医療用亜酸化窒素に ISO 32 の青色を採用して区別した．一方で，医療用空気については，ISO 32[7] で空気を酸素と窒素の組成ガスの色，つまり白色と黒色のまだら模様で表す方式なのに対して，本邦では容器保安規則で示すように空気も 1 色で表す方式なので，治療用空気は黄色，より高圧の手術機器駆動用空気は褐色として区別した． 医療用二酸化炭素には，従来 JIS T 7201 でサイクロプロペンの識別色であった橙色 [2] を，サイクロプロペンが医薬品から消えたので流用したが，警戒色としてふさわしい感じである．医療用酸素については，ISO 32 では白色であるが，本邦では液化アンモニアと同色になる．従って，前述したように米国に倣って医療用酸素を緑色としたが [2]，後年になって緑色の小型液化炭酸ガスボンベの医療現場での需要が増えてきて，同じ緑色なので二酸化炭素ボンベの内容を酸素と誤

認して誤用事故を誘発した (新聞紙上で報道されたのは前記 4 事例)．それには酸素ボンベが黒色であることをつい失念して，無自覚のうちに緑色の酸素ボンベの幻影を見ていることになる (緑色の酸素容器は，航空機内設備の例外を除いて本邦には存在しない筈)．以上のように，識別に使えるような色は他に紫色しか残っていないので，今後とも識別色が複雑に重複するのは避けられない[2,9]．だからこそ，医療用ボンベを一目で区別するために 2 色塗装 (two-tone color) の適用が必要になってくる．

ちなみに，前記の新聞報道 14 記事のなかで「酸素ボンベと炭酸ガスボンベを取り違え」とか「ボンベの取り違えに気付かず」との記載が見られたが，4 事例とも現場に酸素ボンベがなかったから起きた事故なので，両ボンベ間の取り違えを指すような記載は適切でない．似た物同士の両物件を相互に取り違えるには両物件が現場に存在すことが前提である．但し，例外的に事例 **1** では，探しに行った先 (置き場) には両方のボンベが置かれていたが，緑塗色の二酸化炭素ボンベを見るなりそれを酸素ボンベと勘違いして持ってきて使い事故となった．そこでは，うす暗くて似た物同士の物件を取り違えたような事情は窺えない．つまり，両物件は黒色と緑色に色分けしてあったのに，1992 年当時 18 歳の準看護師と 32 歳の整形外科医にはボンベの識別色に関する智識がなかったがゆえに，緑色のボンベだけに注目して黒色のボンベを見過ごしてしまった．

しかも，従来二酸化炭素を吸入した場合の猛烈な危険性について余りにも認識が甘い医療界であった．それが如実に表れたのが，事例 **3** の八女市の吉田病院長が「二酸化炭素の毒性は極めて低く，投与も短時間のため死亡との関係は薄いと考えている」と公表した記事であろう．実際には，純炭酸ガスに近い高濃度の二酸化炭素を吸った場合に起こる急性劇症中毒は，イヌの実験モデルにおいて証明されており[10]，またヒトについては，吸気中の炭酸ガス濃度と症状の表などで，二酸化炭素が 10 %以上の環境では，酸素欠乏が無くても数分以内で意識を消失して生命の危険に至ることが示されている[11−13]．

他方で，日本薬局方解説書 (廣川書店，現在は第 17 改正版) では，二酸化炭素の適用について 5〜10 %を酸素と混合して吸入した際の呼吸中枢の刺激作用をあげるのみで，純度 99.5 vol %以上の局方二酸化炭素の作用については全く触れず，また副作用には「特別なものは知られていない.」と長年にわたり書いている．これは窒素の副作用における表現と全く同じである[14]．また，局方二酸化炭素の添付文書でも，ほぼ同様であるが，そこには「ガス漏洩時の注意」のなかに (二酸化炭素の許容濃度は 5,000 ppm) が加えられている．この 0.5 %という二酸化炭素濃度は，局方二酸化炭素の 1/200 で，生理的環境である大気中炭酸ガス濃度 (0.04 vol %) の約 l3 倍で，一般に致死濃度とされる 10 %の 1/20 に当たるが，1 日 8 時間・週 40 時間の労働衛生上の許容濃度であるので，当の医薬品である局方二酸化炭素自体の作用・副作用に全く触れていないのは全くの不備である．

また，「労働安全衛生法施行令」の別表第 6「酸素欠乏危険場所」のなかで「11 ヘリウム，アルゴン，窒素，フロン，炭酸ガスその他不活性の気体を———.」の記載が現在でもまだ残っている[15]．このように間違った社会教育的環境の影響が充分に考えられるのは，危険防止の点から見ても誠に残念である．

医療用二酸化炭素ボンベにまつわる問題点と将来像

先ず，労働安全衛生法施行令の酸素欠乏危険場所のなかで，炭酸ガスが不活性 (inert) の気体とされている問題である．元来，「不活性気体とは元素の周期律表で，電子配列の最外殻が閉殻になっており化学的反応性の極めて低い 0 族元素 (ヘリウム，ネオン，アルゴン，クリプトン，キセノン，ラドンの 6 元素，希ガス) を指すが，窒素も実用上不活性ガスに入れられることが多い」と科学

辞典等の定義から集約した[15]．二酸化炭素 (炭酸ガス) も，無味，無臭，無色で，熱で分解されず，酸化もされいので，化学的に安定している点では希ガスや窒素に近いが，動物に対しての活性は別である．例えば，ヒトでキセノンの麻酔作用はよく知られているが，高濃度の炭酸ガスを吸入した場合にも CO_2 narcosis で始まり，昏睡から死亡に至るまで急激な中毒作用が色々と知られている．その特徴は，炭酸ガスが肺から迅速に出入しやすいことから中枢神経に対する強い刺激作用を，次いで麻酔・抑制作用が見られるが，同時に血漿の緩衝作用 (buffering action) を崩してそのpH を，次いで身体中の組織液の pH をも支配する (Henderson-Hasselbalch Equation)．従って，身体に入ってたまる CO_2 が増えるほど，組織液の pH が 6.1 に向かって下がり，7.0 を割るような重症な酸血症 (acidemia) からアシドーシス (acidosis) になり，その組織液の中で生きている細胞の機能障害が起こる．例えば，二酸化炭素ボンベを人工呼吸に誤用して局方二酸化炭素を直接吸わされたような場合には，1 分以内に心臓は激しい不整脈から循環不全に陥ることがある[10]．このような症状は，酸素欠乏症が来る前に，或いは酸素欠乏がなくても，急激に起こるので，二酸化炭素自体の急性中毒であり，その状態は二酸化炭素の中毒性アシドーシスと称して，呼吸性アシドーシスや窒息とは区別して考える必要がある．なぜならば，後者は酸素を取り入れて炭酸ガスを排出する肺の呼吸機能不全による身体障害であるのに反して，前者は異常に高濃度の炭酸ガスが肺から呼吸とは反対方向に血液に溶解する中毒症だからである．勿論，両者が混合して相乗的に働く場合も多いと考えるが，二酸化炭素ボンベ誤用事故のような極端な事例については特別に配慮して対策を講じる必要があるのに，未だに窒素や窒息と区別できないような社会では前者の危険性排除が不充分である．近い将来の展望としては，二酸化炭素による屋内駐車場消火設備は窒素などによるものと替えるべきである．また，屋内の舞台等でドライアイスを用いて霧，煙，湯気等を演出する手法には，白く見えるのは空気中の水蒸気が氷ったものだとしても，二酸化炭素を吸う危険性も排除できない点からもっと充分な配慮や対策が望ましいと考える．

最後に重要なのは，ボンベ (高圧ガス容器) の接続部についての展望である．本邦では，従来から高圧ガス容器用弁 (バルブ，口金) の 取付継手の形状が，酸素，笑気，炭酸ガス等の不燃性ガスの間で同じであったが故に，誤接続による事故が避けられないとして，医療用ボンベのバルブにガス別特定 (gas-specific) コネクタを採用して非互換性 (non-interchangeability) を確保することに努めてきた．先ず，米国の CGA(Compressed Gas Association) 由来の Pin Index Safety System が，ISO 407 Small medical gas cylinder ― Yoke type valve connections として国際化しているのを，医療用小型ボンベに採用した．これは元来麻酔器のヨークに吊り下げて使う小型医療用ボンベを間違いなく，しかも一人で手早く取り換えるのに便利なものであるが，本邦ではその他の小型医療用ボンベにも少し改良して使われている (JIS B 8246 高圧ガス容器用弁の記号 C 形式に当る)．それ以外のねじ式取付継手 (JIS B 8246 の記号 A1 形式と B 形式) では，相変わらずガス別特定ではないので誤接続を防ぐために，ISO 5145 Cylinder valve outlets for gases and gas mixtures ― Selection and dimensioning から医療用笑気と炭酸ガス用を JIS T 7101 医療ガス配管設備のなかで採用した (JIS B 8246 の記号 A2 形式)．これで医療用ネジ式取付継手でのガス別特定接続は確保され，A1 か B 形式の工業用ボンベとの誤接合もできなくなった．ISO 5145 はボンベ全般にわたり国際的にガス別特定化するもので，元来医療用ボンベを工業用ボンベから区別するためのものではない．本邦でも将来ボンベの国際化が進めば用途を問わないガス別特定接続が出来るようになるであろう．その際医療用を識別するには，もっぱら

ボンベの 2 色塗装や大きな字のペンキ表示に頼ることになるが，大災害における工業用酸素から医療用酸素への緊急時転用には同じ接続による利便性が大いに向上すると期待される．それは，現在でも検査や認可・登録で法令上の規制があるが，医療用酸素は工業用 (一般産業用) と一緒に製造され，運送されているので当然であるが，これが世界的規模で流通するようになれば理想的である．

また，ボンベのバルブではガスの充填口は排出口を兼ねているので，ボンベの排出口＝充填口を変えると，ガスの流れをさかのぼって流入側の管とその排出用口金をも同時に変えねばならない．これを順次ガスの流れに逆行してガス別特定接続を統一するのは容易ではない．そこで，バルブの充填口と排出口を別々に設けて夫々をガス別特定にするような規格化が考えられる．そうなれば，必要によってガスの排出口から先だけを変えても充填口から元は変える必要はないので，利便性の向上に資するに違いない．一部では既にその様なボンベが出回っていると聞くので，近い将来に普及するのも展望内である．

引用文献

1. 佐藤 暢：二酸化炭素ボンベ誤用事故― 何故まだ繰り返されるのか― その経緯．麻酔・集中治療とテクノロジー 2011, p26-33, 日本麻酔・集中治療テクノロジー学会 京都，2012. http://www.jsta.net/pic/co2jikogenin-1.pdf
2. 佐藤 暢：二酸化炭素ボンベ誤用事故―何故まだ繰り返されるのかーその経緯 (2)．麻酔・集中治療とテクノロジー 2012, p1-11, 日本麻酔・集中治療テクノロジー学会 京都, 2013. http://www.jsta.net/pic/kangae.pdf
3. 佐藤 暢：二酸化炭素ボンベ誤用事故―何故まだ繰り返されるのか―その経緯 (3)―緑色のボンベを酸素と誤認した事故を O_2 ボンベを CO_2 ボンベと取り違えた事故と見るのは誤りではないか? 麻酔・集中治療とテクノロジー 2013, p1-8, 日本麻酔・集中治療テクノロジー学会 京都，2014. http://www.jsta.net/pic/kanchigai.pdf
4. 佐藤 暢：二酸化炭素ボンベ誤用事故―事故の原因解析の問題点とその経緯 (4)．麻酔・集中治療とテクノロジー 2015, p74-80, 日本麻酔・集中治療テクノロジー学会 京都，2016. http://www.jsta.net/pic/co2jikogenin-2.pdf
5. 佐藤 暢：二酸化炭素ボンベ誤用事故―特に従来の反応と医薬品ラベル等の問題点 (5)．麻酔・集中治療とテクノロジー 2016, p72-86, 日本麻酔・集中治療テクノロジー学会 京都，2017. http://www.jsta.net/pic/sato-5.pdf
6. 佐藤 暢：またもボンベの誤用事故―失われた 16 年間．日本医事新報 No4413 75-78, 2008.
7. ISO 32 Gas Cylinders for Medical Use-Marking for Identification of Content. ISO Geneva, 1977.
8. 佐藤　暢：医療ガス問題，最近の話題．麻酔 43(9):1406-1411, 1994.
9. 佐藤　暢：医療ガスボンベの識別色について．日本医事新報 No.3891 76-78, 1998.
10. Ikeda N, Takahashi H, Umetsu K, Suzaki T:The Course of Respiration and Circulation in the Death by Carbon dioxide Poisoning. Forensic Sci Int. 41:93-99, 1989.
11. 高橋正好：二酸化炭素と人体．安全工学 37(5):352-357, 1989.
12. 内藤浩史：中毒百科-事例・病態・治療 (改定第 2 版)43 二酸化炭素．p181-186 南江堂 東京，2001.
13. 消防庁予防課長，危険物規制課長：二酸化炭素防災設備の安全対策について．消防予第 193 号，消防危険第 119 号，1996.
14. 佐藤 暢, 飯野守男：厚労省も陥ったか，ヒューマンエラーと二酸化炭素中毒事故にまつわる謎・第 2 部．麻酔・集中治療とテクノロジー 2016, p72-86, 日本麻酔・集中治療テクノロジー学会 京都，2017. http://www.jsta.net/pic/magic.pdf.
15. 佐藤 暢, 飯野 守男：厚労省も陥ったか，ヒューマンエラーと二酸化炭素中毒事故にまつわる謎 (続)．麻酔・集中治療とテクノロジー 2017. p118-125, 日本麻酔・集中治療テクノロジー学会 京都，2018. http://www.jsta.net/pic/magic-2.pdf

Key Words:
二酸化炭素, ボンベ, 誤用事故, ヒューマンエラー, 識別色, 2 色塗装, 新聞報道, データベース検索, 事故調査委員会, 不活性ガス, 日本薬局方解説書

連絡先：
satotoru@orange.plala.or.jp

集中治療室における治療の総合的な患者満足度に影響を及ぼす因子の検討

－集中治療室入室経験者を対象とした全国横断的インターネット調査－

小川智也*，大島嘉文†，川上明彦†，山田浩祐†

本研究の概要

集中治療室 (ICU) における治療の総合的な患者満足度に影響する因子について，ICU 入室経験者を対象に実施した全国横断的なアンケート調査における回答をもとに検討した．ICU に入室する患者は重篤な状況にあり，加えて ICU の環境によりストレスフルな環境に晒されている．本論では患者のストレスとなっている因子の検討を実施した．

ICU 滞在中に最も気になったこととして，一定数の患者が「睡眠障害」と回答した．また ICU の環境因子のうち，気になるという回答が最も多かったのは「周囲の音」であった．そこで睡眠障害と睡眠薬の服用状況，痛みの程度，ICU 退室後の睡眠障害との関係性について解析した．「周囲の音」に関しては具体的な音の種類を調査し，医療機器のアラーム音，医療機器の稼働音，看護師・医師等の医療従事者の声等が挙げられた．

ICU 治療への総合的な満足度について，まず睡眠に注目して解析した結果，ICU 滞在中に睡眠障害を経験した群は経験しなかった群に比べて，ICU 治療への総合的満足度が低かった．ICU 滞在中における医療従事者に対する評価も同様であった．また医療従事者の評価に関する有意な因子として，周囲の音 (看護師・医師等の医療従事者の声等) が見出された．これらの結果から，ICU 治療への総合的な満足度および医療従事者に対する評価を向上させるうえで，ICU での睡眠障害への対策および疼痛コントロールの改善，また ICU 内の環境音に配慮することが大切であると考えられた．

導　入

医療現場において，患者の満足度向上が求められるようになって久しい．しかし ICU においては生命維持が最優先であり，患者の満足度については検討されることが少なかった．

一般に，ICU に入室する患者は，疾病や外傷あるいは手術等の侵襲的な処置によって重篤な状態にある．加えて，ICU 内の環境は医療機器の機械音や医療従事者の会話，照明器具の光，医薬品等のにおい等によって，患者はストレスフルな状態にあると考えられる．さらに ICU での経験がきっかけとなり ICU 退室後に PTSD(Posttraumatic stress disorder，心的外傷後ストレス障害) を発症する患者や心理面で負の影響を受ける患者が一定数存在することが知られている [1,2]．ICU 内の環境が患者の心理的側面や医療に対する満足度に及ぼす影響等に関する先行研究として，単一施設での検討報告が散見されるものの [2−5]，全国横断的な検討報告はなく，ICU 滞在中の患者の実態は明らかにされていない．

そこで我々は，ICU における医療の満足度に関与する因子を抽出し，ICU 入室中に実行可能な介入方法および ICU 内の環境面の工夫方法を検討するため，ICU 入室経験者を対象とした全国横断的なアンケート調査を実施した．本論ではその結果および考察を報告する．

対象と方法

我々は，ICU への入室経験がある成人男女を対象に，民間調査会社に委託し 2016 年 6 月にインターネットを利用した全国横断的アンケート調査を実施した．アンケートにおいて，調査で得られた情報は本研究以外には使用しないこと，および個人情報保護方針への同意を得た．この個人情報

*VANTAGE CLINIC 広尾
†株式会社三菱総合研究所

表 1 解析対象者の背景

年齢(平均±SD)	59.4±10.9歳	
入室したICUの所在地	北海道 6名、山形県 2名、宮城県 3名、栃木県 1名、群馬県2名、茨城県 1名、埼玉県 7名、東京都 29名、千葉県 4名、神奈川県 10名、新潟県 1名、愛知県 4名、富山県 1名、石川県 1名、京都府 3名、大阪府 13名、奈良県 2名、兵庫県 3名、岡山県 2名、愛媛県 2名、香川県 1名、福岡県 6名、鹿児島県 1名	
ICU入室時期(平均±SD)	平均 3.5±1.7年前 ● 1年前 20名(19.0%) ● 2年前 7名(6.7%) ● 3年前 23名(21.9%) ● 4年前 24名(22.9%) ● 5年前 15名(14.3%) ● 6年前 16名(15.2%)	
ICU滞在日数(平均±SD)	3.3±3.3日	
ICU入室経緯	● 事前説明を受けたうえで入室 ● 事前説明を受けずに緊急で入室 ● 分からない	53名 (50.5%) 49名 (46.7%) 3名 (2.9%)
ICU入室経路	● 手術室からICUへ移動 ● 病室からICUへ移動 ● 緊急搬送 ● その他	63名 (60.0%) 3名 (2.9%) 36名 (34.3%) 3名 (2.9%)
ICU滞在中の人工呼吸器装着の有無	● 装着 ● 非装着 ● 分からない	22名 (21.0%) 77名 (73.3%) 6名 (5.7%)
ICU入室時期における睡眠薬の日常的な服用	● ICU入室以前から日常的に服用 ● ICU滞在中から日常的な服用を開始 ● ICU退室後に日常的な服用を開始 ● 日常的には服用していない ● 服用していない ● 分からない	9名 (8.6%) 5名 (4.8%) 4名 (3.8%) 23名 (21.9%) 63名 (60.0%) 1名 (1.0%)

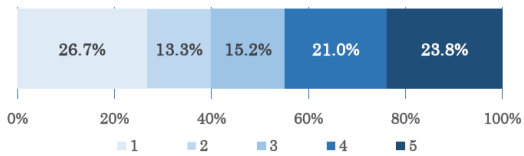


図 1-a 最も症状が重かったときの痛みの程度 (n=105)

保護方針では，調査会社が本論文の筆者らにアンケート回答者個人が特定できる情報を渡さないことが明記されており，筆者らは当該情報を受け取っていない．またアンケートへの回答は任意であり，回答を希望しない場合や不快に感じた場合は途中で中止でき，回答途中の内容は消去されることを明記した．

調査項目は，ICU 入室経験の有無，入室した ICU の所在地，ICU 入室者の基本情報 (性別，年代，職業)，ICU に入室した時期，ICU への入室経緯 (事前説明を受けたうえで入室した，緊急で入室した，わからない，の選択式)，ICU への入室経路 (病室から，手術室から，救急搬送，その他，わからない，の選択式)，ICU 滞在日数，ICU 入室中の記憶の程度 (全く覚えていない，から，鮮明に覚えている，の 5 段階評価)，ICU 入室中の人工呼吸器の有無，ICU 入室中において症状が最も重かったときの痛みの程度 (痛くない，から，痛い，までの 5 段階評価) 睡眠薬の服薬状況 (ICU 入室以前から日常的に服用していた，ICU 入室中に日常的な服用を始めた，ICU 退室後に日常的な服用を始めた，日常的には服用していない，服用していない，わからない，の選択式)，ICU 滞在中・退室後における睡眠障害の有無，ICU 入室中に感じたこと (死の恐怖，不安感，不快感それぞれについて 3 段階評価)，ICU の室内環境 (音，光，におい) に対する評価，医療従事者に対する満足度，治療の総合的な満足度，ICU 退室後の心理面での変化，ICU 退室後の身体的な後遺症の有無，ICU 入室を契機とした職業変化の有無，とした．

回答者数は 540 名であった．回答者のうち，過去 6 年以内に ICU に入室した経験があり，かつ ICU 滞在中の記憶が比較的鮮明な 105 名を解析対象とした．解析対象者の回答結果から，ICU 入室

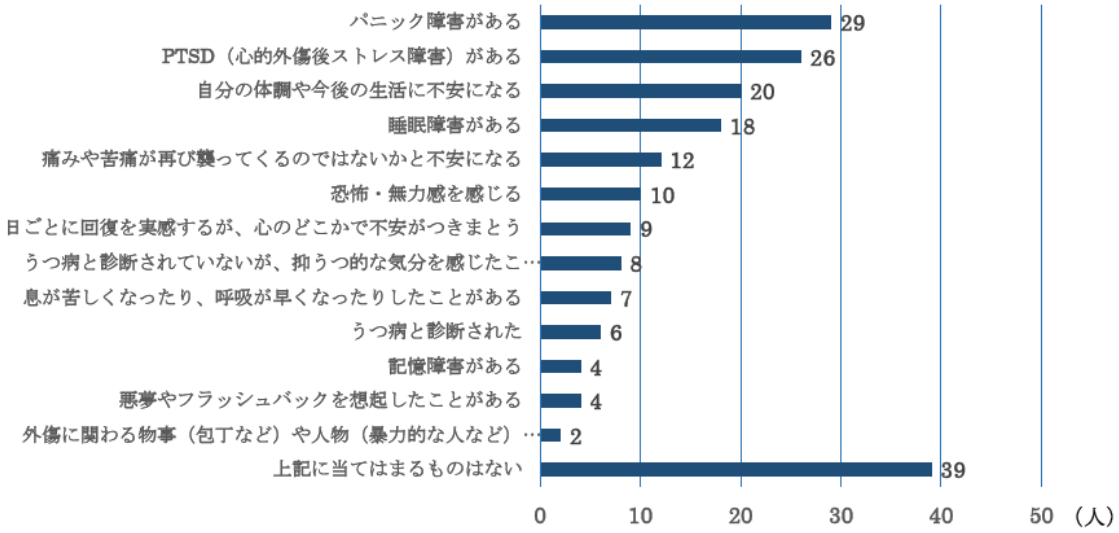


図 1-b ICU 退室後の心理面での変化 (n=105)

時期，ICU 滞在日数，年齢，性別，ICU 入室当時の睡眠薬の服用状況，ICU 入室経緯，ICU 入室経路，人工呼吸器装着の有無，痛みの程度，死の恐怖の有無，不安感の有無，不快感の有無，周囲の音が気になった，においが気になった，周囲の光が気になった，(以下「各因子」) を説明変数として各種分析・検定を行った．なお，今回の検討では，あらかじめ設定された選択肢から回答を選ぶ形式の設問に対する回答結果のみを解析した．

解析は，各因子と患者満足度等との関係については重回帰分析，二項ロジスティック回帰分析，多項ロジスティック回帰分析にて行い，群間差については χ^2 検定，Mann-Whitney U 検定にて検定し，いずれも $p < 0.05$ を有意水準とした．

結　果

●解析対象者の背景

解析対象者の背景を表 1 に示す．　解析対象者 105 名の年齢は 30〜87 歳 (平均年齢 59.4 ± 10.9 歳) であった．ICU 治療を受けた医療施設の所在地は 23 都道府県に分散していた．ICU 入室時期は平均 3．5 ± 1.7 年前で，平均 ICU 滞在日数は 3.3 ± 3.3 日であった．ICU への入室経緯は，事前説明を受けたうえで入室したケースと事前説明を受けずに緊急で入室したケースがそれぞれ約半数であった．ICU への入室経路は手術室からが 63 名 (60 %) で最も多く，次いで緊急搬送 36 名 (34.3 %) 等の順であった．ICU 滞在中，人工呼吸器を装着していたのは 22 名 (21.0 %) であった．ICU 入室以前から睡眠薬を日常的に服用していたのは 9 名 (8.6 %) であり，また 5 名 (4.8 %) は ICU 滞在を契機に睡眠薬の日常的な服用が始まった．

ICU 滞在中，症状が最も重かった時の主観的な痛みの評価 (以下，「痛みの程度」) を 5 段階に分けて尋ねた結果を図 1-a に示す．「1 痛くなかった　28 名 (26.7 %)，2 が 14 名 (13.3 %)，3 が 16 名 (15.2 %)，4 が 22 名 (21.0 %)，「5 痛かった」が 25 名 (23.8 %) であった．

ICU 退室後の心理面での変化 (パニック障害，PTSD 等) について尋ねた結果を図 1-b に示す．105 名中 29 名 (27.6 %) が「パニック障害がある」，26 名 (24.8 %) が「PTSD(心的外傷後障害) がある」，14 名 (13.3 %) が「うつ病と診断された」，4 名 (3.8 %) が「記憶障害がある」等と回答した．心理的変化がなかった患者は 39 名 (37.1 %) にすぎなかった．これら心理面の変化に関連

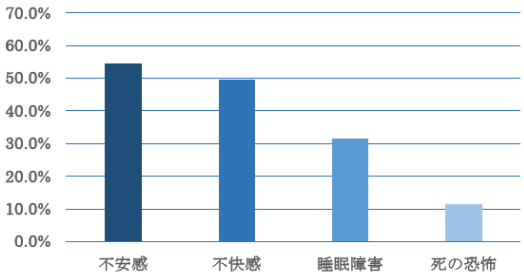


図 2-a ICU 滞在中に感じたこと（n=105）

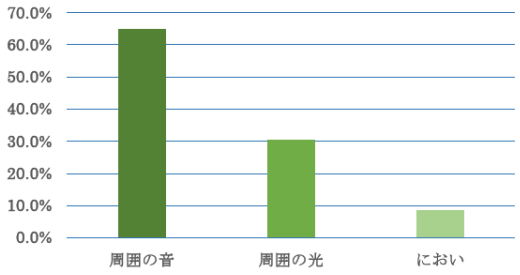


図 2-b ICU 滞在中に気になったこと（n=105）

する因子について，各因子を説明変数としてロジスティック回帰分析にて解析したところ，「年齢」($p = 0.0441$)，「人工呼吸器装着の有無」($p = 0.0176$)，「不安感」($p = 0.0431$) が有意な因子であった．

● ICU 滞在中に感じたこと，気になったこと

ICU 滞在中に感じたこと，気になったことを尋ねた結果を図 2-a, b に示す．

この設問は複数回答可とした．105 例中 57 名 (54.3 %) が「不安感」，52 名 (49.5 %) が「不快感」，また 33 名 (31.4 %) が「睡眠障害」と回答した．ICU 内の環境に関して気になったこととして，68 名 (64.8 %) は「周囲の音」を，32 名 (30.5 %) は「周囲の光 (ライトの明かり等)」，9 名 (8.6 %) は「におい」を挙げた．

上記の項目のうち，ICU 滞在中に最も気になったこと (気がかりだったこと) を尋ねた結果を図 2-c に示す．最も多かったのは「不快感」(23 名，21.9 %) で，次いで「不安感」(22 名，21.0 %)，「睡眠障害」(12 名，11.4 %) 等の順であった．

● ICU 滞在中の睡眠障害

ICU 滞在中に気になったこととして「睡眠障害」

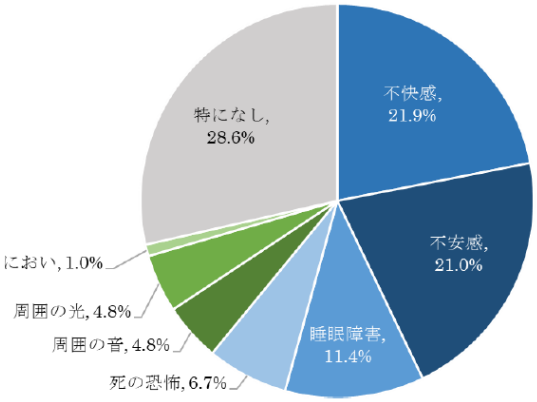


図 2-c ICU 滞在中，最も気になったこと（n=105）

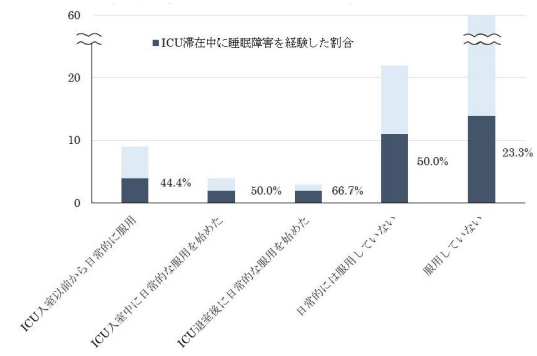


図 3-a 睡眠薬の服用状況と ICU における睡眠障害（n=98）

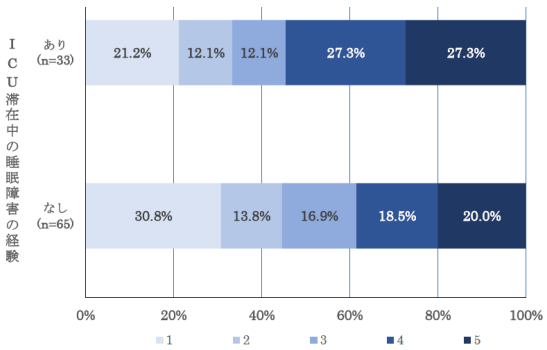


図 3-b ICU 滞在中の睡眠障害の有無別にみた最も症状が重かったときの痛みの程度（n=98）

の回答が一定数存在したため，睡眠障害とその他因子について解析を行った．まず，睡眠薬の服用状況と ICU における睡眠障害の解析結果を図 3-a に示す．ICU 入室時点で睡眠薬を日常的には服用

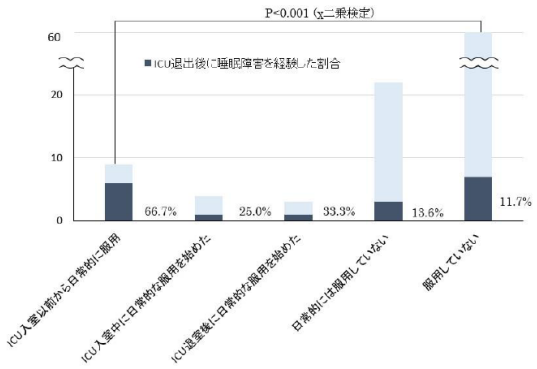


図 4-a 睡眠薬の服用状況と ICU 退室後の睡眠障害 (n=98)

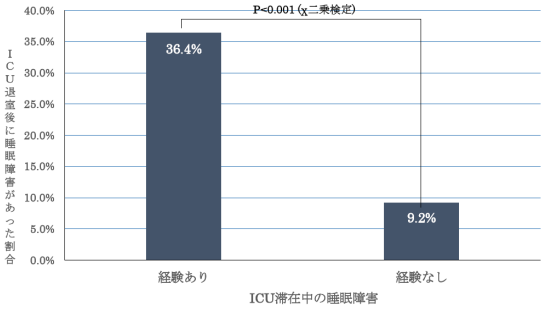


図 4-b ICU 滞在中の睡眠障害と ICU 退室後の睡眠障害の有無 (n=98)

していない群で 50.0 %，また服用していない群でも 23.3 %が ICU 滞在中に睡眠障害を経験している．

次に ICU における睡眠障害の有無と最も症状が重かったときの痛みの程度について解析した結果を図 3-b に示す．睡眠障害を経験した群としなかった群との間で，痛みの強さに有意な差を認めた ($p < 0.001$)．

● ICU 退室後の睡眠障害

次に，睡眠薬の服用状況と ICU 退室後の睡眠障害の解析結果を図 4-a に示す．

ICU 入室前から睡眠薬を日常的に服用していた群は睡眠薬を服用していない群に比べて，ICU 退室後に睡眠障害を経験した割合が有意に高かった (ICU 入室前から日常的に服用していた群 66.7 %，服用していない群 11.7 %，$p < 0.001$)．また ICU 入室時点では睡眠薬を日常的には服用していない，または服用していない患者においても，10 %程度が退室後に睡眠障害を経験していることがわかった．ICU 退室後における睡眠障害と関連する因子について，各因子を説明変数としてロジスティック回帰分析にて解析したところ，ICU 入室当時の睡眠薬の服用状況 ($p = 0.0015$)，「ICU 滞在中における睡眠障害の経験の有無」($p = 0.0134$)「人工呼吸器装着の有無」($p = 0.0216$) が有意な因子であった．ICU 滞在中の睡眠障害の有無別に見た，

ICU 退室後に睡眠障害があった割合を図 4-b に示す．ICU 滞在中に睡眠障害の経験あり群では，退室後に睡眠障害があった割合が 36.4 %，経験なし群では 9.2 %であり，群間差は優位に認められた．

● ICU 内での音

ICU 滞在中に気になったこととして最も回答数の多かった「周囲の音」について，具体的には「医療機器のアラーム音」47 名 (44.8 %)，「医療機器の稼働音」38 名 (36.2 %)，「看護師・医師等の医療従事者の声」36 名 (34.3 %)，「ベッドサイドでの各種処置音」21 名 (20 %)，「人工呼吸器や透析等の電子機器音」9 名 (8.6 %)，「ベッドや機器の移動音」9 名 (8.6 %)，「ゴミ箱の開閉音」1 名 (1.0 %)，「水道・水場周りの音」1 名 (1.0 %)，「その他」12 名 (11.4 %)，「音の内容の区別はできなかった」3 名 (2.9 %) であった．「その他」として他の患者や家族の話し声や他の患者のうめき声やいびき，他の患者が聴いている音楽等が挙げられた．

●医療従事者に対する満足度

次に，ICU 滞在中における医療従事者に対する評価を尋ねた結果を図 5-a に示す．

「満足」は 27.6 % (29 名)，「概ね満足」は 48.6 % (51 名)，「普通」は 15.2 % (16 名)，「概ね不満足」は 6.7 % (7 名)，「不満足」は 1.9 % (2 名) であった．

ICU 滞在中における睡眠障害の経験について「分からない」と回答した 7 名を除く 98 名を対象に，ICU 滞在中の睡眠障害の経験の有無別に医療

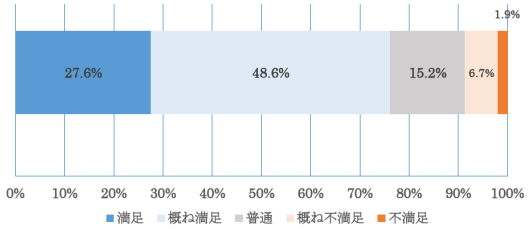


図 5-a ICU における医療従事者に対する評価 (n=105)

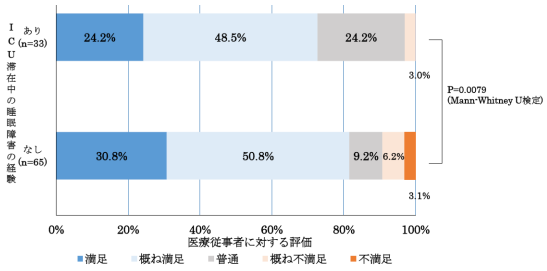


図 5-b ICU 滞在中の睡眠障害の有無別にみた医療従事者に対する評価 (n=105)

従事者に対する評価を検討した結果を図 5-b に示す.

睡眠障害を経験した群と経験しなかった群との間で医療従事者への評価に有意な差が認められた ($p = 0.0079$). ICU 滞在中に睡眠障害の経験あり群では, 医療従事者に対する評価において「満足」または「概ね満足」の合計が 72.7 %, 経験なし群では, 81.6 %であった.

ICU 滞在中における医療従事者に対する評価に関連する因子について, 各因子を説明変数として重回帰分析を行ったところ,「周囲の音が気になった」が有意な因子であった ($p = 0.0108$). そこで, ICU 滞在中における医療従事者に対する評価に関連する音の種類を解析したが, 有意に関連する音の種類は特定できなかった. ただし,「看護師・医師等の医療従事者の声」が気になったとの回答と医療従事者に対する評価は相関し ($p < 0.001$),「不満足」と回答した群は「満足」と回答した群に比べて医療従事者の声が「気になった」との回答率が有意に高く, 全例が「気になった」と回答した.

また, 医療従事者への評価を痛みの程度別に検討した結果を図 5-c に示す.「痛くなかった」と

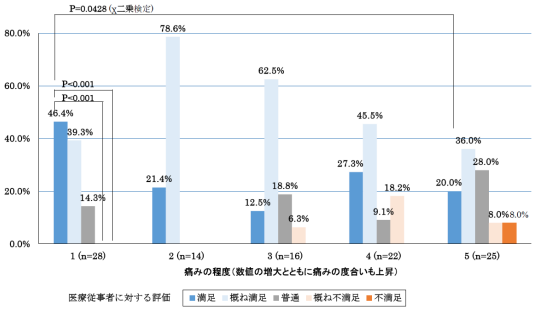


図 5-c ICU 滞在中の痛みの程度別にみた医療従事者に対する評価 (n=105)

回答した群は「痛かった」と回答した群に比べて「満足」が有意に多かった ($p = 0.0428$).

● ICU における治療の総合的な満足度

ICU における治療の総合的な満足度を尋ねた結果を図 6-a に示す.「満足」は 25.7 % (27 名),「概ね満足」は 46.7 % (49 名),「普通」は 22.9 % (24 名),「概ね不満足」は 4.8 % (5 名),「不満足」は 0 % (0 名) であった.

ICU 滞在中の睡眠障害の経験の有無別に ICU における治療の総合的な満足度を検討した結果を図 6-b に示す. ICU 滞在中に睡眠障害を経験した群は経験しなかった群に比べて,「満足」または「概ね満足」の割合が有意に低かった ($p < 0.001$). ICU における治療の総合的な満足度に関連する因子について, 各因子を説明変数として重回帰分析を行ったところ,「ICU 滞在中における医療従事者への評価」($p < 0.001$),「ICU への入室をきっかけとした転職の有無」($p = 0.0138$) が有意な因子であった.

また, 総合的な満足度を痛みの程度別に検討した結果を図 6-c に示す. 痛みの程度が「痛くなかった」と回答した群は「痛かった」と回答した群に比べて「満足」の割合が有意に高かった ($p = 0.033$).

考　察

今回の解析対象者は先行研究での報告 [1,2] と同様に, ICU 退室後に心理面での負の影響を受けていることがわかった (図 1-b). また今回の調査により, ICU 入室前は睡眠障害がなかったにもかかわらず, ICU 退室後に睡眠障害を経験した患者が

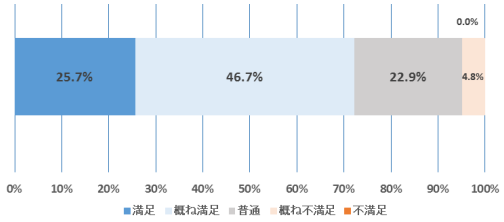


図 6-a ICU における医療の総合的な満足度 (n=105)

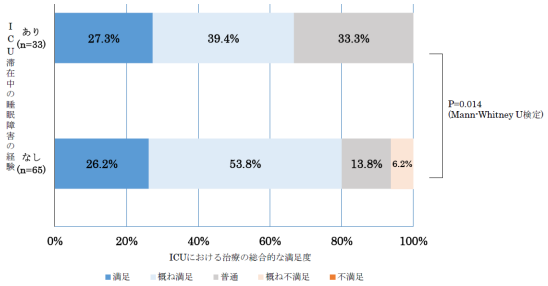


図 6-b ICU 滞在中の睡眠障害の有無別にみた ICU 治療の総合的な満足度 (n=105)

一定数存在することが明らかになった (図 3-a). ICU 退室後の患者状態を改善するために ICU 滞在中の介入方法および ICU 環境への配慮を検討することは重要であることが示唆された.

患者の睡眠障害に着目して解析したところ, ICU 滞在中における睡眠障害の経験の有無により, ICU における治療の総合的な満足度および医療従事者に対する評価に差が認められた (図 5-b, 6-b). また ICU 滞在中の睡眠障害の経験は ICU 退室後の睡眠障害にも関与することが示唆されたことから, ICU 滞在中の睡眠障害を抑制することが重要であると考えられる. ICU 滞在中の睡眠障害に関与する因子として, ICU 滞在中の「死の恐怖」や「不快感」,「周囲の音」(他の患者・家族の話し声やうめき声, いびき等) が挙げられた. ICU 入室時は患者の状態により, 従来から服用していた睡眠薬を服薬できないケースもあると考えられるので, これらの因子による影響は今後の研究で明らかにするべきである. また, ICU 入室前から睡眠薬を日常的に服用していた群は, 服用していなかった群に比べて ICU 滞在中に睡眠障害を経験した割合が有意に高かった (図 3-a). 非 ICU 患者を対象

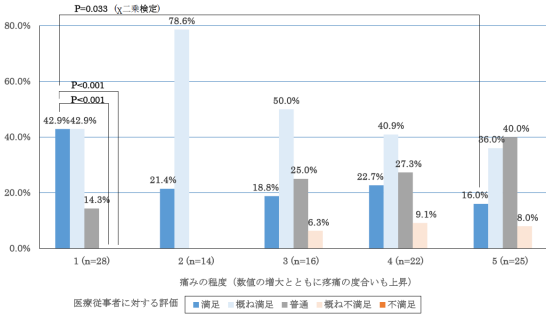


図 6-c ICU 滞在中の痛みの程度別にみた ICU 治療の総合的な満足度 (n=105)

とした検討であるが, 入院患者の 32.3 %は睡眠薬を服用し, その 59.7 %は入院前は睡眠薬を服用していなかったと報告されている [6]. 今回の解析では 4.8 %が ICU 入室を契機に睡眠薬の日常的な服用が始まったと回答している. 一方, ICU 入室前から睡眠薬を日常的に服用していた群は ICU 滞在中に睡眠障害を経験した割合が有意に多かったことから, 睡眠障害のハイリスク群に対して ICU 入室時から十分な対策を講じることが重要であると考えられる.

ICU 内の環境因子として, ICU 内の音は ICU 滞在中の医療従事者に対する評価と有意に関連した. 単一施設内での検討ではあるが, 藤岡らは ICU 患者の 72 %が環境音が気になったと報告し, その音としてアラーム音, 他の患者の声, 医療従事者の話し声, 不明な音等を挙げている [3]. 今回の解析では, 患者の 64.8 %は「周囲の音」が気になったと回答し,「気になる周囲の音」では「医療機器のアラーム音」,「医療機器稼働音」,「看護師・医師等の医療従事者の声」等の割合が高く, 藤岡らの報告と類似した結果となった. 今回は音の種類のみの調査であったが, 今後は音を周波数帯, 音量 (dB), 持続時間等に分類して調査をすることが考えられる. 医療機器の音に対策を講じることは困難であるが, さらなる調査の結果によっては, ICU 入室時の看護方法の検討により, 患者に対する音の影響を減少させられる可能性がある. なお, 黒田らは, 音について説明をすることで, その音に対する患者の否定的な印象が減少するこ

とを報告しており[6]，参考になると思われる．

今回の解析において，痛みの主観的な評価を 5 段階で行ったところ，4，5(痛い) の回答が 44.8 %存在した (図 1)．また痛みの強さは ICU 滞在中の睡眠障害とも関連することが明らかになった (図 3-b)．また，痛みの程度によって ICU 滞在中における医療従事者への評価および ICU における治療の総合的な満足度に差がみられた (図 4-c, 5-c)．以上より ICU 滞在中における疼痛コントロールの改善により，ICU 滞在中および退室後の睡眠障害の抑制に有用であることが示唆された．ICU 入室中の患者は痛みを訴えられないケースもあると考えられるため，ICU においてはより適切な疼痛コントロールを検討する必要がある．

先行研究[8]においても，睡眠障害と疼痛，音は患者の ICU 滞在に対する評価に関連することが示されており，これらの項目を改善することが今後の ICU 治療で求められる．

今回の解析は，ICU 入室時期が 6 年前までで，かつ ICU 滞在中の状態や状況を比較的記憶している 105 名を対象としたが，ICU 入室時期が 4〜6 年前の回答者が半数以上を占めていた．日数の経過とともに，記憶が増幅されることもあり，この点が本検討における限界の一つである．また，今回の解析において ICU 滞在中の患者の病状は，痛みや後遺症の有無等からある程度推測できるものの，医療者側からの評価はなく，必ずしも正しく評価したものとはいえない．この点も本検討の限界である．

結　語

ICU 滞在中における睡眠障害の経験の有無によって，ICU における治療の総合的な満足度および医療従事者に対する評価に差がみられた．また ICU 滞在中の睡眠障害は患者の主観的な痛みの評価および ICU 退室後の睡眠障害の有無と関係していた．このことから，患者の ICU 退室後の睡眠障害を抑制するためには，ICU 滞在中に睡眠および疼痛を適切に管理することが必要である．

ICU 滞在中症状が最も重かった時の痛みの程度よって ICU における治療の総合的な満足度および医療従事者に対する評価に差が認められた．そのため，ICU 滞在中の疼痛コントロールの改善は，ICU 滞在中の睡眠障害の抑制のみならず，ICU における治療の総合的な満足度および医療従事者に対する評価を向上させるうえで重要であると考えられる．

ICU 内の環境については，音が気になるという回答が多かった．音は ICU における医療従事者の評価と相関が見られた．ICU 内の音については先行研究が複数報告されており，改善すべき環境因子であると考えられる．

今回の調査は患者の主観的な評価に基づき行われたものであり，調査結果に限界はあるものの，本調査から示唆される内容は今後検討の余地があるものと考えられる．

開示する利益相反はない．

引用文献

1. Dimitry S. Davydow, M.D. et.al., Posttraumatic Stress Disorder in General Intensive Care Unit Survivors: A Systematic Review, Gen Hosp Psychiatry, 2008;30(5):421-434
2. 福田友秀, 井上智子, 佐々木吉子, 他: 集中治療室入室を経験した患者の記憶と体験の実態と看護支援に関する研究. 日本クリティカルケア看護学会誌. 2013; 9: 29-38.
3. 藤岡香織, 田中美知代, 長谷目水慧, 他: ICU の療養環境改善への課題〜ICU の音環境に対する患者と看護師の意識調査を実施して〜. 山口大学医学部附属病院看護部 看護研究集録. 2014; 25: 72-77.
4. 櫻木靖子, 三谷恵子, 村上由香里, 他: ICU の看護ケアに対する患者満足度の調査. 山口大学医学部附属病院看護部研究論文集. 2010; 85; 16-21.
5. 木下佳子, 井上智子: 集中治療室入室体験が退院後の生活にもたらす影響と看護支援に関する研究－ICU サバイバーの体験とその影響－. 日本クリティカルケア看護学会誌. 2006; 2; 35-44, 2006.
6. 黒田裕子, 深井喜代子, 大倉美穂, 他: 看護行為で発生する音認識の調査条件と対象の違いによる相違. 川崎医療福祉学会誌. 2001; 11(1): 75-82.
7. 石田宜子, 青山ヒフミ, 井上智子: 入院患者の睡眠薬使用や看護ケアに対する認識. 人間と科学 県立広島大学保健福祉学部誌. 2008; 8(1): 79-87.
8. A. Little et. al., A patient survey of sleep quality in the Intensive Care Unit, Edizioni Minerva

Medica, 2012 April:78(4):406-14

ABSTRACT

Factors influencing patients' overall satisfaction with critical care received in an intensive care unit:
A nationwide cross-sectional Internet survey of former ICU patients

Tomonari Ogawa[1)], Yoshifumi Oshima[2)], Kousuke Yamada[2)], Akihiko Kawakami[2)]

An Internet-based questionnaire survey of patients who had been admitted to an intensive care unit (ICU) was conducted to investigate factors influencing their satisfaction with ICU care. One hundred and five former ICU patients responded. Overall satisfaction was significantly lower among those who had sleep disturbance during their ICU stay, and noise and disturbed sleep in the ICU influenced patients ' satisfaction with ICU staff. Also, the severity of pain led to differences in overall satisfaction and opinions regarding ICU staff. Our findings indicate that measures addressing noise and sleeping disturbance in ICUs as well as pain management are important for improving patients ' satisfaction with ICU care.

Key words:
ICU, indoor environment, sleep disturbance, pain management

1);VANTAGE CLINIC HIROO,
2);Mitsubishi Research Institute, Inc.

Key words:
ICU, indoor environment, sleep disturbance, pain management 集中治療室，室内環境，睡眠障害，疼痛管理 ICU, indoor environment, sleep disturbance, pain management

連絡先
山田浩祐
郵便番号・住所：〒 100-8141 東京都千代田区永田町 2-10-3 株式会社三菱総合研究所ヘルスケア・ウェルネス事業本部
電話番号：03-6705-6025, FAX 番号：03-5157-2143
E-mail：yooshima@mri.co.jp

特別寄稿：　吸入麻酔薬の時代としての昭和
―宮﨑正夫先生を偲ぶ会の講演から―

小栗顕二

吸入麻酔薬のエーテルやクロロホルムあるいは笑気が日本に導入されたのは明治維新前後であるが，それを使用する技術が伴っていなかったので余り流布しなかった．昭和も第二次世界大戦直前から昭和 45 年 8 月 15 日の日本の敗戦までは，いわば鎖国のような状態で，西洋医学の導入はほとんど途絶えていた．近代的な欧米の麻酔技術の導入は，敗戦後占領軍が進駐してきた GHQ の肝煎りで 1950 年 (昭和 25 年) 日米連合医学者協議会が開催されて Dr. M. Saklad によって紹介された近代麻酔の講話以降である．それにより，外科治療に麻酔の近代的な技術の導入が急務であるという意識が高くなって外科医の中から麻酔を主とする医師が出来て，1954 年 (昭和 29 年) には日本麻酔学会が設立された．当初，麻酔は麻酔担当外科医が行っていたが 1952 年 (昭和 27 年) に東大に麻酔科が出来て山村助教授が専任となったのが，麻酔科医の始まりで以後各大学に麻酔学教室が出来始めた．当時の麻酔科医は殆ど外科系各科の麻酔班であった医師が麻酔科医に転向したわけである．それでも日本麻酔学会の学術大会で麻酔科医が会長になったのは第 6 回からである．1965 年 (昭和 40 年) 麻酔科標榜医制度が出来て，一定期間・一定症例数の経験が資格として必要になったため，それを指導する麻酔科医が必要ということになって麻酔指導医制度が出来た．麻酔指導医の試験官にはお手盛りで 8 人の教授たちがなったことが当時問題になったこともあった．私も整形外科医からの転向で麻酔科医になった．私の恩師である恩地 裕先生は当時奈良医大整形外科教授でありながら，米国の麻酔専門医資格を持っておられ，当時日本の麻酔専門書が皆無であった時代に「麻酔の反省」(昭和 30 年発刊)[1] という名著を出版され，奈良医大の整形外科教室には麻酔の臨床と研究だけを習いに来る先生方が多数入門されていた状況であった．

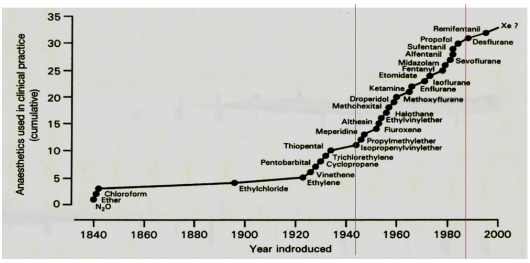


図 1 麻酔薬の導入された年代
B.W. Urban & M. Bleckwenn: 2002

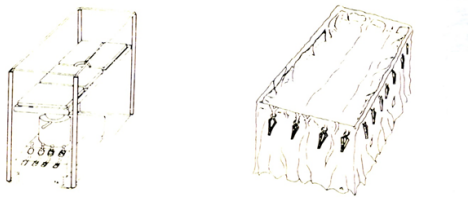
私は現在の学制からすると大学 4 年生から奈良医大整形外科教室で業室研究生という制度で研究に携わっていたので，卒後の大学院での臨床と研究を含めて，整形外科の臨床と研究，麻酔学の臨床と研究の豊富な指導を受ける機会があった．その恩地先生が昭和 40 年に阪大の初代麻酔科教授に就任され，昭和 41 年 4 月に，恩地先生の誘いで，阪大麻酔学教室に入局した時には，既にかなりのエーテルの Open-drop による小児麻酔の経験 (主に腸重積の整復と先天性股関節脱臼の幼児のギプス) とハロタンによる成人の麻酔の経験があり，研究では相当量のサイクロプロパンをつかっていた．

麻酔科医として専従しはじめた頃はほとんどの症例はハロタン麻酔になり，エーテルを使用することが無くなった．エーテルを使わなくなった最大の理由は可燃性があることで，当時から始まった関西の麻酔科医が持ち寄る症例検討会ではまだ麻酔中の爆発事故や火災事故が時々報告されていた．エーテルの気道刺激性と覚醒が遅いといった欠点は確かにあったが，麻酔のテクニックでカバー

香川医科大学 名誉教授

方　法	完全循環停止時間	前投薬	麻　酔	冷却法	補助循環	適　応	モニター
軽度低体温麻酔法[1] 30℃以下	3～9分	一般前投薬＋ピレチア　クロルプロマジン	NLA 麻酔 モルフィン 笑気・酸素・ハロタン	①体表面冷却法 氷嚢(大血管)冷却ブランケット 氷水浸漬法 空気冷却法	①不要	心・大血管手術 脳外科手術	①体温 食道温 直腸温 ②脳波 ③心電図 ④動脈圧 観血的 ⑤中心静脈圧 ⑥尿量 ⑦血液ガス ⑧血清電解質 ⑨ヘマトクリット
中等度低体温麻酔法[2] 30～25℃	9～15分		笑気・酸素・エーテル 非脱分極性筋弛緩薬（効果弱い）	②体外循環冷却法	②要		
高度低体温麻酔法[3] 25～18℃	15～45分			③体腔冷却法	③不要	直視下心臓手術	
超低体温麻酔法[4] 18℃以下	45～60分		笑気・酸素・エーテル（京都府立医大方式）	体表面冷却法 氷水浸漬法（京都府立医大方式）	不要		

表 1 低体温麻酔



通常の手術台の少雨医のフレームは鉄棒とステンレスパイプで作られている。水槽は木綿の大きな手術被布と厚目のビニルシートで作られている。手術台は冷却水槽と加温水槽として設定されている。まず、手術台を最高位にギャッジアップし、薄いビニルシートを敷きその上に患児を横たえる。エーテル麻酔の導入後患児をビニルシートで包んだ後、手術台を降ろし、水槽として使用する。

図 2a エーテル単純超低体温手術台と術中エーテル血中濃度

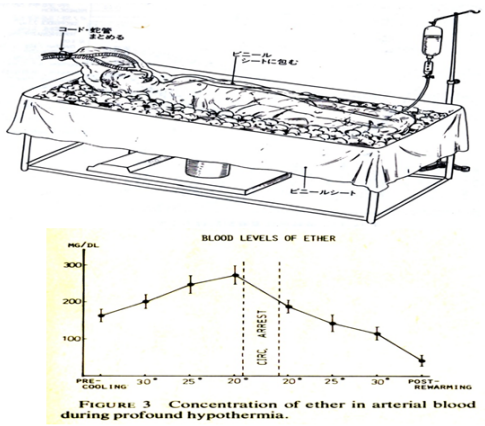


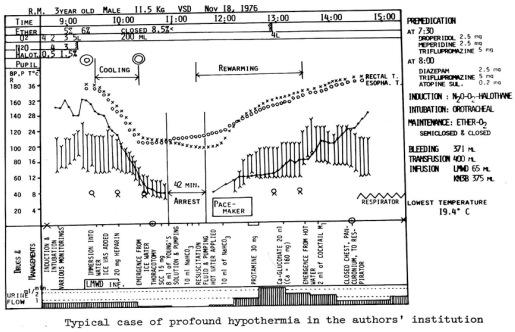
FIGURE 3 Concentration of ether in arterial blood during profound hypothermia.

$$4K_2Cr_2O_7 + 20\,H_2SO_4 + 3(C_2H_5)_2O = 6CH_3COOH + 8KHSO_4 + 4Cr_2(SO_4)_3 + 19H_2O$$

図 2b エーテル単純超低体温手術台と術中エーテル血中濃度

京都府立医大での小児（2-3歳15kg以下）の超低体温麻酔

1970年代、222例（死亡率11.3%）　M. Miyazaki, K. Yoda, Y. Tanaka, Y. Tsukawaki& K. Ogli : 1980



Typical case of profound hypothermia in the authors' institution

図 3 エーテル単純超低体温麻酔チャートと死亡率

できる上にエーテルの心・循環に対する安定性はハロタンの比較にならない利点で，以後の麻酔薬の開発の歴史からみても，開発者が如何にエーテル構造に信頼を置いていたかがうかがわれる．図 1[2]はこれまでに開発され，臨床使用され，淘汰されたほとんどの吸入麻酔薬と同時代に開発された静脈麻酔薬の年代グラフである．吸入麻酔薬の開発は圧倒的に昭和の時代に行われていることがわかる．

私は 7 年間阪大麻酔科にいて最後の 10 カ月ばかり麻酔のメカニズム研究の方法論の模索のために海外に出かけた後，1973 年 (昭和 48 年) 10 月 16 日に京都府立医大麻酔科に奉職した．奇しくもこの日は Ether day で，心なしかうれしい前途のような気持ちがした．

私が京都府立医大の麻酔の臨床に参加するようになって，驚いたのは，エーテルの深麻酔下に患児を氷水に浸けて 20 ℃以下の超低体温にし，心停止させて，人工心肺を使用せずに先天性心疾患の開心手術をしていたことである．もちろん自律神経遮断薬は用いていたが，エーテルを使うということになるほどと思った．ハロタンを使用すると体温が 31 度に下がろうものなら，たいてい心室細動が起こる．復温時も同じことが起こる．しかしエーテル麻酔ではそんなことは一度も起こらなかった．表 1，図 2，3，4，5 は当時発表した 2，3 の文献から転載した[3]．

私が当時からずっと不思議に思ってきたことは，

CASES OF OPEN-HEART SURGERY UNDER DEEP ETHER SIMPLE SURFACE HYPOTHERMIA

Diagnosis	No. of patients	Died
Atrial septal defect	68	1
Atrial septal defect with pulmonary stenosis	2	0
Atrial septal defect with patent ductus arteriosus	1	0
Ventricular septal defect	91	7
Ventricular septal defect with pulmonary stenosis	4	4
Ventricular septal defect with two chambered right ventricle	4	1
Ventricular septal defect with coarctation of the aorta	1	1
Left ventricle – right atrial communication	4	1
Pulmonary stenosis	14	0
Tetralogy of fallot	24	7
Endocardial cushion defect	6	2
Transposition of the great arteries	1	1
Double outlet right ventricle	1	0
Coronary A-V fistula	1	0
Total	222	25

図 4a エーテル単純超低体温麻酔症例の内訳

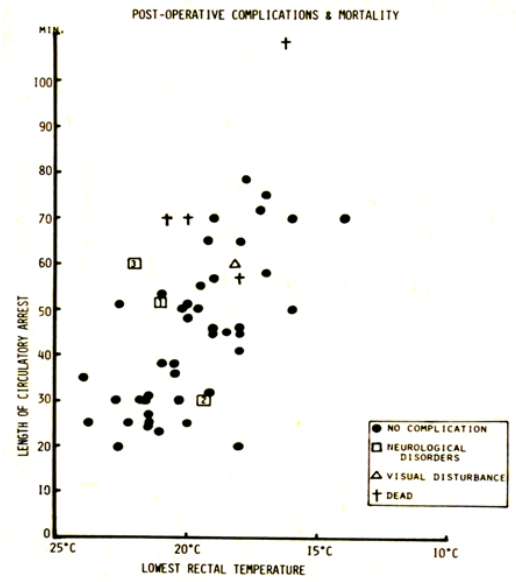


図 4b エーテル単純超低体温麻酔，心停止時間，死亡率，術後合併症 (最近 51 例)

は，このエーテルによる超低体温麻酔を受けた子供の血中濃度が意外に早く低下し，思ったよりも早く覚醒することであった．また，術後の合併症として見られた視力障害が 1 週間ほどして回復してくる子供もあるということであった．その時考えたのは麻酔中，気体状態で与えたエーテルは沸

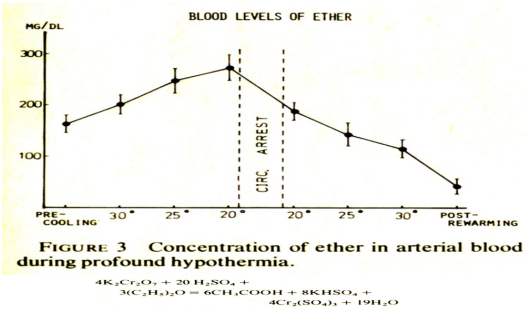


FIGURE 3 Concentration of ether in arterial blood during profound hypothermia.

$$4K_2Cr_2O_7 + 20\,H_2SO_4 + 3(C_2H_5)_2O = 6CH_3COOH + 8KHSO_4 + 4Cr_2(SO_4)_3 + 19H_2O$$

図 5 エーテル単純超低体温麻酔 血中エーテル濃度

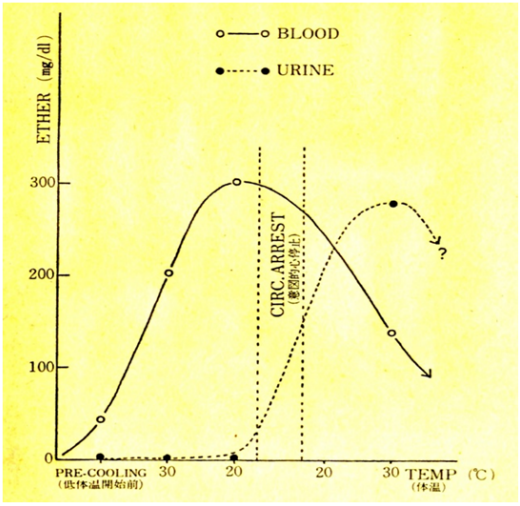


図 6 単純超低体温麻酔 血中・尿中エーテル濃度推移

エーテルは他の麻酔薬に比べて血液や水に非常によく溶けるという性質に基づいているので，ハロタンなどではこれほどにはなり得ない [4]．

点が 36 ℃であるから，20 ℃以下の子供の体内では液化するのではないか，液化したエーテルが視神経のミエリン鞘を溶かすために視力が障害されるのではないかと考えたが，細胞膜はすべて脂質膜でできているわけだから，視力障害だけで済まないだろう，とも思った．これらの知見を The Canadian Anesthetist's Society Journal に投稿した後，液化したエーテルが尿中に排泄されるのではないか，それで覚醒が早いのではないかと思いつき，尿中エーテルを血中エーテルと同じ方法で測定したところ，かなり高濃度のエーテルが排泄されている事がわった．この尿中濃度の測定結果は図 6[4] に示した．そして，現在もエーテルに

- エーテル構造の方がハロアルカン（代表的麻酔薬：ハロタン）より肝臓や心臓に優しい
- 水素原子は少なくとも1個は必要……水素原子が無くなると麻酔作用は非常に弱くなる
- 水素原子が多いと可燃性が増す
- 水素原子をフッ素に置き換えると不燃性が増すが、麻酔作用が減り、痙攣性が増す
- 水素原子を臭素に置き換えると沸点が上がる。沸点が高すぎると気化し難くなり麻酔作用が低下する
- 水素原子の近くに塩素原子があると化学的に不安定となり代謝率が上がる傾向がある
- 不整脈を起こす性質は F < Cl < Br < I の順に強くなる
- ハロゲン原子数が多くなるほど麻酔作用は増加し、オイル／水分配係数がおおきくなる
- ハロゲン原子の位置によって痙攣作用が見え隠れする ⟶ 吸入麻酔薬の痙攣性要素

表 2 戦後に開発された吸入麻酔薬の創薬の基本

表1　使用されなくなった吸入麻酔薬

	分子量	沸点	血液／ガス	オイル／ガス	燃性	CO_2 吸収剤	鎮痛	麻酔	代謝	
ジエチルエチル	74.12	34.6℃	12.1	65	○	○	1.5～3.0%	3.4～4.5%	5～10%	動物の麻酔薬としては現在も使用されている。
クロロホルム	119.38	61.2	10.3	265	×	○	0.2～7	1.0～2.0	5～8	
エチルクロライド	64.52	13.1	3.0		○	×	1.5	3.0～4.5	0	
エチレン	28.06	-103.8	0.14	1.3	○	○	20～50	80～90	a little	
サイクロプロパン	42.08	-32.86	0.457	11.2	○	○	3～5	25	0.5	
トリクロルエチレン	131.4	86.7	9.15	960	×	×	0.3～0.7	2～5	0	
ジビニルエーテル	70.09	28.3～31	2.8	54.6	○	○	0.2	2～4	?	
エチルビニルエーテル	72.1	35.8			○	○		4	0	
フルオキセン	126.4	43.2	1.34	47.7	○	○	0.3～0.6	2.5～5.0	11～15	
メトキシフルラン	164.97	104.65	10.2～14.6	825	×	○	excellent	0.16 (MAC)	54	腎毒性

表 3a 使用されなくなった吸入麻酔薬

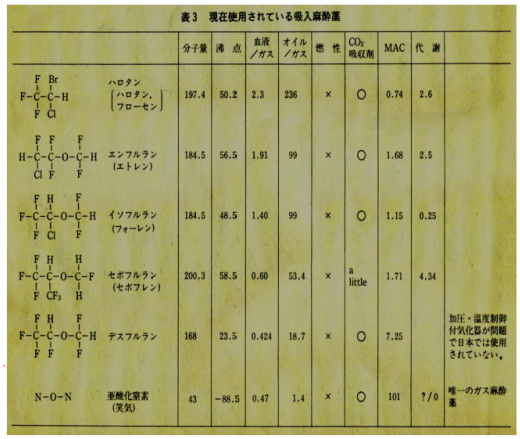


表3　現在使用されている吸入麻酔薬

	分子量	沸点	血液／ガス	オイル／ガス	燃性	CO_2 吸収剤	MAC	代謝	
ハロタン（ハロタン，フローセン）	197.4	50.2	2.3	236	×	○	0.74	2.6	
エンフルラン（エトレン）	184.5	56.5	1.91	99	×	○	1.68	2.5	
イソフルラン（フォーレン）	184.5	48.5	1.40	99	×	○	1.15	0.25	
セボフルラン（セボフレン）	200.3	58.5	0.60	53.4	×	a little	1.71	4.34	
デスフルラン	168	23.5	0.424	18.7	×	○	7.25		加圧・温度制御付気化器が問題で日本では使用されていない。
亜酸化窒素（笑気）	43	−88.5	0.47	1.4	×	○	101	?/0	唯一のガス麻酔薬

薬の顔―構造活性相関の話―27．吸入麻酔薬
小栗顕二、日本薬剤師会雑誌、1997（平成9年）．49.7.25-32.

表 3b 使用されている吸入麻酔薬

は不思議な印象を持ち続けている．エーテルほど

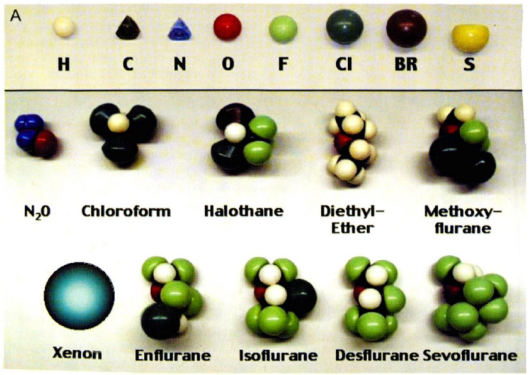


図 7a 吸入麻酔薬の分子式，分子量，CPK 模型

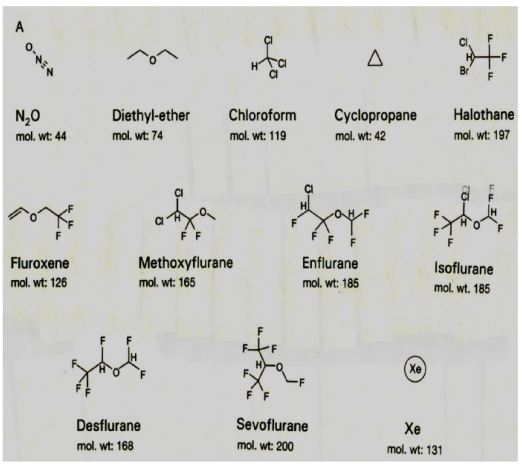


図 7b 吸入麻酔薬の分子式，分子量，CPK 模型

1 剤にして筋弛緩効果があり，鎮痛効果があり，心・循環に優しい麻酔薬はない．したがって，その後の吸入麻酔薬の創薬研究家が，エーテル構造を基本に据えたのは当然のことだと思われる．この創薬の基本についてまとめたのが表 2[5] で，それによって開発された吸入麻酔薬のうち，使われなくなったもの，生き残ったものが表 3[5] に示してある．吸入麻酔薬の分子モデルの図 7[2] をみると分子量は 200 以下で，生体分子に比べると比較的小さい．しかし，モル容量は 28 から 240 まで広範囲にわたっている．分子の形もまちまちで，双極子で両親媒性でもある．不活性気体といわれる Xe は 0.75 気圧で麻酔作用があるし，窒素は 29 気圧，クリプトンは 2.9 気圧，ネオンでも 88 気圧に加圧すれば麻酔作用があることが知られてい

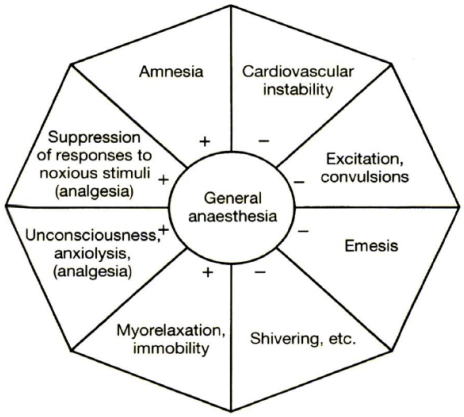


Fig 2 Components of general anaesthesia, those to be achieved and those to be avoided. Analgesia has been put in brackets because it is already included in other categories; if pain is defined as the conscious awareness of a noxious stimulus, then an unconscious patient may not perceive pain. Immobility includes the abolition of spontaneous movements.

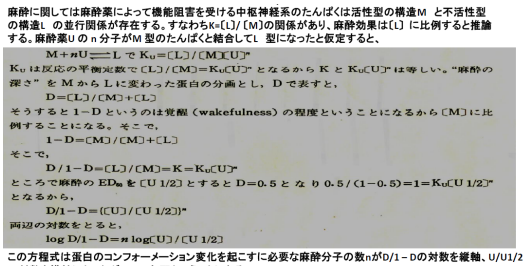
図 8 全身麻酔の有るべき要素と避けるべき要素 [2)]

る．通常の吸入麻酔薬ですら作用濃度がミリモルオーダーであるのに，高圧で作用の起こる不活性気体では，非常にたくさんの分子が活性中心にひしめいていることになり，その点からも特殊な受容体を想定し難い．

ところで，全身麻酔状態とはどういう状態なのかという議論は古くからなされていたが，麻酔薬がいろいろ紹介されてくるとその議論が盛んに検討されることとなった．図 8[2)] はその意見のひとつであるが，これは麻酔科医が全身麻酔状態に求めた理想の定義づけであって，本質的な麻酔状態を指摘しているものではないはずである．

兎に角，昭和の時代はこの理想を満足する吸入麻酔薬を追い求めることに注目してきた．そこで，吸入麻酔薬はいったい何処に働いているのかということに関心が集まるのは当然である．

H. Eyring はアロステリック酵素の反応速度式で用いる Hill 方程式の原理を麻酔薬の Dose-Response Curve に応用して 1973 年の Anesthesiology に Hill Plot という概念を紹介した．Hill number というのは，麻酔薬が作用するたんぱくの活性型 M に n 個の麻酔薬 U と反応すると不活性型 L が出来るという平行関係にあるという想定から求めている (図 9)[6)]．この処理方法を用い


麻酔に関しては麻酔薬によって機能阻害を受ける中枢神経系のたんぱくは活性型の構造M と不活性型の構造L の並行関係が存在する。すなわちK=〔L〕/〔M〕の関係があり、麻酔効果は〔L〕に比例すると推論する。麻酔薬U の n 分子がM 型のたんぱくと結合してL 型になったと仮定すると、

$$M + nU \rightleftarrows L \quad \text{で} \quad K_U = [L]/[M][U]^n$$

K_U は反応の平衡定数で〔L〕/〔M〕$= K_U[U]^n$ となるから K と $K_U[U]^n$ は等しい。"麻酔の深さ" を M から L に変わった蛋白の分画とし，D で表すと，

$$D = [L]/[M] + [L]$$

そうすると 1−D というのは覚醒（wakefulness）の程度ということになるから〔M〕に比例することになる。そこで，

$$1 - D = [M]/[M] + [L]$$

そこで，

$$D/1 - D = [L]/[M] = K = K_U[U]^n$$

ところで麻酔の ED_{50} を〔U 1/2〕とすると D=0.5 となり 0.5/(1−0.5)=1=$K_U[U\ 1/2]^n$ となるから，

$$D/1 - D = [U]/[U\ 1/2])^n$$

両辺の対数をとると，

$$\log D/1 - D = n \log[U]/[U\ 1/2]$$

この方程式は蛋白のコンフォーメーション変化を起こすに必要な麻酔分子の数nがD/1－Dの対数を縦軸、U/U1/2の対数を横軸にとったグラフの勾配ということになる。 H.Eyring et al : Anesthesiology 1973. 38: 415-24

図 9 麻酔薬の作用反応曲線における Hill plot の意味 [6)]

ると，たとえば私が実験した Euglena gracilis という単細胞生物の麻酔薬による増殖抑制は Hill number は 2 で，調べてみると核酸合成の抑制と微小管蛋白の重合阻害ということに尽きることがわかった [7)]．

それでは麻酔作用についてはどの程度の Hill number になるのだろうか．以下に 2 系統の純系マウスについての実験を示す．ddN というマウスは 20 代以上同腹交配させて遺伝因子として均一になることが証明された全身白いマウスで，C57BL というのは近交系の全身真っ黒い純系のマウスである．この 2 系統のマウスに種々の吸入麻酔薬をかけて Loss of Righting Reflex つまり，麻酔にかかったマウスを転がして起き上がるかどうかの反応を見て，Dose Response Curve を描かせて ED50 を求めた．ddN という系統は麻酔に強く，またエンフルラン麻酔中に Opisthotonus という強直性痙攣のような反応を一瞬起こすことがよくあるが，回避学習や迷路学習など学習能力に非常に優れている．C57BL は Opisthotonus を示さない．この二つの系統を掛け合わせて ddN が雌と雄の場合の F1 と F1', さらに，それらを掛け合わせた F2 を育てて，それぞれについてハロタン，エンフルラン，イソフルラン，セボフルラン麻酔下の Dose Response Curve から ED50 を求めると純系の親と交配した子供のそれがかなり異なることが分かった (表 4)．さらに，この Dose Response Curve から Hill plot して両親と雑種 1 代の Hill number を求めると (表 5)，数値も違えば数も多いということで，Loss of Righting Reflex を麻酔の

TABLE II: RIGHTING-REFLEX ED_{50}S OF INHALED ANAESTHETICS IN MICE (%ATM)

		ddN	C57BL
Enflurane		1.65 ± 0.01 (26)	1.19 ± 0.01 (16)*
	male	1.65 ± 0.01 (14)	1.17 ± 0.02 (9)
	female	1.66 ± 0.02 (12)	1.21 ± 0.01 (7)
Isoflurane		1.02 ± 0.01 (26)	0.74 ± 0.01 (16)*
	male	1.02 ± 0.01 (14)	0.73 ± 0.01 (9)
	female	1.01 ± 0.02 (12)	0.74 ± 0.01 (7)
Sevoflurane		2.29 ± 0.03 (23)	1.95 ± 0.03 (24)*
	male	2.26 ± 0.06 (11)	1.96 ± 0.05 (12)
	female	2.31 ± 0.03 (12)	1.95 ± 0.03 (12)
Halothane		0.97 ± 0.01 (24)	0.97 ± 0.01 (24)
	male	0.98 ± 0.01 (12)	0.96 ± 0.01 (12)
	female	0.95 ± 0.01 (12)	0.98 ± 0.01 (12)

Number of mice is shown in parentheses. Values are mean ± SEM.
* C57BL mice differ from ddN mice at significance levels of P <0.01

TABLE IV: RIGHTING-REFLEX ED_{50}S FOR ENFLURANE AND ISOFLURANE IN F1 HYBRIDS (%ATM)

		Total population	C57BL female x ddN male	ddN female x C57BL male
Enflurane		1.36 ± 0.02 (22)		
	male	1.33 ± 0.02 (10)	1.30 ± 0.01 (5)	1.37 ± 0.03 (5)*
	female	1.38 ± 0.01 (12)	1.39 ± 0.01 (5)†	1.37 ± 0.01 (7)
Isoflurane		0.79 ± 0.01 (22)		
	male	0.77 ± 0.02 (10)	0.73 ± 0.01 (5)	0.82 ± 0.01 (5)*
	female	0.80 ± 0.01 (12)	0.80 ± 0.01 (5)†	0.80 ± 0.01 (7)

Number of mice is shown in parentheses. Values are mean ± SEM.
* Significantly different from the male ED_{50}S of hybrids from C57BL female x ddN male, P <0.05
† Female differs from male at significance levels of P <0.05

表 4a Comparison of righting-reflex ED50 between ddN and C57BL (mice) and their F1, F2 Hyprids[8)]

TABLE V: RIGHTING-REFLEX ED_{50}S FOR ENFLURANE AND ISOFLURANE IN F2 MALE OFFSPRINGS (%ATM) AND THEIR EXPECTED GENOTYPES

F2 males from C57BL female x ddN male

No.	ED_{50}S for enflurane		ED_{50}S for isoflurane	
1	1.775		1.375	
2	1.750		1.100	
3	1.725		1.275	
4	1.675	(RY;RR)	1.375	
5	1.625	(RY;RR)	1.350	
6	1.525	(SY;RR)	1.225	
7	1.525	(SY;RR)	1.125	
8	1.500	(SY;RR)	0.975	(RY;RR) or (SY;RR)
9	1.475	(SY;RR) or (RY;RS)	0.975	(RY;RR) or (SY;RR)
10	1.450	(RY;RS)	1.050	(RY;RR)
11	1.450	(RY;RS)	1.025	(RY;RR)
12	1.300	(SY;RS)	0.900	(SY;RR)
13	1.225	(RY;SS)	0.775	(RY;SS) or (RY;RS) or (SY;RS) or (SY;SS)

F2 males from ddN female x C57BL male

No.	ED_{50}S for enflurane		ED_{50}S for isoflurane	
1	1.650	(RY;RR)	0.950	(SY;RR)
2	1.625	(RY;RR)	0.950	(SY;RR)
3	1.575	(SY;RR)	0.925	(SY;RR)
4	1.375	(RY;SR)	0.850	(RY;SS) (RY;RS)
5	1.325	(SY;SR)	0.800	(RY;SS) (RY;RS)
6	1.300	(SY;SR)	0.875	(RY;SS) (RY;RS)
7	1.300	(SY;SR)	0.775	(RY;SS) (RY;RS)
8	1.250	(RY;SS)	0.775	(RY;SS) (RY;RS)
9	1.225	(RY;SS)	0.725	(SY;RS) (SY;SS)

表 4b Comparison of righting-reflex ED50 between ddN and C57BL (mice) and their F1, F2 Hyprids[8)]

指標とした場合，中枢神経系の標的対象は多数であることがわかる [8)].

しかも，脳の意識にかかわる領域は麻酔下で deoxy-glucose の取り込みを見る限り，活動は低下していないし (表 6)[5)]，免疫化学的に脳の各部

TABLE III: HILL COEFFICIENTS (n) FROM DOSE-RESPONSE CURVE OF RIGHTING REFLEX

	Halothane	Enflurane	Isoflurane	Sevoflurane
Mice		n		
C57BL	39.9	26.5	26.3	39.9
F1	30.5	14.1	15.9	30.5
ddN	44.5	56.1	16.5	44.5

This shows that many factors relate to the mechanisms of anaesthetic actions.

表 5 マウスの Righting Reflex における吸入麻酔薬の用量・反応曲線にはどれだけのコンポーネントが関わっているか [8)]

TABLE I: GLUCOSE UTILIZATION (THE 2-C^{14}DEOXYGLUCOSE TECHNIQUE) IN LOCAL PARTS OF THE BRAIN IN SEVERAL ANAESTHETIC STATES[1]

	PB*	Althesin†	Ketamine‡	N_2O*	Halothane‡	Enflurane§	Isoflurane‖¶ 1.5%	0.5 MAC	2 MAC
Sensory motor cortex	↓	↓	↘	↗			↓	↓	↓
Caudate nucleus	↓	↓	↑	↗	↑		→	↓	↓
Globus pallidus	↓	↘	↑	↗			→	↘	↓
Hypothalamus	↘	↘	→	↗			↘	↘	↓
Thalamus	↓	↘		↑	↑			↓	↓
Auditory cortex	↓	↓	↘	→			↓	↓	↓
Medial geniculate	↓	↘	↓	↑		CA_1, A_2	↓	↓	↓
Hippocampus	↘	↓	↑	↑	↓	CA_3	↑	↘	↑
Dentate gyrus	↘	↘	↑	↑			↑	→	↑
Substantia nigra	↓	↘	↑	↑	↓		↓	↓	↑
Visual cortex	↓	↓	↑	↑			↓	↓	↓
Inferior colliculus	↓	↘	↑	↑	↓		↓	↓	↓

The shaded area refers to the changes in the brain loci concerning consciousness.
* PB: pentobarbital
*: Crosby G et al,[2] †: Davis D W et al,[3] ‡: Sokoloff L.,[4-7] §: Myers R R & Shapiro H M,[8] ‖: Ori C et al,[9] ¶: Maekawa T et al[10]

表 6 脳の意識に関わる領域は麻酔下で必ずしも活動は低下していない [5)]

Equipotennt dosisの麻酔下にあるマウスの左心室にパラアルデヒドとピクリン酸を注入して後、脳をて摘出固定する。脳を20mmのcoronal sectionにした後、neuropeptide Y (NPY), serotonine, enkephalinの抗血清に浸漬する。Avidinbiotin complex techniqueを用いて、Zeiss IBAS-1,2を用いてImage analysis をしたところ、

NPYについて　Paraventricular nucleus のdensity of staining　ddN = C57BL
Suprachiasmatic nucleus のdensity of staining　ddN < C57BL
NPY cell numbers in the parietal lobe　ddN < C57BL
Hypothalamus とSpino-trigeminal tractのdensity of staining　ddN < C57BL
NPYはcircadian rhythmや痛みや覚醒 などに関係するpeptide neurotransmitterである。
Serotonineについて　CA1-region of hippocampusのdensity of staining　ddN < C57BL
Enkephalinについて　Immunoreactivity in the CA3-region of hippocampus　ddN > C57BL
ddNは回避学習にC57BLより優れており、よりopisthotonusが起こりやすく、麻酔に強いことと一致する
Enkephalinについて　Hippocampusのmossy fibresのdensity of staining
Enflurane ,Isoflurane麻酔下の
Righting reflex ED50について、 Opisthotonusの発現について
ddN, C57BL, F1 hybrid (C57female X ddNmale), F1′ hybrid (ddNmale xC57BLfemale)間に差異

表 7 Immuno histochemistry から ddN マウスと C57BL マウスの CNS の比較 [8)]

Nitrogen	10.7
Xenon	11.5
Nitrous oxide	24.2
Cyclopropane	21.7
Chloroform	12.3
Ethylene	27.8
Fluroxane	33.0
Diethyl-ether	23.8
Halothane	26.8
Methoxy-flurane	9.2

表 8 ラットの Righting reflex の麻酔薬作用から得た Hill 係数 [9)]

の neuro transmitter や chemical messenger の分布は多様であることがわかった (表 7)[8)].

このことはラットの Hill number からしても同じことだと思われる．(表 8)[9)] つまり，麻酔とい

導入時間	S < I < H	内因性血中エピネフリン上昇	S < I < H
鎮痛効果	H < S < E	不整脈を起こすエピネフリン量	H < I < E < S
心拍数1MAC	S < I < H	頭蓋内圧上昇	S < H
心拍数2MAC	S < H < I	呼吸抑制	H < I < E
心拍出量	H < S < I	PACO2	H < S
平均動脈圧1MAC	H < S < I	分時換気量	S < H
平均動脈圧2MAC	S = H < I	1回換気量	H < S
末梢血管抵抗1MAC	S < H < I	呼吸数	S < H
末梢血管抵抗2MAC	H < S < I	肺胞–動脈酸素較差	S < H
子宮収縮抑制	S < H = E = I	筋弛緩薬作用増強効果	S < E < I < H
鎮痛作用	H < I = S = D < E	筋弛緩作用	H << I = S = D< E

表 9 揮発性麻酔薬間の各種パラメータの比較

う現象には多くの作用部位が絡んでいるということになる．

しかも，人の麻酔となると，表 9 のように心・循環系統，呼吸器系統，筋弛緩効果などまで考慮に入れると，とんでもない数のターゲットが絡んでいることは明白である．これらのターゲットの一員であるナトリウムチャンネル蛋白だとか，アセチルコリンレセプターだとか GABA レセプターだとかと麻酔薬の作用を調べ，麻酔薬の作用や分子構造のどの部分に結合するかなどという研究が多数なされるようになったが，不適切語ではあるが，所詮「群盲，像を撫でる」の感を否定しきれない．個々の受容体に麻酔薬がどう働くかという研究は，近代的な薬理学の研究方法では重要であるが，こと吸入麻酔薬に関しては，全体をとらえる物性論的研究がさらに重要だと思われる．

麻酔現象の中で最も注目すべき重要な問題は「麻酔の圧拮抗」で，最初 1942 年に発光バクテリアの生物発光を研究する過程でアルコールやウレタンのような麻酔薬を加えると発光が抑制され，それに圧力を加えると光度が回復するということが F. H. Johnson らによって発見されたが [10]，あまり関心が無いので，それならということで 1950 年にアルコールで麻酔に掛かっているオタマジャクシの水槽に 200 気圧の静水圧をかけると，オタマジャクシは泳ぎだし，圧を除くと眠ってしまう現象の反復実験に成功した [11]．それでもまだ一般の関心は薄かったが，S. M. Johnson と K.W. Miller がイモリで圧拮抗を追試し [12]，K.W. Miller らがマウスで酸素と炭酸ガスをコントロールしたヘリウムガスで圧拮抗に成功すると [13]，大きな反響を得る事になった．Ganglionic action potential に対するハロタンの作用では preganglion では圧拮抗が起こるのに postganglion では起こらない [14] とか，蛍光色素をラベルした脂質二重膜の麻酔薬による流動性変化には圧拮抗がおこらない [15] とか，生物そのものの麻酔状態のように必ずしも圧拮抗現象は起こらないことも分かってきた．

それでは一体，圧拮抗を起こすような麻酔薬のターゲットになる身体の部位は何なのか．その遠い答えは，Dr. E. Overton の麻酔理論，いわゆる Lipid theory にあることが判明した．少なくとも私は，彼の理論を上滑りに取りこんで，麻酔薬の強さと脂質に対する溶解度は相関するということばかりに注目して，どうして脂質としてオリーブ油を選んだのか，そして既に彼は，麻酔薬が取り込まれる結果，脂肪相から水分子が追い出されるかもしれないと暗示している，ということに注目していなかったかということである．1901 年に出版された彼の本はドイツ語で，読破することは困難であったが，1991 年に R. L. Ripnick が英語に翻訳している [16]．この Ripnick の英語訳が天羽敬祐先生のところへ送られてきて，J of Anesthesia に書評を載せてほしいということであった．天羽先生はその専門でないから，私に評価してくれないかということで，この訳書を頂いた．この書評は 1992 年の 6 巻 4 号 513 頁に載っている．書評を書くために私は全部読んだはずだが，1991 年のころは洞察力が足りなかったのだろう．今回，講演をするためにもう一度読んでみると，その後の自分の 17 年間の研究には無駄が多かった，もっと速く彼の論旨の核心に近づけたのにと思うくらい驚くべき広範囲の実験と考察がなされている．たとえば，麻酔作用のある化合物の水素結合をハロゲンに置き換えると，I > Br > Cl の順に麻酔作用が強くなることも，すでに記述しているし，Cut off 現象も記述している．

麻酔薬が脂質相に取り込まれると水分子が追い出されるという Overton の示唆に対して，Ripnick はこれぞ L. Pauling や S. L. Miller の Crathrate theory(水の包接化合物説) を暗示させるものだと記しているが，この説が現在否定的であることは，麻酔・集中治療とテクノロジー 2009 (2008 年度

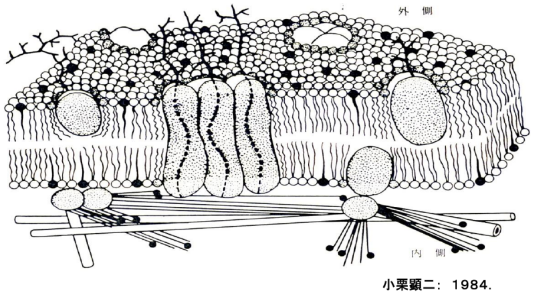
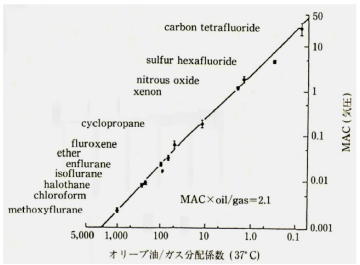


図 10 生体膜の流動モザイクモデル



Overtonは麻酔薬の炭素の鎖長が長くなるにつれて、オリーブ油に対する溶解度は増すが、長くなりすぎると麻酔効果はなくなると言っている。
これが麻酔のカットオフ現象というものである。

麻酔作用を発揮する化合物に対しては、膜は異物として認識し、長鎖の麻酔作用のない化合物を膜脂質の仲間として認識していることになる。

図 11 オリーブ油/ガス分配係数と麻酔薬の強さの関係

麻酔・集中治療テクノロジー学会論文集) の巻末に特別寄稿として説明した [17]．物性論として麻酔薬は系のエントロピーを増大させることは大方に認められている事であり，逆に，疎水性水和はエントロピーの減少をもたらすので，矛盾する．したがって水の存在状態については別の考えが必要となる．

Overton はいろいろな脂質を実験に使いながら脳のリピッドのモデルとしてどうしてオリーブ油を使用したのか，多くの脂質を試した結果，最も麻酔作用との相関がよかったという結論に至ったからである (図 10)．それはどういうことなのか．

現在，生体膜は 1972 年に発表された Singer-Nicolson の流動モザイクモデル (図 11)[18] が一般的な形として受け入れられているが，その基本構造である脂質二重膜を構成する脂質はリン脂質とコレステロールと種々の免疫学的認識反応に関係する糖脂質などで，リン脂質としては一般的には親水性の極性基の頭 (polar head) と 2 本足の疎水性のアシル基からなっている．極性基の頭は電荷が 0 から－2 のものまでいろいろあり，身体のいろいろな構造によって，脂質の種類や割合が異なっているし，膜の表裏でも違いがあるとされている．

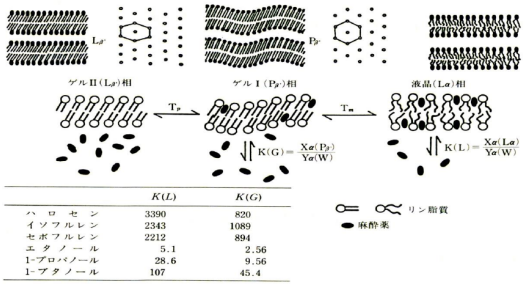


図 12 麻酔薬のリン脂質膜への分配 [19]

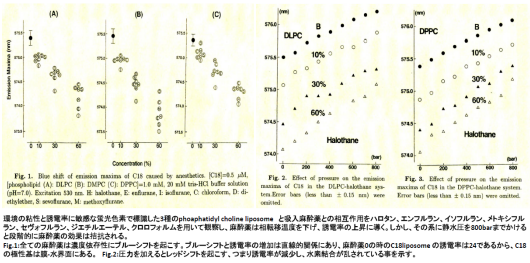


Fig. 1. Blue shift of emission maxima of C18 caused by anesthetics. [C18]=0.5 μM, [phospholipid (A): DLPC (B): DMPC (C): DPPC]=1.0 mM, 20 mM tris-HCl buffer solution (pH=7.6). Excitation 330 nm. H: halothane, E: enflurane, I: isoflurane, C: chloroform, D: diethylether, S: sevoflurane, M: methoxyflurane.

Fig. 2. Effect of pressure on the emission maxima of C18 in the DLPC-halothane system.Error bars (less than ± 0.15 nm) were omitted.

Fig. 3. Effect of pressure on the emission maxima of C18 in the DPPC-halothane system. Error bars (less than ± 0.15 nm) were omitted.

環境の粘性と誘電率に敏感な蛍光色素で標識した3種のphosphatidyl choline liposome と吸入麻酔薬との相互作用をハロタン、エンフルラン、イソフルラン、メトキシフルラン、セヴォフルラン、ジエチルエーテル、クロロフォルムを用いて観察し、麻酔薬は相転移温度を下げ、誘電率の上昇に導くしかし、その系に静水圧を800barまでかける と抗拮的に麻酔薬の効果は拮抗される。
Fig.1:全ての麻酔薬は濃度依存性にブルーシフトを起こす。ブルーシフトと誘電率の増加は直線的関係にあり、麻酔薬の0.5mMliposome の誘電率は24であるから、C18の極性基は膜-水界面にある。 Fig.2:圧力を加えるとレッドシフトを起こす、つまり誘電率が減少し、水素結合が乏されている事を示す。

図 13 吸入麻酔薬環境下の脂質二重膜の圧力変化 [20]

オリーブ油は植物油で, Overton が使ったオリーブ油と現在手に入る各種のオリーブ油が同じであるかどうかわからないが炭素鎖 16 の飽和脂肪酸が 12 %，炭素鎖 18 の脂肪酸が 2 %，1 つの不飽和鎖を含む炭素鎖 18 の不飽和脂肪酸が 76 %，2 つの不飽和鎖を含む炭素鎖 18 の不飽和脂肪酸が 8 %からなると記述されている．或る物質が，どの程度に疎水性であるかは誘電率で表現できるが，脂質二重膜の中心部の誘電率は約 2 くらいで，これは最も疎水性の高い炭素鎖化合物である n-decane や n-hexane の誘電率に近い．水の誘電率はほぼ 80 である．吸入麻酔薬の作用部位での疎水結合が麻酔薬の麻酔の強さに相関するのであれば，これら n-decane や n-hexane との相関を調べるべきであるのに，どうしてオリーブ油なのか，オリーブ油はそれほど脂っぽくなく誘電率にすると 17 くらいで，これは脂質分子の極性基の頭の部分の誘電率に相当する．つまり，麻酔薬分子は脂質二重膜の中心部に働いているのではなく，膜

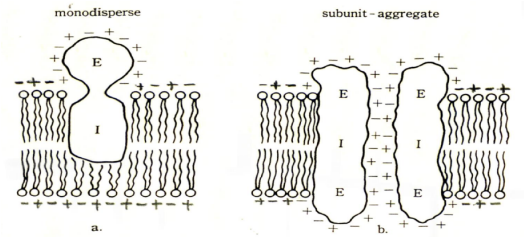


図 13－5. 膜の内在性蛋白の熱力学的に可能な二つの存在様式
a：親水部分（E）を外に突き出し，疎水部分（I）を膜内に埋めこませた単鎖の単量体蛋白（例チトクローム b_5）
b：単量体が凝集して二量体を形成し，凝集の中心には膜を貫通する連続した水のつまったチャネルを形成している（例 Na チャネル？）

図 14 Integral protein

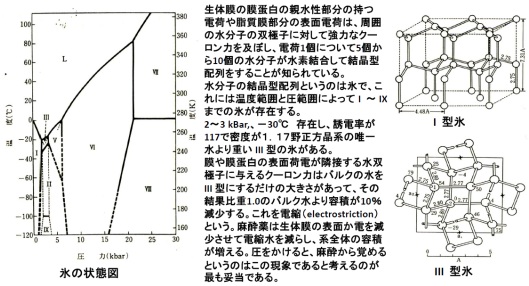


図 15 氷の状態図と普通の氷 (I 型氷) と電縮水 (III 型氷)

の表面部分に働いているということを示唆している，ということに符合する．

リン脂質を水に分散させて出来た二重膜は，DPPC であると，31 ℃でゲル II 相からゲル I 相へ転位が起こり，系の温度を 41 ℃に上げるとゲル I 相から液晶相に転位する．前者を前転位，後者を主転位というが，麻酔薬は脂質膜の相転位温度を下げる働きをする．転位温度を 1 ℃下げるのに必要な麻酔薬の濃度は，麻酔薬の種類によって違っていて，其れは麻酔薬の強さとよい相関があるので，この現象は麻酔のメカニズムに大いに関係していると考えられている (図 12)[19]．

メトキシフルランのメトキシプロトンと膜の極性基の頭であるコリンメチルプロトンの間の核オーバーハウザー効果をプロトン NMR スペクトル法を使って調べてみると，両者は 25 ℃つまりゲル II 相では非常に密な関係にあるが，45 ℃という液晶化した膜では脂質膜の並び方が乱れてしまって，緩和時間が速くなって両者の相関がわからない．メトキシフルランは膜にもぐりこんでし

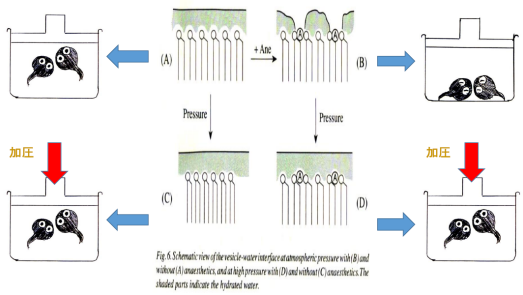


Fig.6.Schematic view of the vesicle-water interface at atmospheric pressure with (B) and without (A) anaesthetics, and at high pressure with (D) and without (C) anaesthetics. The shaded ports indicate the hydrated water.

図 16 麻酔状態の圧拮抗

まうことが判っている [8]．

環境の粘性と誘電率に敏感な蛍光色素でラベルした DPPC を含めた 3 種類のリン脂質の二重膜と 7 種類の吸入麻酔薬を用いて観察したところ，麻酔薬は相転位温度を下げ，誘電率の上昇に導くことが，判った (図 13)[8,20]．

図の左のグラフは 7 種類全ての麻酔薬が濃度依存性にブルーシフトを示している．ブルーシフトと誘電率の増加は直線関係にあり，麻酔が 0 であると，C18 脂質膜の誘電率は 24 であるから，C18 の極性基は膜―水界面にあることがわかる．

右のグラフはこの系全体に 80 Bar までの静水圧をかけると段階的に，レッドシフトを起こすことが判る．つまり，誘電率が下がり，水素結合が乱れている事を示唆している．

脂質膜の極性基付近，つまり膜－水界面に存在する膜蛋白や，膜表面に顔を出している膜貫通蛋白の親水部分や脂質膜表面に存在する表面電荷 (図 14) が周囲の水分子の双極子に働いて強力なクーロン力によって，水素結合の結晶型配列を形成し，誘電率が 117 とバルク水より更に高く，密度は 1.14 倍も重い正方晶型の氷構造 (III 型氷)(図 15)[21] のように容積が自由水より 10～15 %も縮小した構造が出来ているところへ麻酔薬が働くと表面荷電が減って容積が増える．圧をかけると其れが戻るということで圧拮抗が起こるのではないかと考えられる．ここに示した実験も，この理論をサポートするものである (図 16)．

医学の父，ヒポクラテスは『本当によい薬は，効いて欲しいところだけに効く薬である』と書き

1．1st International Workshop on Anesthetic Mechanisms 1994.12.12-14.
高松市（高松テルサ）

2．2nd International Workshop on Anesthetic Mechanisms 1999.12.8-10.
高松市（高松県民会館）

3．The 7th International Conference on Basic and Systemic Mechanisms of Aneshtesia 2005. 2. 25-27.
Congress Organizer(T. Mashimo, K. Ogli and I. Uchida)
奈良新公会堂

図 17 国際学会

残したといわれている．

このことは現在の癌治療薬を初めとして殆んどの治療薬の創薬の基本であるが，しかし吸入麻酔薬は多くの作用部位に作用して全体として効くものであり，現在の薬理学的研究の手法にはなじまない，ユニークな化合物であり，物性論的手法が必須のものである．

19 世紀の Claude Bernard がいみじくも述べた『An anesthetic is not just a special poison of the nervous system: it anesthetizes all element, all tissues』にほかならない．

今回示した実験結果の殆んどは私が京都府立医大に在籍した 10 年間と香川に移った 18 年間に共に行動してくれた，先生方の協力によるものである．生理学教室の亘先生からは科研の取り方まで手ほどきを受けたし，教室の先生方には核磁気共鳴法という物性研究では当時最先端の技術の指導を受けた．また，解剖学教室では中枢神経系の免疫化学の指導をうけ，香川から国内留学のお世話までいただいたことをこの場を借りてお礼申し上げる．その結果，その間に内外の多くの物性研究者たちとの研究討論の交流をもてたことは非常に有意義であった (図 17)．

現代の薬理学の研究方法に則って，今の麻酔科医は意識消失，鎮痛，筋弛緩，自律神経の安定性などを個々の薬物に求めようとしている．そういう意味では，吸入麻酔薬は 1 剤で Almighty を希求した昭和の遺産ということになろうかとおもう．私はその時代の麻酔科医であったことを光栄に思っているし，このような学際的な物性的研究は麻酔の基礎研究にはこれからも必須ではないかと思う．

注意：図は PDF を 400〜800 %拡大で識別可能．

引用文献

1. 恩地 裕．麻酔の反省．南江堂．東京．1955.
2. B.W.Urban et M.Bleckwenn : Concepts and correlations relevant to general anaesthesia. BJA 89(1):3-16(2002)
3. M.Miyazaki, K.Yoda, Y.Tanaka, Y.Tsukawaki and K.Ogli : A Study of Profound Hypothermia by Surface Cooling. The Canadian Anaesthetists ' Society Journal 27(4):370-380(1980)
4. 小栗顕二．吸入麻酔薬の吸収ー排泄．医薬ジャーナル　3：45 ー 53(1982)
5. 小栗顕二．薬の顔〜構造活性相関の話〜27．吸入麻酔薬．日本薬剤師会雑誌　49(7)：1243 ー 1250(1997)

6. H.Eyring et al. A molecular mechanism of general anesthesia. Anesthesiology 38 : 415-424 (1973)
7. K.Ogli. Reversible growth suppressing effect of various anesthetics in Euglena gracilis. Med.J.Osaka Univ. 28 : 15-21(1977)
8. K.Ogli, I.Tsukamoto, S.Yokono and J.Nogaya. Anaeshtetic Mechanism —From Molecular to Biological Aspects. Ann Acad Med Singapore 23 : 536-546(1994)
9. K.W.Miller et al. Physicochemical approaches to the mode of general anesthetics. Anesthesiology 36 : 339-351(1972)
10. F.H.Johnson et al. Pressure reversal of the action of certain narcosis. J.Cell Comp. Physiol. 20 : 269-276(1942)
11. F.H.Johnson and E.A.Flagler. Hydrostatic pressure reversal of Narcosis in tadpoles. Science 112 : 91-92(1951)
12. S.M.Johnson and K.W.Miller. Antagonism of pressure and anaesthesia. Nature 228 : 75-76(1970)
13. K.W.Miller et al. The pressure reversal of general anesthesia and the critical volume hypothesis. Molecul. Pharmacol. 9 : 131-143(1973)
14. J.J.Kendig et al. Neural sites of pressure-anesthesia interactions, Molecular Mechanism of Anesthesia(ed. B.R.Fink). Progress in Anesthesiology 1 : 421, Raven Press, New York. 1975
15. 小栗顕二 他．脂質二重膜における麻酔の圧拮抗現象の解析．日本生物物理学会第 16 回年会予稿集 p155，1977
16. R.L.Overton. Studies of Narcosis(edited by R.L.Lipnik). Chapman and Hall Ltd and Wood Library-Museum of Anesthesiology, 1991
17. 小栗顕二．特別寄稿：『Pauling の麻酔分子論』の周辺．麻酔・集中治療とテクノロジー，129 - 131(2009)
18. S.J.Singer and G.L.Nicolson. The fluid mosaic model of the structure of cell memmbranes. Science 175 : 721-731(1972)
19. 寺田 弘，金品昌志．蛋白質・核酸・酵素．36：1770(1991)
20. I.Tsukamoto, S.Yokono and K.Ogli. Sffect of high pressure on porarity change of the water-liposome interface induced by volatile anesthetics. J. Anesth 6 : 433-438(1992)
21. N.H.Fletcher. 前野紀一訳．氷の化学物理．P. 22，43，56 共立出版，東京，1974

第 35 回日本麻酔・集中治療テクノロジー学会
プログラム・抄録集
会長： 片山 勝之（手稲渓仁会病院）
会期： 2017 年 8 月 26 日（土）
会場： 手稲渓仁会病院 手稲渓仁会大ホール

プログラム
8：55〜9：00
開会の辞 片山 勝之（手稲渓仁会病院）

9：00〜9：50 一般演題 1
司会 増井 健一 （防衛医科大学校病院 麻酔科）
1-1 医療秘書による効率のよい手術室運営にむけた電子カレンダーとメーリングリスト活用の効果
南木 由美 （手稲渓仁会病院 医療秘書課）
1-2 クラウド型データベースを利用した手術室データ分析
立石 浩二 （手稲渓仁会病院 麻酔科）
1-3 LaTeX 用論文作成支援パッケージの Windows への移植
萩平 哲 （関西医科大学 麻酔科学講座）
1-4 paperChart にテキスト・バイナリデータを送信するための .net コンポーネントの作成
斎藤 智彦 （岡山ろうさい病院 麻酔科）
1-5 2 種類の麻酔情報管理システムを使用した経験から－
PrescientOR と ORSYS との比較（主に PrescientOR が優れているところについて）
綾 大介 （筑波メディカルセンター病院 麻酔科）

10：00〜12：00 シンポジウム
自動麻酔記録の gap と must「テクノロジー学会からの基本的提言」
司会 讃岐 美智義 （広島大学病院 麻酔科）
SY1-1 自動麻酔記録の gap と must「テクノロジー学会からの基本的提言」
シンポジスト讃岐美智義 （広島大学病院 麻酔科）
SY1-2 自動麻酔記録システム：ユーザーが求める標準機能
シンポジスト内田 整 （千葉県こども病院 麻酔科）
SY1-3 paperChart の現状とこれから
シンポジスト斎藤 智彦 （岡山ろうさい病院 麻酔科）

12：00〜12：10 総会

12：20〜13：20 ランチョンセミナー
共催：フクダ電子株式会社社/フクダ電子北海道販売株式会社
司会 坪川 恒久 （東京慈恵会医科大学）
IoT の現状と医療への応用
演者 川瀬 雅矢 （株式会社オプティム）

13：30〜14：00 テクノロジー学会心電図教室
司会 太田 吉夫 （香川県立中央病院）
高 K 血症のテント状 T 波と冠動脈攣縮初期の高 T 波の違いについて
演者 田中 義文 （京都岡本記念病院）

14:10〜15:10 特別講演 1
司会 内田 整 （千葉県こども病院）
人工知能最前線：人工知能は何ができて何ができないか
演者 松原 仁 （公立はこだて未来大学）
15:20〜16:20 特別講演 2
セコムと IoT -- 私と AI --

司会　萩平　　哲　（関西医科大学）
演者　小松　　淳　（セコム株式会社／セコム医療システム株式会社）

16:20〜17:10 一般演題２
司会　長田　　理　（がん研有明病院）
2-1 呼気のガス濃度を用いた吸気の平均酸素濃度の推定法
薊　　隆文　（名古屋市立大学看護学部　病態学（麻酔学））
2-2 無線ビデオ中継の麻酔管理への応用　＝＝＝余ったスマホの使い道＝＝＝
岩瀬　良範　（埼玉医科大学病院　麻酔科）
2-3 距離の離れた場所で診療を行うための工夫
星　　拓男 筑波大学附属病院 茨城県地域臨床教育センター 麻酔・集中治療科
2-4 シリンジポンプだけでロクロニウムを投与する際に便利な希釈濃度の検討
松木　悠佳　（福井大学学術研究院医学系部門医学領域器官制御医学講座　麻酔・蘇生学分野）
2-5 たった 1 個の ICU 記録システムのハブループが病院ネットワークに壊滅的打撃を生じた教訓的事例
村岡　義克　（手稲渓仁会病院情報システム部）

17：10〜17：15 閉会の辞 片山 勝之（手稲渓仁会病院）

抄録抜粋
特別講演１
人工知能最前線：人工知能は何ができて何ができないか
松原　仁 (公立はこだて未来大学)
　人工知能の最近の進歩は目を見張るものがある。グーグルのコンピュータ囲碁のアルファ碁は昨年韓国のイ・セドル９段に勝ち、今年中国のカ・ケツ９段に勝った。彼らは世界トップクラスのプロ棋士であり、彼らに勝ったということは囲碁でコンピュータが人間を超えたことを意味する。人工知能の研究は 1950 年代に始まって 2 回のブームと 2 回の冬の時代を過ぎていま 3 回目のブームを迎えている。今回のブームはディープラーニング（深層学習）という機械学習の一手法が非常に優れた能力を示したことがきっかけである。アルファ碁もこのディープラーニングを用いて急にに強くなった。囲碁以外でも顔の認識、医療画像の認識、自動運転などに応用されて優れた能力を示している。人工知能の進歩によって、コンピュータの能力が人間の総合的な能力を超えるというシンギュラリティの到来もそう遠くないのではないかと言われるようになってきた。人工知能の進歩は人間の生活をより良いものにしてくれる可能性があると同時に人間の生活を脅かす可能性もあるのではないかと議論されるようになっている。ここではまず人工知能の現状を押さえて次に人工知能の歴史を振り返る。その上でいまの人工知能に何ができて何ができないかを確認する。人工知能は人間が作り出した優れた道具であり、受け入れるのに多少の時間を要すると思われるものの人間と人工知能がともに得意なことを分担してよりよい社会を築くことができるものと考えている。

一般演題１
2 種類の麻酔情報管理システムを使用した経験から－
PreceintOR と ORSYS との比較（主に PrecientOR が優れているところについて）
綾 大介、星　拓男 (筑波メディカルセンター病院 麻酔科)
【背景】筆者は 2012 年から 3 年間麻酔情報管理システムとして ORSYS（PHILIPS 社）を使用したのちに病院を異動しその後 2 年間 Precient OR（富士フィルムメディカル IT ソリューションズ株式会社：FMI）を使用してきた。どちらのシステムにも良い点悪い点があるが、主に Precient OR の良い点を中心にまとめて報告したい。
【研究目的】2 つの麻酔情報管理システム Precient OR と ORSYS の特徴を比較する。
【結果】Precient OR が ORSYS に比べて優れているところとして、1. 薬剤入力時、入力単位を変えても同じ薬として記録・表示ができること、2. 薬物血行動態シミュレーターにおいて、入力単位違い（例：mg 入力と mL 入力）や規格違いの同じ薬剤（例：フェンタニル 0.25mg/A とフェンタニル 0.5mg/A）や IV-PCA に含まれる薬剤でも合算して計算ができること、3. 循環作動薬など複数の薬剤を同時に入力できる画面があること、4. イベントと薬剤が紐付けられ入力忘れを減らせること、5. 退室時チェック機能で未入力項目のアラートが出るため筋弛緩拮抗薬や輸液残量など様々な入力忘れが防げること、6. センター画面とベッドサイド画面が同時に開けること、が挙げられる。一方劣っているところとして、1. 薬剤名をカナ検索できない（頭文字では検索できるが直接入力で絞り込めない）こと、2. 人工心肺記録機能を内蔵していないため外部のソフトの使用が必要であること、3.Phirips 社と違って FMI はユーザーカンファレンスを開催してくれないのでユーザー同士の情報交換が難しいこと、が挙げられる。
【結語】麻酔情報管理システムは各社それぞれ長所短所があるが、それぞれの良いところを取り入れより使いやすくなるように各社切磋琢磨することが望まれる。そのためには我々ユーザー側が意見を出す必要があり、特に複数のシステムの使用経験があるユーザーが声をあげる機会を増やすべきである。

編集後記

2017 年，札幌での第 35 回日本麻酔・集中治療テクノロジー学会冊子が，予定の期限で発行できました．ご協力を感謝します．

他の学会と同様に本誌も電子版公開しています (http://www.jsta.net)．業績，引用文献などにご利用ください．印刷本では経費の都合上カラーが出来ませんので御了解ください．印刷まで若干の時間があります．投稿される方は至急ご連絡下さい (tanaka@koto.kpu-m.ac.jp)．追加投稿のページは抄録抜粋の前からになります．

例年，100 ページ以上の冊子の発刊を目標に努力しておりますが，原稿が少なく苦労しているのが実状です．学会員のみなさま，そうでない方も発表の有無にかかわらず，気楽に編集長までマイクロソフト Word で記述いただき，メール投稿していただければ有りがたく存じます．段組み，印刷 PDF 原稿は当方で行います．掲載および印刷費は無料です．

1 テーマの報告だと 4〜6p 程度になります．少しまとまった総説だと，6〜10p 程度が適当，系統だった内容だとそれ以上のページになります．冊子は全て PDF でウェブ公開しております (http://www.jsta.net/txt/syoroku.htm)．それを利用すると，カラーで詳細な図を入手することも可能です．また，必要な別冊は独自にカラー印刷して下さい．

どうぞよろしくお願いいたします．

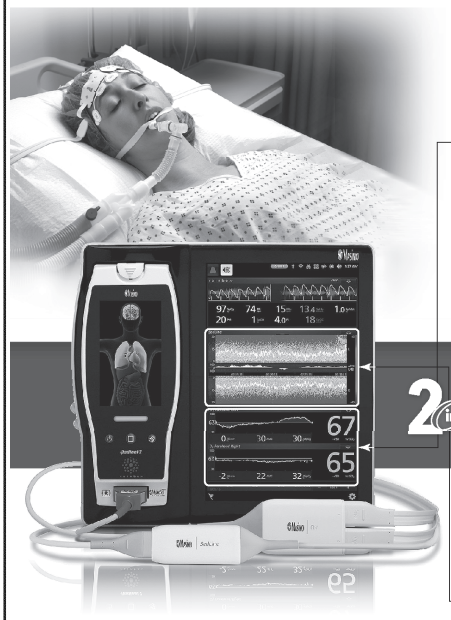
昨年暮れに京都府立医科大学初代麻酔学教室を開設された宮崎正夫名誉教授がお亡くなりになりました (享年 90 歳)．「宮崎先生を偲ぶ会」を本年 1 月 26 日に開催し，その特別講演に本学助教授として臨床，教育，研究にご指導を頂いた香川大学名誉教授 小栗顕二先生の講演原稿を掲載させて頂きます．麻酔のメカニズムの研究ですが，麻酔・集中治療とテクノロジー 2009 掲載の「Pauling の麻酔分子論の周辺」と併せて読んで頂ければと思います．

麻酔薬は脳神経の Na チャネルのブロッカーとして作用しますが，全てのイオンチャネルは分子レベルで障害なしに水分子を通過します．そこに麻酔薬による液晶化が発生し，数分子の水が結合すると，立ち所にイオンチャネル孔が詰まって障害が発生します．また，高圧環境にすると麻酔から覚醒する話ですが，チャネルの厚みが薄くなって Na^+ イオンの膜通過が容易になるという考え方も可能です．水分子のチャネルというとアクアポリンが有名ですが，チャネルのイオン選択性の解明と共に，今後，膜チャネルは益々脚光を浴びる重要な分野であると確信しました．

本冊子発行に際して，株式会社三笑堂ならびに株式会社増富からの御支援をいただきました．ここにお礼を申し上げます．

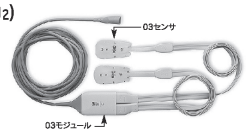
2019 年 3 月 25 日

日本麻酔・集中治療テクノロジー学会事務局
編集長　田中 義文
tanaka@koto.kpu-m.ac.jp
京都府立医科大学麻酔科学教室
〒 602-0841
京都市上京区河原町広小路梶井町 465



2 in 1 Root® with O3®(Masimo rSO2) RD SedLine®

O3®(Masimo rSO2)



動脈血酸素飽和度だけでは把握できない 脳の酸素化をモニタリング

- SpO2だけでは把握できない脳の酸素化をモニタリング
- リアルタイムのrSO2とベースラインの差を表示
- rSO2がアラーム下限値を下回った時間及び差を指標化

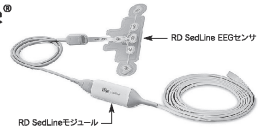
製品番号	品　名
9637	O3モジュール
3756	O3センサ

販売名：マシモ ルートモニタ(O3モジュール)
医療機器承認番号：22600BZX00344000

◎診療報酬点数　L008　マスク又は気管内挿管による閉鎖循環式全身麻酔
注11 術中脳灌流モニタリング加算……1,000点「2018年4月診療報酬改定」

区分番号K609に掲げる動脈血栓内膜摘出術（内頸動脈に限る。）又は人工心肺を用いる心臓血管手術において、術中に非侵襲的に脳灌流のモニタリングを実施した場合に、術中脳灌流モニタリング加算として、1,000点を所定点数に加算する。
「注11」に規定する術中脳灌流モニタリング加算は、近赤外光を用いて非侵襲的かつ連続的に脳灌流のモニタリングを実施した場合に算定できる

RD SedLine®



脳波データを解析し 左右の脳の活動をカラー表示

- 4チャンネルEEG波形をリアルタイム表示
- PSI（患者状態指標）にて患者さんの催眠レベルを表示
- ＤＳＡ表示で左右の脳の活動をカラー表示

製品番号	品　名
9513	RD SedLineモジュール
4248	RD SedLine EEG センサ

販売名：マシモ SedLine モジュール
医療機器認証番号：226ADBZX00069000

◎診療報酬点数　D214　EEG(脳波)3又は4検査(誘導)……130点「2018年4月診療報酬改定」

8誘導未満の誘導数により脳波を測定した場合は、誘導数を区分番号「D214」脳波図、心機図、ポリグラフ検査の検査数と読み替えて算定するものとし、種々の賦活検査（睡眠、薬物を含む。）を行った場合も、同区分の所定点数のみにより算定する。

※全ての診療において、この診療報酬点数が適応されるものではなく、各自治体の審査により異なる

脳オキシメトリ＋脳機能を同時に測定

マシモジャパン株式会社
東京都新宿区北新宿 2-21-1 新宿フロントタワー 24 階
TEL 03-3868-5201　FAX 03-3868-5202

麻酔・集中治療とテクノロジー　2018　　〈検印省略〉

電子版：2019年　3月25日（http://www.jsta.net/txt/syoroku.htm）
印刷版：2019年　3月31日　第1版発行
定価（本体3,000円＋税）

編集者　片　山　勝　之
　　橋　本　　悟
　　田　中　義　文
発行者　田　中　義　文
発　行　日本麻酔・集中治療テクノロジー学会
発行所　㈱北斗プリント社
〒606-8540　京都市左京区下鴨高木町38-2
電話（075）791-6125　FAX（075）791-7290

ISBN4-89467-158-1

ISBN4-89467-158-1
C3047 ¥3000E
9784894671584
定価 （本体3,000円＋税）
1923047030009

麻酔・集中治療とテクノロジー 2018