

Fremdblutsparende Verfahren in der operativen Medizin



Dr. med. Burkard Rudlof, M.Sc.

Kliniken St. Antonius, Wuppertal

Zusammenfassung

Viele fremdblutsparende Maßnahmen wurden in einer Zeit entwickelt, als das hohe Risiko der Fremdblutgabe einige riskante und wenig effektive Verfahren rechtfertigte. Der hohe Sicherheitsstandard im Transfusionswesen macht es notwendig, sich mit diesen Verfahren kritisch auseinanderzusetzen, auch wenn die zunehmende Ressourcenverknappung diese Verfahren wieder attraktiv erscheinen lässt. Folgende Verfahren sind unter Betrachtung der Sicherheit und Effektivität zu empfehlen:

- gründliche Gerinnungsanamnese
- Aufrechterhaltung der intraoperativen Normothermie
- Vermeidung von Azidosen
- Korrektur von Hypokalzämien
- Prophylaktischer Einsatz von Antifibrinolytika bei bestimmten Operationen
- Eigenblutspende bei optimaler Planung
- Maschinelle Autotransfusion
- Zurückhaltendes Transfusionsverhalten

Summary

Measures to avoid allogeneic blood transfusion have been developed, when the high risk of transfusion justified some risky and nearly ineffective procedures. The high standard in transfusion medicine requires a critical look at these methods, even when the increasing shortage of resources casts the methods beneficial.

The following methods can be recommended considering the safety and effectivity:

- detailed history of clotting disorders
- intraoperative normothermia
- avoidance of acidosis
- adjustment of hypocalcaemia
- prophylactic use of antifibrinolytics in special procedures
- autologous blood therapy under optimal timing conditions
- autotransfusion
- reluctant use of homologous blood

Einleitung

Die Gabe von Fremdblut ist in vielen Fällen lebensrettend und mit einer äußerst niedrigen Komplikationsrate verbunden. Nicht zuletzt das Transfusionsgesetz von 1998 führte zu einer deutlichen Reduktion der transfusionsassoziierten Infektionen.

Viele fremdblutsparende Verfahren stammen aus einer Zeit, in der das Risiko der Fremdblutgabe deutlich höher war und daher auch ein Risiko oder geringer Nutzen der Therapien in Kauf genommen wurde. Einige dieser Verfahren gelten daher heutzutage als obsolet.

Zwischenzeitlich war sogar die Frage durchaus berechtigt, ob die Fahrt zur Eigenblutspende nicht riskanter sei als die Transfusion von Fremdblut. Besonders die Eigenblutverfahren sind dadurch in Verruf geraten.

Die demographische Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland führt aber schon heute zu ernstem Versorgungsengpässen und dieser Trend wird in den nächsten Jahren andauern, denn die Zahl der über 60jährigen (potentielle Empfänger) wird zunehmen und die Zahl der unter 60jährigen (potentielle Erstspender) wird abnehmen. Es ist daher anzunehmen, dass der Stellenwert fremdblutsparender Verfah-

ren zukünftig neu bewertet werden muss.

Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick über verschiedene Verfahren und versucht eine Bewertung.

Reduktion des Blutverlustes

Neben dem manuellen Geschick des Operateurs und der Operationstechnik kommt der Aufrechterhaltung oder Optimierung der Hämostase eine wesentliche Rolle bei der Minimierung der Blutung zu. Leider wird manchmal im klinischen Alltag in teilweise grotesker Art gegen diese einfachen Regeln verstoßen.

Ausschluss von Hämophilien

Hämophilien wie das von Willebrand-Syndrom sind beileibe keine Raritäten. Zwar sind nicht alle Formen wirklich klinisch relevant, aber in Extremsituationen können sie durchaus eine Blutstillungsverzögerung bewirken (1).

Die üblicherweise präoperativ bestimmten Gerinnungsparameter (Quick und PTT) sind bei weitem nicht so aussagekräftig wie eine gründliche Anamnese. Aufwendige Fragebögen erfassen zwar sehr detailliert alle Risiken (2),



jedoch hat sich in unserer Klinik gezeigt, dass die praktische Durchführbarkeit wegen des Zeitaufwands nicht praktikabel erscheint. Neben der allgemeinen Frage nach längerer Blutungszeit, Hämatomneigung und Einnahme gerinnungshemmender Medikamente haben sich in unserer Klinik die folgenden Fragen ohne Anspruch auf wissenschaftliche Überprüfung bewährt:

1. (bei Frauen) Ist oder war die Menstruationsblutung verstärkt oder verlängert?
2. Kam es nach einer Zahnextraktion zu einer Nachblutung?
3. Kam es bei Operationen zu Nachblutungen?
4. Wurden jemals Transfusionen durchgeführt? Wenn ja, war der Anlass ausreichend?

Der Verdacht kann mit der in vivo Blutungszeit nach Ivy leicht bestätigt

werden. Eine normale Blutungszeit hingegen schließt eine Hämophilie nicht sicher aus. Bei einem pathologischen Befund oder weiter bestehendem Verdacht sollte eine hämostaseologische Abklärung erfolgen, da nur so eine gezielte Therapie durchgeführt werden kann. Die ungezielte Therapie mit Frischplasma bei

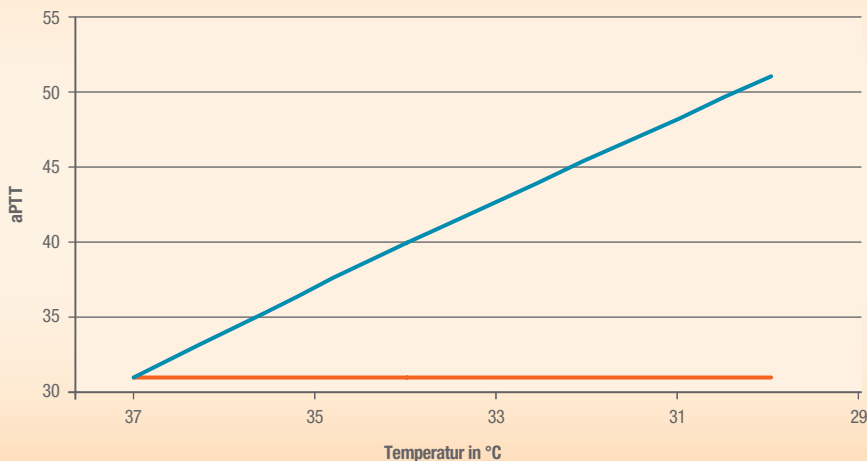
bereits eingetretener Blutung ist zum einen zu spät, meist unterdosiert und häufig auch gar nicht hilfreich (3,4).

Das Absetzen gerinnungshemmender Medikamente muss nach den Zeitvorgaben der **Tabelle 1** erfolgen. Bei kritischen Revaskularisationen oder Stenteinlagen sollte auf jeden Fall eine Rücksprache mit Kardiologen, Angiologen oder Gefäßchirurgen erfolgen. Gegebenenfalls muss dann das erhöhte Risiko einer Nachblutung in Kauf genommen werden. Uneinigkeit herrscht über die Frage, ob niedrig dosierte Acetylsalicylsäure bei bestehender KHK oder kritischen Carotisstenosen präoperativ abgesetzt werden sollte.

Sicherheitsabstand zwischen OP und Absetzen von Antikoagulantien

	Zeitlicher Abstand	Laborkontrolle
• Unfraktionierte Heparine (low dose)	4 h	Thrombozyten bei Therapie > 5 Tagen
• Unfraktionierte Heparine (high dose)	4 h	aPPT, Thrombozyten
• Niedermolekulare Heparine (low dose)	10 – 12 h	Thrombozyten bei Therapie > 5 Tagen
• Niedermolekulare Heparine (high dose)	24 h	Thrombozyten bei Therapie > 5 Tagen
• Fondaparinux	20 – 22 h	
• Kumarine		INR < 1,4
• Hirudine (Lepirudin, Desirudin)	8 – 10 h	
• Melagatran	8 – 10 h	
• Acetylsalicylsäure	> 2 Tage	
• Clopidogrel	> 7 Tage	
• Ticlopidin	> 10 Tage	

Zusammenhang zwischen Temperatur und aPTT (nach 28)



Aufrechterhaltung der Normothermie

Dies ist wahrscheinlich die einfachste und zugleich am häufigsten missachtete fremdblutsparende Maßnahme. Perioperative Hypothermie entsteht bereits bei der Narkoseeinführung durch Umverteilung innerhalb weniger Minuten (5). Die ausgeschalteten Gegenregulationsmechanismen und wahrscheinlich auch eine Sollwertverstellung tun neben einem kalten OP-Saal und einer großen Wundfläche mit entsprechender Verdunstungskälte ihr Übriges.

Es gilt als gesichert, dass Normothermie zu weniger Wundheilungsstörungen, weniger perioperativen Myokardinfarkten und auch insgesamt zu einer höheren Überlebensrate führt (5).

Der Abfall der Körpertemperatur führt zu einer Reduktion aller enzymatischen Vorgänge. Dies betrifft natürlich auch die Blutgerinnung. Im Labor

werden Blutproben zur Gerinnungsanalytik auf 37 °C erwärmt, um standardisierte Bedingungen zu schaffen. Die Kältehämphilie ist daher im Routinelabor nicht nachweisbar. Erst wenn man zur Analytik die Temperatur im Wasserbad auf die Temperatur des Patienten einstellt, wird das Ausmaß der Gerinnungsstörung sichtbar (Abbildung 1). Der Einfluss der Normothermie auf die Reduktion des Blutverlustes konnte auch in vielen klinischen Untersuchungen nachgewiesen werden. Weitere prospektive Studien sind aber wegen der eindeutig gesicherten Vorteile der Normothermie wahrscheinlich ethisch nicht mehr vertretbar.

Vermeidung von Azidosen

Das pH-Optimum für die Gerinnungsproteasen liegt bei einem pH-Wert zwischen 8 und 8,5. Dieser Wert hätte aber erhebliche negative Auswirkungen auf die Sauerstoffabgabe und sollte daher auf jeden



Abbildung 1

Die blaue Linie zeigt den temperaturkorrigierten Messwert. Die rote Linie ist nicht temperaturkorrigiert.

Fall vermieden werden. Ein Absinken des pH auf 7,0 führt zu einem Abfall der Thrombinaktivierung um 70 % und des Faktors VIIa um 90 % (6).

Azidosen treten intraoperativ meist als metabolische Azidosen durch Perfusionsstörungen auf. Prophylaktisch muss auf eine angemessene Flüssigkeitszufuhr geachtet werden. Keinesfalls darf es aber zu einer Überfüllung des Intraavasalraumes kommen. Das früher häufig propagierte Konzept des „Volumenpolders“ führt zu einem venösen Pooling und damit zu einem erhöhten Blutverlust durch venöse Sickerblutungen. Dies macht sich besonders in der Leberchirurgie bemerkbar (7). Auf Expertenniveau wird eine Pufferung ab einem pH-Wert von 7,15 empfohlen. Ob Trispuffer oder Natriumhydrogenkarbonat eingesetzt werden soll, ist derzeit nicht geklärt.

Vermeidung von Hypokalzämie

Entscheidend für die Wirksamkeit von Kalzium ist der freie ionisierte Anteil. Die üblichen Laborbestimmungen sind praktisch ohne Aussage. Der ionisierte Anteil kann nur zusammen mit einer Blutgasanalyse





bestimmt werden. Hypokalzämien treten im Zusammenhang mit bestimmten Krankheitsbildern wie der Pankreatitis, aber viel häufiger iatrogen durch übermäßige Zitratzufuhr bei Massentransfusionen auf. Ab einem ionisierten Kalziumwert von 1,0 mmol/l ist die Substitution nicht nur aus gerinnungsphysiologischen Aspekten, sondern auch aus kardialer Sicht sinnvoll. Die häufig aufgeworfene Frage, ob die Substitution mit Kalziumchlorid oder Kalziumgluconat erfolgen soll, scheint keine Bedeutung zu haben (8).

Prophylaktischer Einsatz von Antifibrinolytika

Antifibrinolytika verhindern die Fibrinolyse, indem sie die Synthese von Plasmin aus Plasminogen verhindern (Abbildung 2). Es liegt umfang-

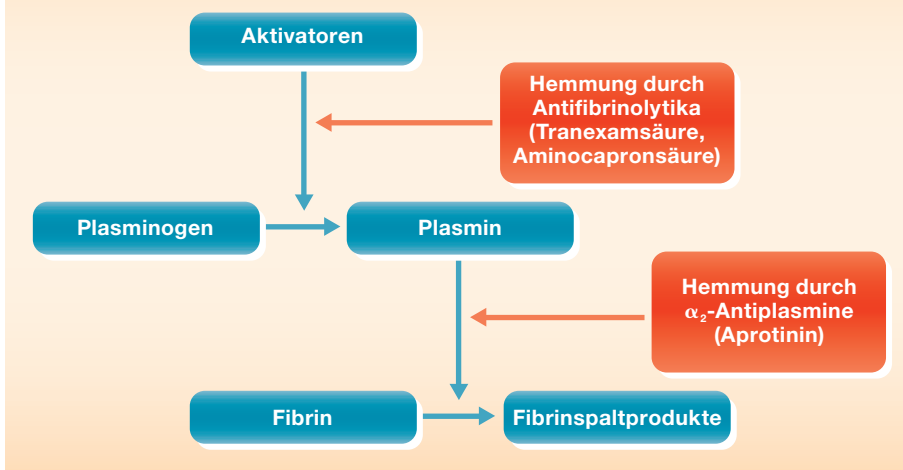
reiches Studienmaterial vor allem für den Bereich der Orthopädie und Herzchirurgie vor (9–13). Studien in anderen Bereichen wie der onkologischen Viszeralchirurgie sind schwierig, da das operative Vorgehen durch die Tumorausdehnung bestimmt wird und vergleichbare Gruppen nur in sehr großen Kollektiven möglich sind. Der Einsatz in diesen Bereichen sollte mit großer Vorsicht erfolgen, da es durchaus möglich ist, dass im Rahmen eines paraneoplastischen Syndroms eine erhöhte Thromboseneigung vorliegen kann. In unserer Klinik setzen wir Antifibrinolytika daher nur bei diffuser Blutungsneigung ein. Das Gleiche gilt für die Sectio caesarea, wegen des prokoagulatorischen Übergewichts von Schwangeren. Der prophylaktische Einsatz in diesen Bereichen sollte unserer Meinung nach erst dann erfolgen, wenn ent-

sprechendes aussagekräftiges Studienmaterial vorliegt.

Eine Zwischenauswertung der BART-Studie hat zur Marktrücknahme des α_2 -Antiplasmins Aprotinin geführt. Zwar war Aprotinin bezüglich des Blutverlustes bei herzchirurgischen Patienten effektiver als Tranexamsäure oder Aminocapronsäure (in Deutschland nicht erhältlich), aber das Mortalitätsrisiko war unter Aprotinin auch signifikant erhöht (14). Dadurch steht in Deutschland nur mehr Tranexamsäure als Antifibrinolytikum zur Verfügung.

Tranexamsäure kann entweder als Bolus (15mg/kgKG) alle 6 Stunden oder als Bolus mit anschließender Dauerinfusion von 3–5mg/kgKG/h gegeben werden. Kontraindikationen sind vor allem nachgewiesene Thrombophilien. Bei Niereninsuffizienz sollte eine Dosisanpassung erfolgen.

Wirkung von Antifibrinolytika und α_2 -Antiplasminen



„Ausreichend“ hoher Hämatokrit

Wie weiter unten gezeigt wird, führt ein hoher Hämatokrit zu einer verbesserten Blutstillung, indem Thrombozyten zum Gefäßrand hin gedrängt

Abbildung 2

Der physiologische Ablauf ist blau gekennzeichnet. Die pharmakologischen Eingriffsmöglichkeiten sind rot dargestellt.



werden. Eine konsequente Anwendung dieses Effektes hätte aber zur Folge, dass Blutungen auf Kosten von Erythrozytenkonzentraten vermieden werden. Es erklärt aber, warum Operateure immer wieder beklagen, dass Patienten nach der Eigenblutspende vermehrt bluten, obwohl plasmatische Gerinnung und Thrombozytenzahl den Ausgangswert längst wieder erreicht haben.

Eine Anhebung des Hämoglobingewertes auf 10g/dl kann daher nur bei schweren Blutungen empfohlen werden (15). Als Prophylaxe scheint dieses Verfahren ungeeignet.

Reduktion der Fremdblutgabe trotz Blutverlust

Akute normovoläme Hämodilution

Die Idee der akuten normo- oder sogar hypervolämen Hämodilution ist es, durch aggressive Eigenblutentnahme und Gabe von Volumener-

satzmitteln vor dem Eingriff den Hämatokrit auf Werte um 20 %, oder sogar darunter, zu senken und damit einen geringeren Nettoverlust an Erythrozyten zu erzielen, da bei gleichem Blutverlust dann die Menge an verlorenen Erythrozyten geringer ist. Nachdem die Operation vorbei ist, werden die Erythrozyten retransfundiert und der Hämatokrit ist höher als ohne Hämodilution.

Dieses auf den ersten Blick sehr logische Konzept stößt in der Praxis neben dem Risiko einer anämischen Hypoxie in kritischen Organen wie dem Herzen während der Dilutionsphase auf einige Probleme.

Bei der Blutentnahme werden nicht nur Erythrozyten, sondern auch Thrombozyten und Gerinnungsfaktoren entzogen.

Der geringere Hämatokrit führt zudem per se zu einer Koagulopathie. Erythrozyten sorgen dafür, dass die Thrombozyten an die Gefäßwand gedrängt werden. Die Synthese von Thromboxan B₂ (Metabolit des kurz-

lebigen Thromboxan A₂) nach Kollagenstimulation ist unter Abwesenheit von Erythrozyten halbiert. Die Adenosindiphosphatkonzentration ist sogar um das 6,9-fache vermindert (16). Insgesamt kommt es also zu einer deutlichen Beeinträchtigung der Hämostase (15).

Wird die Hämodilution hypervoläm durchgeführt, kommt es wie oben bereits erwähnt zu einer Zunahme venöser Sickerblutungen. Desweiteren führen solche Konzepte neben einer Überwässerung zu einer Zerstörung der endothelialen Glykokalix durch vermehrte Ausschüttung von atrialem natriuretischen Peptid (17).

Selbst wenn sich dies nicht auf den Blutverlust auswirkt, liegt der theoretische Gewinn an Erythrozyten unter Ausnutzung aller Möglichkeiten selten höher als ein halbes Erythrozytenkonzentrat. Es verwundert daher nicht, dass in Metaanalysen die Wirksamkeit nicht nachvollziehbar ist (18).

Im Tierversuch zeigten sich unter aggressiver Hämodilution und kontrollierter Hypotension deutliche Hirnschäden (19).

Da ein Effekt daher überhaupt nur denkbar ist, wenn das Verfahren sehr aggressiv betrieben wird, muss mit erheblichen Risiken wie erhöhter



postoperativer Komplikationsrate und längerer Liegedauer bei der Anwendung gerechnet werden. Dieses Verfahren sollte daher nicht mehr zur Anwendung kommen.

Eigenblutspende

Die Eigenblutspende ist der Klassiker unter den fremdblutsparenden Verfahren.

Man nutzt dabei die bis zu 49tägige Haltbarkeit der Erythrozytenkonzentrate aus. Dem Patienten werden innerhalb von 14 Tagen 2–3 Blutkonserven entnommen. Die leichte Anämie sorgt für eine verstärkte Produktion von Erythrozyten und die Thrombozyten und Gerinnungsfaktoren können in dieser Zeit leicht nachgeliefert werden. Die Operation sollte dann idealerweise kurz vor Verfall der Erythrozytenkonzentrate angesetzt werden.

Die Erythropoese kann durch Gabe von Erythropoetin verstärkt werden. Dies macht vor allem bei anämischen wie z.B. Tumor-Patienten Sinn. Bewährt hat sich eine Gabe von 12 x 50i.E./kgKG über einen Zeitraum von 6 Wochen. Bei der Indikationsstellung sollte aber immer an eine eventuelle Progression des Tumorwachstums gedacht werden.

Die so genannte „Bocksprung“-Methode wird praktisch nicht mehr angewandt und soll nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden. Dabei werden dem Patienten bei jeder Sitzung die bereits entnommenen Erythrozytenkonzentrate retransfundiert und anschließend wird die gleiche Menge plus eine weitere Blutkonserve wieder entnommen. So ist theoretisch mit genügend Zeit jede beliebige Konservenzahl erhältlich.

Voraussetzung für die Anwendung ist zum einen die risikoarme Blutspende. Risikopatienten profitieren von diesem Verfahren sicherlich nicht. Des Weiteren muss eine gute Planbarkeit vorhanden sein. Es wäre fatal, wenn die Konserven verfallen oder bereits wenige Tage nach der letzten Spende operiert wird.

Bei der Beurteilung des Einspareffektes darf man nicht davon ausgehen, dass man nun 2–3 Konserven gewonnen hätte. Der Spareffekt ist nur die Menge an neu gebildeten Erythrozyten und liegt maximal in der Größenordnung von einem Erythrozytenkonzentrat. Eine Metaanalyse kommt sogar zu dem Schluss, dass klinische Daten für eine eindeutige Handlungsempfehlung nicht vorhanden sind (20).

In Zukunft ist es aber denkbar, dass längere Lagerzeiten die Effektivität



verbessern und der Mangel an Blutkonserven dazu zwingt, den für den Aufwand relativ geringen Gewinn in Kauf zu nehmen.

Maschinelle Autotransfusion

Bei diesem Verfahren wird ein spezieller Op-Sauger benutzt, bei dem während des Absaugens eine heparinisierte Kochsalzlösung zugesetzt wird. Das jetzt ungerinnbare Blut wird gesammelt. Ab einer bestimmten Menge wird das Blut in einer Zentrifuge aufbereitet. Dabei sammeln sich die schweren Erythrozyten am Rand und durch Zufuhr von Spüllösung werden Heparin und andere Verunreinigungen heraus gewaschen. Es entsteht ein hochwertiges Erythrozytenkonzentrat, welches retransfundiert werden kann.

Der Einspareffekt kann je nach Blutverlust erheblich sein. Viele gefäßchirurgische Eingriffe sind ohne dieses Verfahren kaum denkbar. Problematisch sind die hohen Anschaffungskosten, so dass dieses Verfah-

ren nur empfohlen werden kann, wenn es auch häufig zur Anwendung kommt.

Die Anwendung erfordert keinerlei Vorlaufzeit und kann auch bei Notfall-eingriffen eingesetzt werden. Lediglich ein bakteriell kontaminiertes OP-Feld stellt eine klare Kontraindikation dar, obwohl theoretisch durch eine ausreichende Waschung zumindest im Einzelfall eine weitgehende Keim-elimination zu erreichen ist. Dies ist aber nicht in jedem Fall sicherzustellen und sollte daher in keinem Fall zur Anwendung kommen.

Operationen im Bereich von Malignomen können durch die Einschleppung von Tumorzellen zu einer hämatogenen Metastasierung führen. Eine Reduktion der Tumorzellen wäre durch einen Leukozytendepletionsfilter möglich. Diese Reduktion ist aber nicht ausreichend.

Um tumorzellkontaminiertes Wundblut zu verwenden, ist es notwendig, eine Bestrahlung durchzuführen. Dabei wird die DNA der Tumorzellen zerstört. Die zellkernlosen Erythrozyten sind dagegen weitgehend strahlenresistent. Eine Bestrahlung mit 50 Gray führt zu einer Reduktion der Tumorzellen um 10 log Stufen und gilt als sicher, wenn sie als überprüfbares Verfahren durchgeführt wird (21).

Neben dem Einspareffekt scheint dieses Verfahren auch immunologische Vorteile zu besitzen. Zwar glaubte man, dass die Einführung der Leukozytendepletion den immunsuppressiven Effekt homologer Blutpräparate wesentlich vermindern würde, dies konnte in klinischen Studien jedoch nicht bestätigt werden. Keown et al. sehen die Erklärung in der Phagozytose alterierter transfundierter Erythrozyten im retikulo-histiozytären System. Dies führt zu einer unspezifischen Hemmung der Makrophagen (22).

Klinische Studien konnten zeigen, dass der Einsatz autologer Blutpräparate den homologen bezüglich der perioperativen Komplikationsrate überlegen ist. Effekte auf das Langzeitüberleben sind bisher nicht gesichert (23,24). Das vielfach vorgetragene Argument, dass eine vermehrte Gabe von homologen Erythrozytenkonzentraten häufig mit einem fortgeschrittenen Tumorstadium und einer längeren OP-Zeit verbunden ist, konnte durch den Nachweis als unabhängiger Risikofaktor weitgehend entkräftet werden (23).

Vor allem in der Kolonchirurgie ist das OP-Feld per se bakteriell kontaminiert. Dies gilt aber erst ab dem Moment, wenn der Darm eröffnet wird. Häufig findet der größte Blutverlust während der Präparation –

also vor Eröffnung des Darmes – statt. Bis zu diesem Zeitpunkt kann auch bei diesen Operationen das Blut retransfundiert werden.

Bei der Bestrahlung muss gesichert sein, dass sie stattgefunden hat und ausreichend war. Entsprechende mit Röntgenfilm markierte Blutbeutel sichern zumindest, dass eine Bestrahlung stattgefunden hat. Auch die gesetzlichen Grundlagen müssen eingehalten werden. Dies kann problematisch sein, wenn die Bestrahlung in der radiologischen Abteilung stattfindet. Hersteller und Anwender sind dann zwei verschiedene Personen, so dass eine Herstellungserlaubnis durch die Aufsichtsbehörde erforderlich wird.

Aus medizinischer Sicht kann daher die Anwendung der maschinellen Autotransfusion auch bei Tumoroperationen unter Beachtung der Kontraindikationen auf hohem Niveau empfohlen werden, wenn die entsprechenden Voraussetzungen gegeben sind.

Ausnützen des kritischen Hb

Der kritische Hb wird auch als DO₂krit bezeichnet. Er kennzeichnet also den Bereich, in dem das Sauerstoffangebot einen kritischen Wert unterschreitet. Das Sauerstoffangebot ist definiert als:

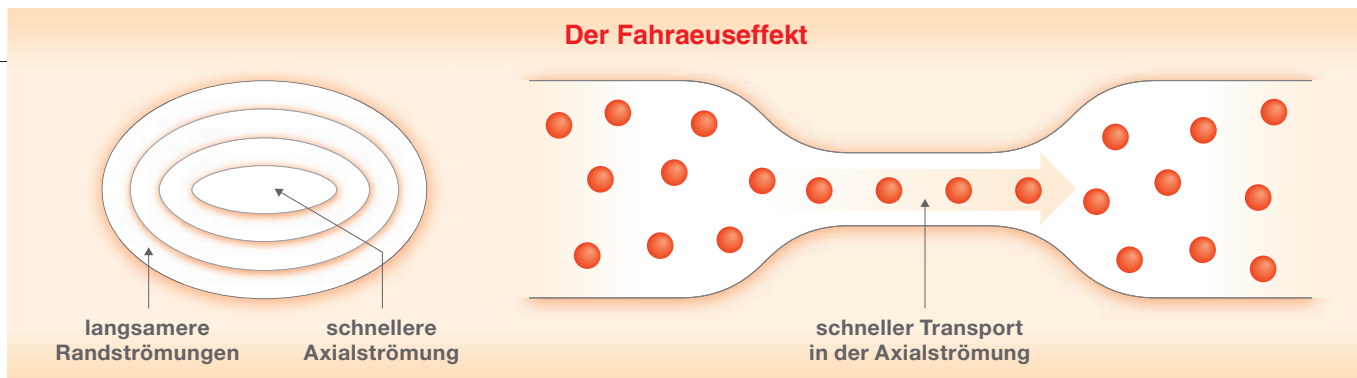


Abbildung 3

$$DO_2 = \text{HZV} \cdot [(\text{SaO}_2 \cdot \text{Hb} \cdot 1,39) + (\text{PaO}_2 \cdot 0,0031)]$$

Aus der Formel wird ersichtlich, dass ein niedriger Hb-Wert durch ein gesteigertes Herzzeitvolumen kompensiert werden kann. Das Ausmaß der Steigerung ist von der individuellen Leistungsfähigkeit des Herzens abhängig. Daher kann ein junger, gesunder Patient niedrigere Hb-Werte tolerieren, als ein Patient mit schwer vorgeschädigtem Herzen.

Eine Steigerung durch verbesserte Oxygenierung ist beim lungengesunden Patienten hingegen kaum möglich, da bereits unter normalen Bedingungen eine 97%ige Sauerstoffsättigung erreicht wird. Eine Erhöhung des physikalisch gelösten Anteils durch Zufuhr von Sauerstoff kann zwar den PaO_2 um ein Vielfaches erhöhen, da dieser aber nur mit dem Faktor 0,0031 (Bunsenscher Löslichkeitskoeffizient für Sauerstoff in Plasma) in die Formel eingeht, bleibt die Wirkung äußerst gering. Nur unter hyperbaren Bedingungen ist es daher möglich, allein durch den physikalisch gelösten Anteil die Sauerstoffversorgung sicherzustellen.

Eine Beatmung mit 100 % Sauerstoff kann aber auch unter Meereshöhenbedingungen sinnvoll sein, wenn bei niedrigen Hb-Werten der physikalische Sauerstofftransport optimiert oder die verschlechterte Sauerstoffabgabe bei mangelndem 2,3 DPG-Gehalt von Blutkonserven kompensiert werden soll.

Einen weiteren Kompensationsmechanismus stellt der Fahraeuseffekt (25) dar (Abbildung 3). Um den Fahraeuseffekt zu verstehen, ist es notwendig, sich mit den Gesetzmäßigkeiten von Strömungen auseinanderzusetzen.

Stellt man sich den Querschnitt eines mit Flüssigkeit gefüllten Rohres vor, so kann man verschiedene Schichten mit verschiedenen Fließgeschwindigkeiten unterscheiden. Je näher die Schicht an der Rohrwand liegt, desto langsamer fließt sie. In der Mitte des Rohres – dem so genannten Axialstrom – wird die höchste Fließgeschwindigkeit erreicht. Teilchen, die von diesem Strom mitgerissen werden, bewegen sich also schneller als die gesamte Flüssigkeit. Dies kann man nachweisen, indem man eine

Suspension durch eine Kapillare fließen lässt, deren Durchmesser ausreichend ist, um nicht durch die Teilchen verschlossen zu werden. Die Teilchenkonzentration ist nach dem Durchtritt durch die Kapillare höher als vorher, da sich die Teilchen im Axialstrom schneller bewegen als der übrige Flüssigkeitsstrom, der sich aus Axialströmung und Randströmungen zusammensetzt.

Wieso aber halten sich die Teilchen im Axialstrom auf? Dies erklärt der Bernoulli-Effekt. Je schneller eine Strömung ist, desto geringer ist der Druck. Teilchen, die sich am Rand befinden, werden also automatisch in den Axialstrom gedrückt, wenn sie nicht wie Leukozyten durch andere Kräfte am Rand gehalten werden. Man kann sich leicht vorstellen, dass dies unabhängig vom spezifischen Gewicht einzig von der Größe der Teilchen abhängt. Das erklärt auch, warum ein hoher Hämatokrit dafür sorgt, dass Thrombozyten zum Gefäßrand gedrängt werden und dort für eine bessere Blutstillung sorgen.



Daraus folgt, dass wir zwei verschiedene Hämatokritwerte erhalten, je nachdem ob man den kapillären oder den systemischen Hämatokrit betrachtet. Des Weiteren müssen wir eine Kreislaufzeit des Plasmas und der Erythrozyten unterscheiden. Je niedriger die Erythrozytenmasse ist, desto mehr Erythrozyten befinden sich im Axialstrom und ihre Kreislaufzeit verkürzt sich. In der Folge wird das Sauerstoffangebot erhöht.

Unter Kenntnis aller Parameter wäre es nun recht einfach vorauszusagen, wann die kritische Grenze für eine Transfusion erreicht ist. Leider steht in der Praxis oft genug nur ein Hb-Wert zur Verfügung. Das Ausmaß der Kompensation lässt sich allenfalls aus dem klinischen Erscheinungsbild des Patienten abschätzen.

Wenn nur der Hb-Wert als Transfusionstrigger zur Verfügung steht, raten Experten dazu, bei kardiopulmonal gesunden Patienten Hb-Werte bis 6g/dl zu tolerieren. Patienten mit kardiopulmonalen Begleiterkrankungen sollten auf Werte zwischen 8 und 10g/dl eingestellt werden. Intensivpatienten mit Sepsis oder Polytrauma profitieren offensichtlich auch nicht von höheren Hb-Konzentrationen. Hier kann ein Hb zwischen 7 und 9g/dl toleriert werden. Patienten mit Schädelhirntrauma oder massivem Blutverlust scheinen von einer

Anhebung des Hb auf 10g/dl zu profitieren **(15)**. Absolute Voraussetzung für dieses restriktive Vorgehen ist es aber, dass eine Normovolämie besteht und Nachblutungen entweder ausgeschlossen sind oder eine adäquate (Intensiv-) Überwachung gesichert ist.

Bei liegendem zentralen Venenkatheter bietet sich zur genaueren Abschätzung die zentralvenöse Sauerstoffsättigung ($S_{cv}O_2$) an. Eine Sättigung von über 70 % macht in den allermeisten Fällen eine Transfusion überflüssig. Rivers und Mitarbeiter **(26)** konnten zeigen, dass ein Anheben einer erniedrigten $S_{cv}O_2$ auf 70 % unter anderem durch Gabe von Blutkonserven zu einer signifikant höheren Überlebensrate führt. Umgekehrt kann aber aus dieser Untersuchung auch der Schluss gezogen werden, dass eine $S_{cv}O_2$ von > 70 % eine ausreichende Sauerstoffversorgung sicherstellt, wenn keine anatomischen oder funktionellen Shunts vorhanden sind.

Das Ausnützen des kritischen Hb erfordert keinerlei Ressourcen und kann jederzeit umgesetzt werden. Wichtiger als die Laborwerte ist dabei die klinische Einschätzung des Patienten. In vielen Kliniken gilt weiterhin ein Transfusionstrigger von 10g/dl ohne Berücksichtigung der individuellen Kompensationsmöglichkeiten.

Hier herrscht ein falsches Sicherheitsdenken, das die Risiken der Fremdbluttransfusion unterschätzt.

Zukünftige Möglichkeiten

Die Entwicklung von künstlichen Sauerstoffträgern steckt noch in den Kinderschuhen. Entweder ist es wie im Falle der Perflourcarbone nicht möglich, eine physiologische Sauerstoffbindungskurve zu erreichen oder die Therapie ist mit nicht unerheblichen Nebenwirkungen verbunden, wie das in Südafrika wegen der hohen HIV-Prävalenz zugelassene bovine Hämoglobin **(27)**.

Obwohl die Pharmaindustrie mit Hochdruck an der Entwicklung solcher Produkte arbeitet, scheint es noch ein langer Weg zu sein, bis ein wirklich praktikabler Ersatzstoff gefunden wird. Bis dahin müssen die vorhandenen Ressourcen geschont werden. Keinesfalls aber dürfen fremdblutsparende Maßnahmen das Risiko der Fremdblutgabe übersteigen.

Die Literaturhinweise finden Sie im Internet zum Download unter: www.drk.de/blutspende