

<特集「栄養治療の新時代」>

集中治療における急性期血液浄化と急性期栄養管理

小 尾 口 邦 彦*

京都府立医科大学大学院医学研究科麻酔科学・集中治療部

Acute Blood Purification
and Acute Nutritional Management in Intensive Care

Kunihiko Kooguchi

*Department of Anesthesiology and Critical Care Medicine,
Kyoto Prefectural University of Medicine Graduate School of Medical Science*

抄 録

重症患者における腎障害の合併は珍しくなく、ICUにおいて持続腎代替療法（continuous renal replacement therapy: CRRT）が頻用される。CRRTのモードには、CHD（continuous hemodialysis）・CHDF（continuous hemodiafiltration）・CHF（continuous hemofiltration）があるが、どのモードであっても小分子除去能力に差はない。重症患者管理において栄養療法は重要であり、経腸投与が重視される。早期からのエネルギー過多は避け、1週程度以内に目標栄養量に到達する permissive underfeeding が重視される。一方、タンパク質摂取量を目標量に短期間で到達させることが望ましい。水溶性アミノ酸は小分子であり、CRRTによって水溶性アミノ酸は除去されるため、CRRTを併用するICU患者に対して、タンパク質の投与量を増加させなければならない。

キーワード：ICU, CRRT（continuous renal replacement therapy）, 栄養療法, Permissive Underfeeding.

Abstract

Continuous renal replacement therapy (CRRT) is frequently performed in intensive care units (ICUs) because of the high prevalence of renal complications in critically ill patients. Its modes include continuous hemodialysis (CHD), continuous hemodiafiltration (CHDF), and continuous hemofiltration (CHF); however, their small-molecule removal capacity does not differ regardless of the mode used. Nutritional therapy, focusing on enteral administration, is important for managing critically ill patients. To avoid early energy overload, permissive underfeeding should be implemented until target nutritional levels are achieved within 1 week. Additionally, achieving the target protein intake promptly is desirable without early energy overload. Because water-soluble amino acids are small molecules, CRRT removes large amounts of these amino acids. Consequently, protein doses must be increased for ICU patients undergoing concurrent CRRT.

Key Words: ICU, CRRT (continuous renal replacement therapy), Nutritional Therapy, Permissive Underfeeding.

令和7年3月27日受付 令和7年3月28日受理

*連絡先 小尾口邦彦 〒602-8566 京都市上京区河原町通広小路上の梶井町 465
京都府立医科大学麻酔科学教室・集中治療部

koochan@koto.kpu-m.ac.jp
doi:10.32206/jkpum.134.06.339

集中治療室（ICU）における管理を要する重症患者は、しばしば慢性腎不全増悪や急性腎障害を合併し血液浄化を必要とする。急性期血液浄化療法として CHDF（continuous hemodiafiltration; 持続的血液ろ過透析）の知名度が日本において高い。一方、ICU で働く医療者ですら CHDF の仕組みの理解は難しい。

また、重症患者管理において栄養療法は重要であり、CHDF 運転中の患者に対しては、特に注意が必要である。本稿において CHDF に代表される持続腎代替療法（CRRT: continuous renal replacement therapy, 近年 CKRT: continuous kidney replacement therapy と呼ぶこともある）の仕組み、重症患者の栄養管理について解説した後、CRRT 運転中の栄養管理を解説する。シンプルな理解を目指したい¹⁾²⁾。

持続的腎代替療法の名称

CHDF に代表される CRRT は3種ある(表1)。日本において1990年代半ば、急速に持続腎代替療法が普及したが、普及に尽力した施設が CHDF を重視したため、CHDF が日本における CRRT の代名詞となった。海外においては、CHF が主流であると言われる。

CRRT の仕組みを理解するために

名前に透析原理（拡散原理、以後、拡散原理と記載）とろ過原理を持つ CHDF は、CHD（拡散原理）と CHF（ろ過原理）のハイブリッドモードである。CHDF の回路構成において、ポンプが4個あり、初学者の戸惑いに無理はない(図1)。筆者の持論は「CHD と CHF が理解できない限り CHDF は理解できないし、CHD と CHF を理解すれば CHDF の理解は難しくない」

である。

日本の ICU における血液浄化液量制限

急性期血液浄化療法 CRRT の設定において、海外と日本では血液浄化液（透析液・補充液、商品名サブラッド・サブパックなど）流量に大きな違いがある。日本においては、15～20L/日（地域によって異なる）が保険制限量であるので、以下の CRRT 設定においても、血液浄化液の使用量を 800mL/時とした。海外における CRRT 標準量は 25mL/kg/時程度であり、日本の標準量（保険制限量）は海外に比して少ないことが知られる。

CHD の理解のために 泥水理論

筆者は、CHD（拡散原理）の理解のために「泥水の浄化」に例えて説明する（図2）。

読者の手元に、泥と水と網があり、「泥水をきれいにせよ（泥の濃度を下げよ）」と指示されたとする。

泥水に水をいれ、全体を薄くし、一部を捨てればよい。この単純な作業が、一般的な血液透析や CHD に用いられる拡散原理である。

具体的な設定を通じて知る CHD 泥水理論

CHD 設定例

血液流量 100mL/分（6000mL/時）・透析液流量 800mL/時・排液流量 800mL/時（図3）

CRRT の血液ポンプの流量表示は mL/分、それ以外の流量表示は mL/時と単位が異なることも理解の難しさにつながる。本稿において、以後、血液流量 100mL/分 = 6000mL/時とし

表1 持続的腎代替療法の名称

CRRT : continuous renal replacement therapy 持続的腎代替療法
CHD : continuous hemodialysis 持続的血液透析
CHF : continuous hemofiltration 持続的血液ろ過
CHDF : continuous hemodiafiltration 持続的血液ろ過透析

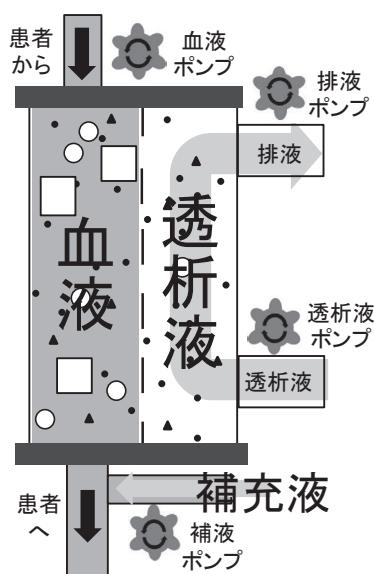


図1 CHDF 回路

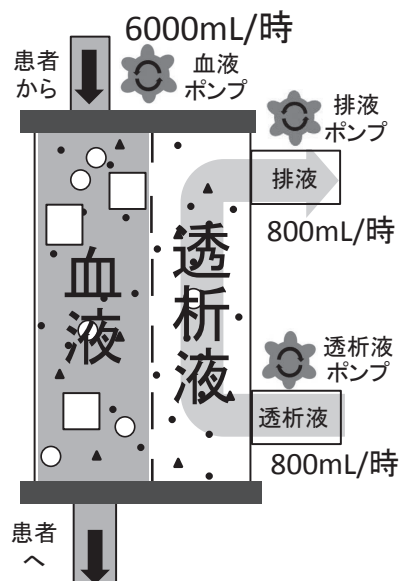


図3 CHD 回路と設定例

で考えていく。

泥水理論で考えると、泥水 6000mL と水 800mL を混ぜ、6800mL とし、800mL を廃棄し、6000mL を回収する設定である（図4）。泥水を一旦水（洗浄水）と混ぜた後、一部を廃棄するため、せっかくの洗浄水の一部も除去される。そのため効率が下がり、設定例であれば、泥水が混じった洗浄水 800mL が除去されるので、クリアランスは 800mL 弱となる。

具体的な設定を通じて知る CHF ところてん理論

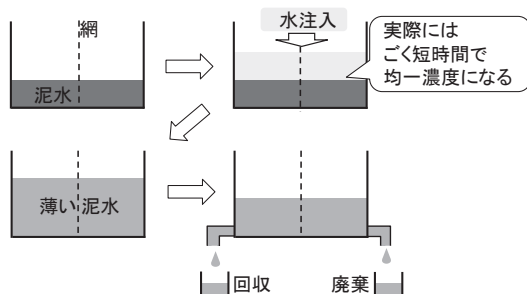


図2 泥水をきれいにする方法

CHF 設定例

血液流量 100mL/分（6000mL/時）・ろ液流量 800mL/時・補充液ポンプ流量 800mL/時（図5）

CHF の F は、filtration であり、フィルターを通す意味である。

ところてん突きに例えて説明すると、6000mL の血液に圧力を加え 800mL を押し出し、残りの 5200mL を回収し、800mL の補充液を“補充”し 6000mL に戻す（図6）。

ろ過によってフィルターの孔のサイズ大の物質まで除去される。通常、CRRT のヘモフィルターの半透膜の孔は分子量 20000 程度に設定されているので、分子量 20000 程度の物質まで“一律に”除去される。ろ液流量 800mL ということは、ところてんを 800mL 捨てたことを意味し、ところてんのクリアランス = 800mL/時である。

CHD と CHF を合体させた CHDF

CHDF 設定例

血液流量 100mL/分（6000mL/時）・透析液流量 500mL/時・ろ液流量 800mL/時・補充液ポンプ流量 300mL/時（図7）

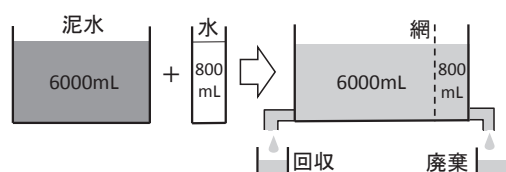


図4 泥水理論
CHD は泥水の希釈とで考えると理解しやすい

本設定は、1990年代半ば、日本においてCHDFを普及させた施設が提唱した日本におけるスタンダードな設定である。

透析液流量 500mL/時・ろ液流量 800mL/時と、300mL/時の落差があることがポイントである。

透析液流量 500mL/時については、CHD であり、拡散原理により血液浄化が行われる。

落差 300mL/時によって、無理やり排液ポンプが血液から膜孔以下のサイズの血漿をひっばっているとイメージできるであろうか。これこそがろ過原理であり、CHF ろ液流量 300mL/時の設定と同じである。

小分子除去と中分子除去

小分子に対して

透析原理+ろ過原理

BUN・Cre・K など電解質・尿毒素質は総じて分子量 500 以下であり、生命維持目的であれば、小分子の除去がなされればよい。

泥水理論において、最初に洗浄水と泥水を混ぜた後、一部を廃棄するため、洗浄水の一部が失われる。ところてん理論は、最初に一部を押

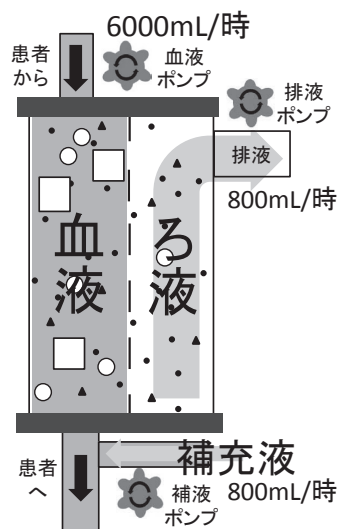


図5 CHF 回路と設定例

し出した後、洗浄水を加えるので、洗浄水が無駄にならない。よって、わずかであるが、ところてん理論>泥水理論となる。

実務においては、ところてん理論は、半透膜に無理に血液を通すため、半透膜への負担が強く膜孔の閉塞につながりやすい。一回ヘモフィルターが閉塞すると再開に 1 時間程度要する。持続的に運転する CRRT において、必ずしも、ところてん理論>泥水理論とはならず、同程度と考えてよい。

小分子除去において CHD (拡散原理)・CHDF (拡散原理とろ過原理)・CHF (ろ過原理) の効率に差はない。

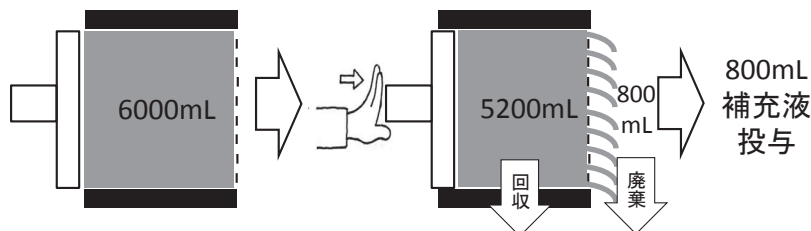


図6 ところてん理論
CHF の原理はところてん突きをイメージしたい

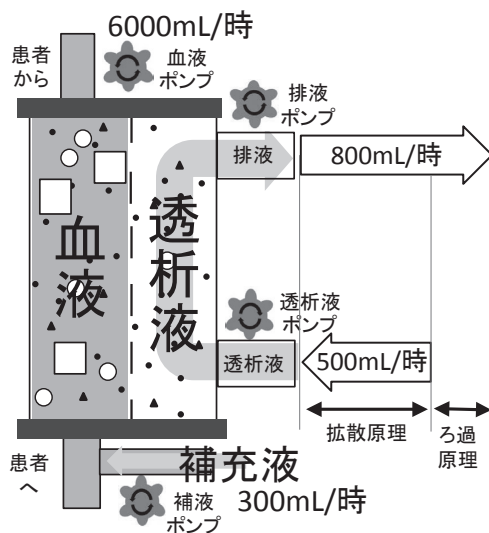


図7 CHDF 回路と設定例

中分子に対して

ろ過原理

泥水理論は、拡散原理であり、小分子にしか通用しない。すなわち、CHDによる中分子除去能力はない。ところてん原理によって、膜孔を通る物質は一律に除去される。

炎症性サイトカインは、分子量 10,000～20,000 程度である。炎症性サイトカイン除去目的であれば、ろ過原理でなければならない。

表2のどのモードであっても小分子除去効率はほぼ同じであり、中分子除去効率を重視するのであれば、第一選択 CHF、第二選択 CHDF となる。

筆者は、炎症性サイトカイン除去を重視しないので、基本的に CHD を使用する。

集中治療における栄養投与経路

かつては、重症患者に対して安易な絶食や、エネルギー不足がみられた。また、安易に経静脈栄養に頼る傾向があった。「使える腸があるのであれば腸を使う」が栄養補給の原則である。集中治療においても、この原則は変わらない。一方、一時期、経静脈栄養＝悪ととらえる向きもあったが、腸を使えないときに無理する必要はなく、経静脈栄養も積極的に考慮する。

経腸栄養と経静脈栄養の組み合わせもありえる。

本稿においては、経腸栄養管理について解説する。

Permissive underfeeding

やはりかつて、重症患者に対して早期からの高エネルギー投与が重視された。しかし、重症患者において副腎皮質ホルモンや炎症性サイトカインの過剰分泌により異化亢進が起こる。自らの筋肉などを分解しエネルギーとする反応であり、さらに体外から高エネルギーを投与すると栄養消費量を上回り、高血糖となる。高血糖状態により白血球の機能が低下し免疫状態となることや、ミトコンドリア機能不全・オートファジーを引き起こすとされる。

重症患者管理において、エネルギー消費量を下回るエネルギー投与量で開始し、1 週程度以内に目標エネルギー量に到達することが各種栄養ガイドライン^{3,4)}で求められる (permissive underfeeding)。

ただし、血管作動薬 (ノルアドレナリンなど) を高濃度要するなど循環動態が不安定な状態において、経腸栄養剤を投与すると腸管壊死につながるリスクが指摘される。高濃度血管作動薬投与時、あるいはショック初日に経腸栄養を開始しないのが一般的である。

これらをまとめると、ICU 入室 24～48 時間後に経腸栄養製剤を開始し、段階的にエネルギー投与量を上昇させ、1 週程度以内に目標エネルギー量に到達させるのが、一般的な重症患者の栄養管理となった。

タンパク質源による経腸栄養製剤の区別

急性期重症患者においてタンパク質の異化も亢進する。ヒトの体の組成の 60% 弱が水であり、次にタンパク質が 20% 弱を占める。筋肉のみならず脳、心臓、肝臓、腎臓などあらゆる臓器はタンパク質でできており、タンパク質の喪失は、多臓器不全につながるととらえなければならない。

タンパク質は、特に重症患者において吸収が

難しい栄養素であるが、一方で、補充が急がれる栄養素でもある。経腸栄養剤の区別において、タンパク質源（窒素源）の違い、すなわち、アミノ酸・ペプチド・タンパク質のどの成分であるかが重視される。

タンパク質源による吸収の違い

タンパク質の構成単位（タンパク質源）としてタンパク質・ペプチド・アミノ酸がある。タンパク質源が、アミノ酸である成分栄養剤、ペプチドである消化態栄養剤、タンパク質である半消化態栄養剤がある。

最小単位であるアミノ酸が最も吸収しやすいととらえられがちであり、その発想を元に1970年代後半に開発された成分栄養剤エレンタール（EA ファーマ、医薬品）のタンパク質源はアミノ酸である。エレンタールは消化吸収が良いとイメージされ選択されるシーンを今も時にみかける。

消化管において、ブドウ糖はブドウ糖トランスポーター、アミノ酸はアミノ酸トランスポーター、ペプチドはペプチドトランスポーターにより能動的に吸収される。ペプチドの移送は、ジペプチドであればアミノ酸を2個、トリペプチドであればアミノ酸を3個同時に運べる点において吸収に優れる。さらに、ペプチドトランスポーターは「節操がなく」さまざまな種類のペプチド（時にペプチド類似物質であっても）を搬送するとされる。よって、アミノ酸よりペプチドの方が吸収に向くとされ、重症患者用経腸栄養剤組成において、ペプチド（消化態栄養剤）重視が一般的となった。

ただし、日本版重症患者の栄養療法ガイドライン 2024⁵⁾（日本集中治療医学会）において、「重症患者において、消化態栄養剤または成分栄養剤による経腸栄養を行わないことを弱く推奨する」と、集中治療医の従来の常識と逆方向の推奨がなされた。様々な評価項目を検討するガイドライン作成において、ペプチドを好ましいとする評価項目も多くあったが、死亡アウトカムのメタ解析において不利な結果があり推奨に影響したようである。日本のガイドラインにおける独自の推奨であり、今後議論を呼ぶ可能性がある。

重症患者用経腸栄養剤

重症患者においてタンパク質の摂取量は1.2g/kg以上を目標とし、早期での到達をめざす。一方、underfeeding方針により1日当たりの投与エネルギー量が段階的に上昇する中で、タンパク質源の目標量即時到達は現実的ではなく、タンパク質源の摂取量も段階的に上昇する。

重症患者用経腸栄養剤（濃厚流動食）のスペックは以下が主に望まれる。

- ①容量あたりのエネルギー量が多い 重症患者管理において、水分負荷を抑えるために、濃厚な製剤が望ましい。一般的な経腸栄養剤は1kcal/mLであるが、重症患者用経腸栄養剤の多くは1.5kcal/mL程度である。
- ②容量あたりのタンパク質源が多い エネルギー量と同様に、タンパク質源濃度が高い製剤が望ましい。9.5g/100mL（ペプタメンAF、ネスレ）が最も高濃度であり、他製品

表2 CHD・CHDF・CHFの効率の比較

	透析（拡散）原理 によるクリアランス	ろ過原理による クリアランス	小分子クリアランス	中分子クリアランス
CHD	800mL/時弱	0	800mL/時弱	0
CHDF	500mL/時弱	300mL/時	800mL/時弱	300mL/時
CHF	0	800mL/時	800mL/時	800mL/時

小分子クリアランス＝透析原理＋ろ過原理、中分子クリアランス＝ろ過原理
文中設定例の比較。サブラッドなど血液浄化液（透析液＋補充液）の使用量はいずれも800mL/時

は多くても 5~6g/100mL 程度である。

- ③浸透圧が低い 経腸栄養剤の濃度を上げれば上記 2 点のクリアは難しくないが、浸透圧が高くなり下痢につながる。エネルギー量やタンパク質源の量を高くしながら、浸透圧を低くする必要があり、各メーカーの技術が競われる。

- ④タンパク質源はペプチドを重視 先に、新しい日本の栄養ガイドラインにおいて、否定的な方向性が示されたことを紹介したが、従来、重症患者用経腸栄養剤としてペプチド製品が重視された。

- ⑤食物繊維配合 日本版重症患者の栄養療法ガイドライン 2024⁵⁾において、食物繊維投与(プレバイオティクス)が強く推奨されている。

経腸栄養剤は、様々な成分を配合する食品であり、①~⑤の全てを同時に満たすことは難しい。例えば、ペプタメン AF は食物繊維を含まない。従来、多くの急性期病院 ICU において、①~④の条件を重視し、ペプタメン AF を重症患者用経腸栄養剤として使用するケースが多かった。ペプタメン AF は高コストであるため、ICU など重症病棟に使用を限定されるのが一般的である。

先に紹介したように、日本版重症患者の栄養療法ガイドライン 2024⁵⁾においてペプチド製剤への否定的な推奨がなされ、波紋を呼んでいる。今後、各施設において、経腸栄養剤の選択方針が再検討されるかもしれない。また、点滴アミノ酸製剤であるアミパレン(大塚製薬工場)の併用といった取り組みもなされるかもしれない。

急性期栄養療法と急性期血液浄化

2010 年代、重症敗血症に対して血液浄化の強度が高いほどよいと発想され試験が行われたが、むしろ害であることが判明した。「血液の洗いすぎ」によって、抗菌薬・栄養成分などが失われることによると考えられ、CRRT trauma, dialysis trauma⁶⁾といった概念も提唱された。

血液浄化液使用量を 800mL/時とすると、CRRT のいずれのモードであっても、小分子クリアランスは 800mL/時程度となる(表 2)。即ち、血液から小分子が 800mL/時のスピードで取り除かれる。血液浄化の仕組みは単純であり、有害な尿毒物質だけを選択的にとりのぞき、有益な栄養物質を残すことはできない。即ち、血液中の水溶性アミノ酸も尿毒物質と同様に除去される。

重症患者管理におけるタンパク質源の摂取量は 1.2g/kg/日以上を目標とすることを紹介したが、CRRT を併用する患者においてはさらに高い摂取量が必要となる。アメリカのガイドライン³⁾において少なくとも通常より 0.2g/kg 増加させ最大 $\leq 2.5\text{g/kg}$ 、ヨーロッパのガイドライン⁴⁾において 1.5~1.7g/kg/日程度とされる。ただし、日本における血液浄化液の使用量は、海外に比して少ないため必要量は海外ガイドライン推奨量より少ない可能性がある。

実診療において 1.2g/kg/日の達成ですら簡単とはいえ、CRRT 併用時には一層、タンパク質源の補充を意識しなければならない。また CRRT 用血液浄化液はリンを含まないため、低リン血症となりがちであり、refeeding 症候群などにつながる。CRRT 運転時には、毎日血清リン濃度を測定しなければならない。

腎不全用経腸栄養剤

腎不全患者用に 1993 年に発売された経腸栄養剤リーナレン LP・MP(明治)がある。電解質などの含有量が少なく、1.6kcal/mL とエネルギー濃度は高い。タンパク質源はタンパク質であり、LP (low protein) 1.6g/100mL、MP (medium protein) 5.6g/100mL と特に LP は極度に低く、浸透圧は 700mOsm/L 強と非常に高い。水分・タンパク質・各種電解質制限を必要とする透析導入前の末期腎不全患者を想定して開発された製品である。腎不全における経腸栄養剤=リーナレンととらえ、CRRT 運転時にリーナレンを使用する施設がある。

だが、ICU 患者の腎不全といっても、もと

もと腎機能が正常である患者の急性腎障害、慢性腎不全、慢性腎不全患者に急性腎障害の合併など病態は様々である。慢性腎不全の有無に関わらず、急性期重症患者は異化によりタンパク質を喪失し、CRRT 運転によりさらにアミノ酸を喪失する。高浸透圧である経腸栄養剤を投与すると、容易に下痢をおこす。筆者は、CRRT 運転時、腎不全の有無・病態を問わずリーナレンは使用せず、通常の重症患者用経腸栄養剤を使用する。

最 後 に

特定集中治療室において専任管理栄養士の配置、早期栄養開始、アセスメントなどを行うことにより、早期栄養介入管理加算が得られるよ

うになった。筆者在籍 ICU においては、加算が始まる前から、管理栄養士が朝のカンファレンスに参加し、栄養管理について積極的にアドバイスがなされた。あるいは、週に1回、NST (nutrition support team, 代謝内分泌内科医師、管理栄養士などにより構成) と ICU 医師・看護師間でディスカッションがなされる。栄養に関する新しい情報ももたらされ、筆者の栄養の知識も相当アップデートされた。

近年、多職種連携が重視される。ICU における栄養管理において、まさに多職種連携の意義を感じる日々である。この場を借りて、代謝内分泌内科医師、管理栄養士らに感謝したい。

開示すべき潜在的利益相反状態はない。

文 献

- 1) 小尾口邦彦. こういうことだったのか!! CHDF 東京: 中外医学社, 1-110, 2018.
- 2) 小尾口邦彦. こういうことだったのか!! CHDF・ECUM・PE トータルマネジメント. 中外医学社, 東京: 中外医学社, 1-198, 2023.
- 3) McClave SA, Taylor BE, Martindale RG, et al. Guidelines for the Provision and Assessment of Nutrition Support Therapy in the Adult Critically Ill Patient: Society of Critical Care Medicine (SCCM) and American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (A.S.P.E.N.). JPEN J Parenter Enteral Nutr, 40: 159-211, 2016.
- 4) Fiaccadori E, Sabatino A, Barazzoni R, et al. ESPEN guideline on clinical nutrition in hospitalized patients with acute or chronic kidney disease. Clin Nutr, 40: 1644-68, 2021.
- 5) Nakamura K, Yamamoto R, Higashibepu N, et al. The Japanese Critical Care Nutrition Guideline 2024. J Intensive Care, 13: 18, 2025.
- 6) Honoré PM, Jacobs R, Joannes-Boyau O, et al. Con: Dialy- and continuous renal replacement (CRRT) trauma during renal replacement therapy: still under-recognized but on the way to better diagnostic understanding and prevention. Nephrol Dial Transplant, 28: 2723-7, 2013.

著者プロフィール



小尾口 邦彦 Kunihiko Kooguchi

所属・職：京都府立医科大学大学院医学研究科麻酔科学・集中治療部 准教授

略 歴：1993 年 3 月 京都府立医科大学医学部医学科卒業
 1993 年 5 月 京都府立医科大学附属病院研修医
 1994 年 4 月 京都第一赤十字病院研修医
 1999 年 3 月 京都府立医科大学大学院医学研究科卒業
 1999 年 4 月 大津市民病院救急診療科・集中治療部
 2011 年 4 月 大津市民病院救急診療科診療部長
 2019 年 2 月 市立大津市民病院救急診療科・集中治療部診療部長
 2019 年 7 月 京都市立病院集中治療科部長
 2022 年 7 月 京都府立医科大学麻酔科学教室・集中治療部
 2023 年 7 月～現職

専門分野：集中治療医学，麻酔科学，救急医学

最近興味のあること：とにかく難しくとらえられがちな ICU 診療の平易な解説

- 主な業績：1. Sawa T, Kooguchi K, Moriyama K. Molecular diversity of extended-spectrum β -lactamases and carbapenemases, and antimicrobial resistance. *J Intensive Care*, **8**: 13, 2020
2. Sudo K, Kinoshita M, Kawaguchi K, Kushimoto K, Yoshii R, Inoue K, Yamasaki M, Matsuyama T, Kooguchi K, Takashima Y, Tanaka M, Matsumoto K, Tashiro K, Inaba T, Ohta B, Sawa T. Case study observational research: inflammatory cytokines in the bronchial epithelial lining fluid of COVID-19 patients with acute hypoxemic respiratory failure. *Crit Care*, **28**: 134, 2024.
3. Sudo K, Sawa T, Kushimoto K, Yoshii R, Yuasa K, Inoue K, Kinoshita M, Yamasaki M, Kooguchi K. Choice of respiratory therapy for COVID-19 patients with acute hypoxemic respiratory failure: a retrospective case series study. *PeerJ*, **11**: e15174, 2023.
4. Watanabe M, Atagi N, Makino Y, Kooguchi K, Ohta B. Acute alcohol intoxication presenting acquired lesion of the corpus callosum in a young healthy woman: A case of possible Marchiafava-Bignami disease. *Acute Med Surg*, **11**: e960, 2024.
5. 小尾口邦彦. こういうことだったのか!! 一般医療者の生き残りの気管挿管. 東京：中外医学社，1-208, 2025.
6. 小尾口邦彦. こういうことだったのか!! 一般医療者の生き残りの気道管理. 東京：中外医学社，1-148, 2025.
7. 小尾口邦彦. こういうことだったのか!! CHDF・ECUM・PE トータルマネジメント. 東京：中外医学社，1-198, 2023.
8. 小尾口邦彦. こういうことだったのか!! ハイフローセラピー. 東京：中外医学社，1-150, 2022.