

Waktu

Pencapaian kompetensi

Sesi di dalam kelas : 2 X 50 menit (*classroom session*)

Sesi dengan fasilitasi Pembimbing : 6 X 50 menit (*coaching session*)

Sesi praktik dan pencapaian kompetensi: 4 minggu (*facilitation and assessment*)*

* Satuan waktu ini merupakan perkiraan untuk mencapai kompetensi dengan catatan bahwa pelaksanaan modul dapat dilakukan bersamaan dengan modul lain secara komprehensif.

Tujuan umum

Setelah mengikuti modul ini peserta didik dipersiapkan agar mempunyai keterampilan dalam mengenal dan memantau hemodinamik anak melalui pembelajaran pengalaman klinis, dengan didahului serangkaian kegiatan berupa *pre-assessment*, diskusi, *role play*, dan berbagai penelusuran sumber pengetahuan.

Tujuan khusus

Setelah mengikuti modul ini peserta didik akan memiliki kemampuan untuk:

1. Memahami konsep kecukupan oksigenasi jaringan sebagai target pencapaian tata laksana hemodinamik pada anak sakit kritis
2. Mengetahui parameter dan perangkat pemantau hemodinamik non-invasif dan invasif
3. Merencanakan dan memilih jenis pemantau hemodinamik yang sesuai kondisi pasien
4. Menjelaskan keadaan pasien kepada orang tua

Strategi pembelajaran

Tujuan 1. Memahami konsep kecukupan oksigenasi jaringan sebagai target pencapaian tata laksana hemodinamik pada anak sakit kritis

Untuk mencapai tujuan ini maka dipilih metode pembelajaran berikut ini:

- *Interactive lecture*
- *Journal reading* dan *review*
- *Small group discussion*.
- *Computer-assisted Learning*.

Must to know key points:

- Mengetahui definisi konsumsi oksigen (VO_2), pasokan oksigen (DO_2), ekstraksi oksigen jaringan (O_2ER) dan variabel-variabel yang mempengaruhinya
- Memahami peran keseimbangan antara konsumsi oksigen (VO_2), pasokan oksigen (DO_2) dan rasio ekstraksi oksigen (O_2ER) dalam mempertahankan oksigenasi jaringan yang adekuat

- Mengerti konsep disoksia dan mampu menilai syok yang terjadi pada pasien
- Mampu melakukan evaluasi status hemodinamik pasien dan merencanakan pemantauan sesuai kondisinya

Tujuan 2. Mengetahui parameter dan perangkat pemantauan hemodinamik non-invasif dan invasif

Untuk mencapai tujuan ini maka dipilih metode pembelajaran berikut ini:

- *Interactive lecture*
- *Journal reading* dan *review*
- *Searching internet*
- *Video*
- *Demo* dan *coaching*
- *Bedside teaching.*

Must to know key points:

- Mengetahui berbagai jenis parameter hemodinamik
- Mengenal macam-macam perangkat pemantau hemodinamik
- Mengetahui metoda pengukuran/pemantauan invasif dan non-invasif
- Mengenal dan membedakan cara kerja, tempat pemasangan atau insersi, keuntungan dan kerugian serta keterbatasan pemantau hemodinamik non-invasif dan invasif
- Mampu melakukan pengukuran, penghitungan dan interpretasi parameter hemodinamik

Tujuan 3. Merencanakan dan memilih jenis pemantau hemodinamik yang sesuai kondisi pasien

Untuk mencapai tujuan ini maka dipilih metode pembelajaran berikut ini:

- *Interactive lecture*
- Praktik pada model anatomi
- Studi Kasus dan *Case Findings.*
- *Demo and Coaching*
- Praktik pada pasien

Must to know key points:

- Memahami indikasi penggunaan pemantau hemodinamik non-invasif dan invasif pada pasien sakit kritis
- Menentukan rencana pemantauan dan dapat mengantisipasi kemungkinan komplikasi akibat pemasangan perangkat pemantau hemodinamik
- Menentukan pemeriksaan penunjang dalam memantau hemodinamik
- Mampu menganalisis kemungkinan terjadinya *trouble-shooting*

Tujuan 4. Menjelaskan prosedur pemantauan hemodinamik pasien kepada orang tua.

Untuk mencapai tujuan ini maka dipilih metode pembelajaran berikut ini:

- *Interactive lecture*
- *Demo and Coaching*
- Praktik pada pasien

Must to know key points:

- Menerangkan tindakan yang harus dilakukan
- Menjelaskan keuntungan dan kekurangan perangkat pemantau hemodinamik yang dipakai
- Menerangkan komplikasi pemasangan perangkat pemantau

Persiapan Sesi

- Materi presentasi dalam program *power point*:

Pemantauan hemodinamik

Slide

1. Judul Pemantauan Hemodinamik
 2. Konsep kecukupan oksigenasi jaringan sebagai target tatalaksana pasien sakit kritis
 3. Suplai oksigen (DO_2), konsumsi oksigen (VO_2) dan rasio oksigen ekstraksi (O_2ER)
 4. Disoksia dan penilaian syok
 5. Parameter hemodinamik
 6. Perangkat hemodinamik
 7. Metode pemantauan hemodinamik non-invasif dan invasif
 8. Kanulasi arteri dan vena sentral
 9. Mengukur dan menghitung parameter hemodinamik
 10. Indikasi pemilihan pemantau hemodinamik, keuntungan dan keterbatasan
 11. Kemungkinan komplikasi pemasangan pemantau hemodinamik
 12. Komunikasi dengan orang tua
- Kasus: 1. Edem paru dan gagal jantung
 - Sarana dan Alat Bantu Latih :
 - Penuntun belajar (*learning guide*) terlampir
 - Tempat belajar (*training setting*): kamar perawatan, kamar tindakan, ICU

Kepustakaan

1. Halley GC, Tibby S. Hemodynamic monitoring. Dalam: Nichols DG, penyunting. Roger's textbook of Pediatric Intensive Care. Edisi ke-4. Philadelphia: Lippincott William & Wilkins; 2008. h. 1039-63.
2. Darovic GO. Hemodynamic monitoring, Invasive and non-invasive, Clinical application. Edisi ke-3. Philadelphia: Saunders; 2002. h. 113-90.
3. Carcillo JA, Fields AI. Crit Care Med. 2002;30:1365-70.
4. Hall JB. Mixed venous oxygenation saturation (SvO_2). Dalam: Pinsky MR, Payen D, penyunting. Functional hemodynamic monitoring. Update in intensive care medicine. Brussel: Springer; 2006. h. 233-40.
5. Reinhart K, Blos F. Central venous oxygen saturation ($ScvO_2$). Dalam: Pinsky MR, Payen D, penyunting. Functional hemodynamic monitoring. Update in intensive care medicine. Brussel: Springer; 2006. h. 241-50.
6. Vincent JL. DO_2/VO_2 relationships. Dalam: Pinsky MR, Payen D, penyunting. Functional hemodynamic monitoring. Update in intensive care medicine. Brussel: Springer; 2006. h. 251-8.

7. Tsai AG, Kerger H, Intaglietta M. Oxygen distribution and consumption by the microcirculation and the determinants of tissue survival. Dalam: Sibbald WJ, Messmer K, Fink MP, penyunting. Tissue oxygenation in acute medicine. Brussel: Springer; 2002. h. 53-62.
8. Evans JM, Harry ED, Schenkman KA. Principles of invasive monitoring. Dalam: Fuhrman BP, Zimmerman J, penyunting. Pediatric critical care. Edisi ke-3. Philadelphia: Mosby-Elsevier; 2006. h. 251-64.
9. Marino PL. Hemodynamic monitoring. The ICU book. Edisi ke-3. Philadelphia: Lippincott William & Wilkins; 2007. h. 151-207.
10. Marini JJ, Wheeler AP. Critical care medicine. The essentials. Edisi ke-3. Philadelphia: Lippincott William & Wilkins; 2006. h. 20-45.
11. McGhee BH, Bridges MEJ. Monitoring arterial blood pressure: what you may not know. Crit Care Nurse. 2002;22: 60-79.
12. Fawcett JAD. Hemodynamic monitoring made easy. Philadelphia: Elsevier; 2006. h. 53-130.

Kompetensi

Memahami konsep kecukupan oksigenasi jaringan sebagai target yang akan dicapai dengan memantau hemodinamik

Gambaran umum

Oksigenasi jaringan yang adekuat adalah tercapainya keseimbangan antara suplai/pasokan dan kebutuhan oksigen sampai di tingkat seluler. Apabila terjadi ketidakseimbangan, akan timbul kondisi disoksia yang secara klinis disebut dengan syok. Jantung dan pembuluh darah menentukan penghantaran oksigen ke jaringan sedangkan sirkulasi pulmonal menentukan pertukaran gas. Kedua sistem ini membentuk suatu kerjasama yang akan menjadi penentu status hemodinamik. Pemantauan hemodinamik merupakan segala upaya yang dilakukan dalam mengatur dan mengintervensi parameter kardiovaskular yang menjadi variabel oksigenasi jaringan.

Pasokan Oksigen (*Oxygen Delivery* / DO_2)

Pasokan oksigen adalah jumlah oksigen yang disuplai dalam rangka pemenuhan kebutuhan metabolik tubuh, mempertahankan respirasi jaringan yang aerob dan mengeluarkan karbondioksida. Oksigen suplai merupakan hasil kalkulasi dari curah jantung dan jumlah oksigen dalam tiap 100 ml darah arteri (kandungan oksigen). Kandungan oksigen diformulasi dari perkalian nilai hemoglobin dengan saturasi oksigen dalam darah arteri.

$$\begin{aligned} \text{Suplai } O_2 (DO_2) &= \text{Indeks jantung (Cardiac Index)} \times \text{Kandungan oksigen arterial (CaO}_2) \times 10 \\ &= \text{Liter/menit/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Kandungan oksigen arterial (CaO}_2) = (1,34 \times \text{hemoglobin} \times \text{saturasi oksigen arterial}) + (\text{Tekanan parsial oksigen darah arteri} \times 0,003)$$

Konsumsi Oksigen (*Oxygen Consumption/VO₂*)

Konsumsi oksigen adalah jumlah oksigen yang diperoleh dari kapiler. Laju metabolik tubuh akan menentukan banyaknya kebutuhan jaringan akan oksigen. Jika diukur di jaringan, maka nilai ini menjadi jumlah oksigen jaringan. Akan tetapi, konsumsi oksigen di jaringan tidak dapat diukur secara langsung melainkan dengan kalkulasi dari: curah jantung, kadar hemoglobin, dan perbedaan saturasi oksigen arterial dengan *mixed vein*.

$$\text{Konsumsi O}_2 (\text{VO}_2) = \text{Indeks jantung (CI)} \times 10 \times \text{Hb} \times 1,36 \times (\text{SaO}_2 - \text{SvO}_2)$$

Rasio Oksigen Ekstraksi (*O₂ER*)

Rasio oksigen ekstraksi adalah fraksi dari oksigen yang disuplai melalui kapiler, yang dikonsumsi oleh jaringan. Normalnya hanya sejumlah 25 % dari suplai oksigen yang diambil oleh jaringan. Sisanya 75 % akan kembali ke sirkulasi paru dan kandungan oksigen dalam arteri pulmonalis ini dikenal dengan saturasi *mixed vein*.

$$\text{O}_2\text{ER} = \text{VO}_2 / \text{DO}_2$$

Parameter dan perangkat pemantau hemodinamik

Nilai curah jantung (*Cardiac Output*) diukur secara langsung melalui beberapa metode pemeriksaan (non-invasif dan invasif). Parameter klinis dapat dijadikan acuan untuk menilai kecukupan curah jantung dalam memenuhi suplai oksigen. Penurunan tingkat kesadaran, status hidrasi, edem, pola pernafasan, waktu pengisian kapiler (perfusi perifer), selisih suhu tubuh – kulit, denyut dan irama jantung, karakteristik pulsasi denyut jantung, jumlah urin, pembesaran hati, tekanan vena jugular, auskultasi jantung dan paru dapat memberikan informasi ada tidaknya penurunan perfusi organ tanpa tindakan yang invasif. Seluruh nilai yang diperoleh merupakan hasil pemeriksaan dan pengukuran secara langsung.

Parameter hemodinamik yang diperoleh dari perangkat pemantau invasif dikalkulasi berdasarkan variabel yang diukur secara langsung sesuai luas permukaan tubuh. Nilai-nilai tersebut meliputi: Indeks jantung (CI), indeks sekuncup (SI), indeks resistensi vaskular sistemik (SVRI), indeks kerja sekuncup ventrikel kiri (LVSWI), indeks kerja sekuncup ventrikel kanan (RVSWI), kandungan oksigen arteri (CaO_2), suplai oksigen (DO_2), konsumsi oksigen sesuai prinsip Fick (VO_2) dan rasio ekstraksi oksigen (O_2ER). Kombinasi dari kemampuan penilaian klinis, interpretasi nilai pengukuran langsung dan yang dikalkulasi berdasarkan data dari pemantau invasif, secara keseluruhan akan membantu evaluasi hemodinamik yang *real-time* dan efektif sehingga mengurangi pemeriksaan invasif.

Perangkat pemantau hemodinamik non-invasif

Perangkat pemantau hemodinamik non-invasif terdiri dari elektrokardiogram (lihat modul kardiologi) dan pemeriksaan tekanan darah non-invasif. Metode pemantauan tidak langsung (non-invasif) adalah dengan mengukur tekanan darah berdasar prinsip oklusi arteri (Riva-Rocci) yang mendeteksi perubahan suara auskultasi Korotkof atau amplifikasi suara dari Doppler. Deteksi pergerakan dinding pembuluh darah dengan osilasi disebut Dinamap. Metode pengukuran tidak langsung ini sangat bergantung pada deteksi aliran darah yang tertahan oleh manset/*cuff*. Alat pengukur tekanan darah non-invasif otomatis seperti Dinamap berguna untuk mengurangi kesalahan akibat pengukuran manual.

Metode non-invasif diterima dan dipakai sebagai alat pengukur dan pemantau hemodinamik paling dasar di seluruh rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya. Walaupun pemantauan non-invasif dianggap paling aman, tidak menyakitkan, sederhana, murah dan mudah digunakan tetapi teknik ini akan sukar diaplikasi pada pasien yang terlalu kecil, tidak kooperatif dan pada pasien yang sulit dipasang manset (misal luka bakar pada ekstremitas). Hasil pengukuran tidak akurat jika ukuran manset tidak sesuai, stetoskop terlalu panjang, deflasi tekanan terlalu cepat, pendengaran petugas kurang sensitif ataupun terdapat kesalahan kalibrasi manometer. Komplikasi yang mungkin terjadi sangat minimal, berupa rasa nyeri akibat bendungan dari aliran darah. Adakalanya oklusi aliran arterial ini dapat memicu iskemia perifer.

Perangkat pemantau hemodinamik invasif

Pemantauan parameter hemodinamik invasif dapat dilakukan pada arteri, vena sentral ataupun arteri pulmonalis. Metode pemeriksaan tekanan darah langsung di intrarterial adalah mengukur secara aktual tekanan dalam arteri yang dikanulasi, yang hasilnya tidak dipengaruhi oleh isi atau kuantitas aliran darah. Kanulasi di vena sentral merupakan akses vena yang sangat bermanfaat pada anak sakit kritis yang membutuhkan infus dalam jumlah besar, nutrisi parenteral dan obat vaskoaktif.

Sistem pemantauan hemodinamik terdiri dari 2 kompartemen: elektronik dan pengisian cairan (*fluid-filled*). Parameter hemodinamik dipantau secara invasif sesuai azas dinamika sistem pengisian cairan. Pergerakan cairan yang mengalami suatu tahanan akan menyebabkan perubahan tekanan dalam pembuluh darah yang selanjutnya menstimulasi diafragma pada *transducer*. Perubahan ini direkam dan diamplifikasi sehingga dapat dilihat pada layar monitor.

- Sistem cairan dengan manometer air: kateter dilekatkan pada saluran yang terisi penuh dengan cairan, terhubung dengan manometer air yang sudah dikalibrasi. Teknik yang sangat sederhana, sejatinya bermula dibuat untuk mengukur tekanan vena sentral (*Central Venous Pressure*).
- Sistem serat fiber: *probe* dengan *transducer* di ujungnya diinsersi pada daerah yang akan dipantau (misalnya ventrikel). Sinyal akan dikirim ke layar monitor melalui serat optik. Sistem ini tidak tergantung pada dinamika cairan. Dibandingkan dengan sistem pengisian cairan, pengoperasiannya lebih mudah hanya harganya mahal.
- Sistem pengisian cairan yang digabung dengan *transducer*/amplifier: tekanan pulsatil pada ujung kateter ditransmisikan melalui selang penghubung ke diafragma pada *transducer*. Sinyal ini akan diamplifikasi dan pada layar monitor dapat tersaji secara kontinu dengan gelombang yang *real-time*.

Pemantauan Hemodinamik Non-invasif dan Invasif

Pemantauan tekanan arteri (*arterial pressure monitoring*) non-invasif

Tekanan darah arteri merupakan hasil gabungan dari tekanan hemodinamik, kinetik dan hidrostatik akibat tekanan ke dinding pembuluh darah. Tekanan arteri yang diukur pada nilai puncak disebut tekanan sistolik sedangkan sebaliknya adalah tekanan diastolik. Tekanan sistolik dihasilkan oleh volume sekuncup, kecepatan ejeksi ventrikel kiri, resistensi arterial sistemik, distensibilitas aorta dan dinding arteri, kekentalan darah dan volume preload ventrikel kiri (*end-diastolic volume*). Dalam aplikasi klinis sehari-hari, tekanan sistolik merupakan indikator afterload (besarnya usaha yang diperlukan untuk memompa darah keluar dari ventrikel kiri). Sementara itu tekanan diastolik dipengaruhi kekentalan darah, distensibilitas arteri, resistensi

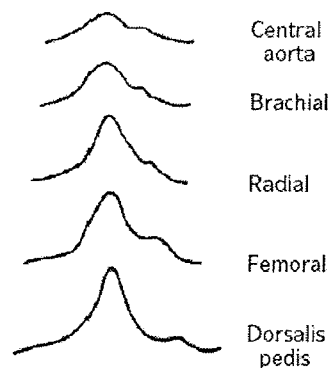
sistemik dan lamanya siklus jantung. Tekanan nadi adalah perbedaan sistolik dan diastolik. Peninggian nilai tekanan nadi dapat disebabkan peningkatan volume sekuncup ataupun kecepatan ejeksi, yang sering ditemukan pada kondisi demam, aktifitas (*exercise*), anemia atau hipertiroid. Penurunan nilai tekanan nadi mengindikasikan peningkatan resistensi vaskular, penurunan volume sekuncup ataupun volume intravaskular. Tekanan rerata arterial sistemik (Mean Arterial Pressure atau MAP) adalah rata-rata tekanan perfusi sepanjang siklus jantung. MAP dikontrol oleh baroreseptor di sinus karotis dan aorta, yang mengatur tekanan arteri dengan menyesuaikan laju jantung dengan ukuran arteriol. MAP juga menjadi acuan autoregulasi yang merupakan adaptasi organ untuk mempertahankan aliran darah yang konstan guna memproteksi fungsinya. Nilai MAP dapat diperoleh dari hasil pengukuran langsung ataupun dengan penghitungan:

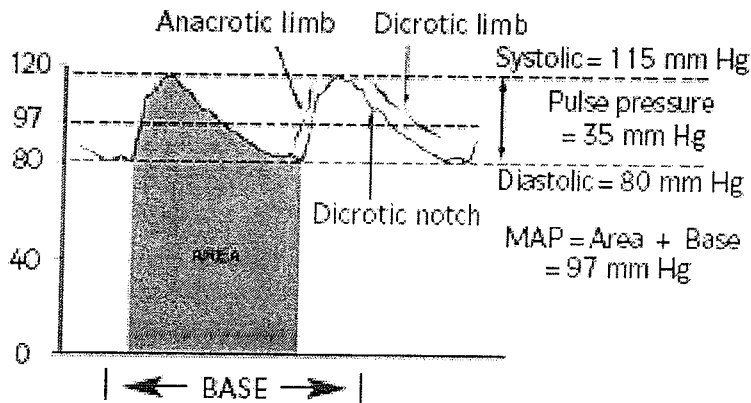
$$\text{MAP} = \frac{\text{tekanan sistolik} + (\text{diastolik} \times 2)}{3}$$

$$\text{MAP} = \text{Systemic Vascular Resistance} \times \text{Cardiac Output}$$

Pemantauan tekanan arteri (kanulasi arteri) invasif

Pemantauan tekanan intraarterial invasif adalah kanulasi langsung pada arteri, dimana sinyal dikonversi oleh transduser, diamplifikasi dan ditampilkan kontinu pada layar monitor dalam bentuk gelombang dan format digital. Pemantauan kontinu tekanan intraarterial merupakan metode yang paling dapat diandalkan dalam memantau tekanan sistolik arterial, distolik dan tekanan rerata. Gelombang tekanan dan aliran darah sistem arterial merupakan gambaran ejeksi dari ventrikel kiri. Terdapat dua komponen yang membentuk gelombang pulsasi arteri yaitu transmisi gelombang tekanan (*pressure wave*) dan pulsasi volume sekuncup yang dipindahkan melalui sirkulasi arterial (*stroke volume displacement*). Tanjakan anakrotik (*anacrotic rise*) adalah tekanan puncak sistolik, kira-kira 100-140 mmHg. Karakteristik gelombang ini merupakan indikator kontraktilitas ventrikel kiri. Bagian yang cembung menggambarkan volume darah yang dipindahkan dan distensi dinding arteri. *Dicrotic notch* adalah gelombang yang melandai turun, yang dihubungkan dengan laju volume darah arteri yang masuk ke sirkulasi perifer. Perubahan bentuk dan kelandaian gelombang terutama bagian sistoliknya, tergantung dari perbedaan tekanan yang sesuai dengan lokasi anatomiknya.





Indikasi dan kontraindikasi kanulasi arteri

Indikasi:

1. Semua pasien dengan kondisi kritis atau yang dilakukan prosedur bedah mayor, yang membutuhkan pemantauan hemodinamik dan analisis pulsasi arterial

secara kontinu

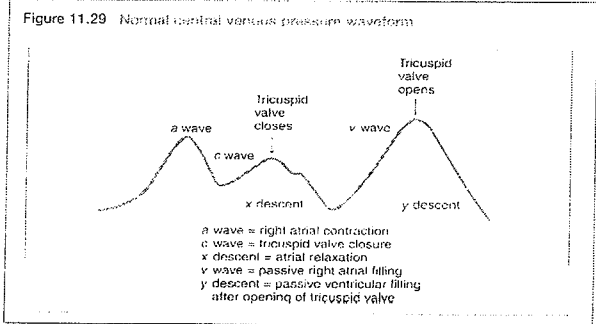
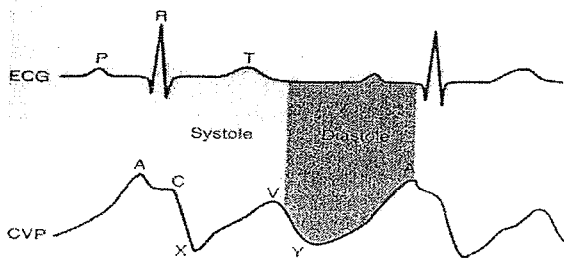
- Prosedur pembedahan yang memerlukan pintasan kardiopulmonal
 - Prosedur vaskular, toraks, abdominal ataupun neurologik
 - Semua pasien dengan kondisi hemodinamik tidak stabil
 - Pasien dengan terapi inotropik atau vasodilator intravena
 - Pasien yang ditopang dengan pompa balon intraaorta (Intra Aortic Balon Pump / IABP)
 - Pasien yang memerlukan pemantauan tekanan intrakranial
2. Pemeriksaan gas darah berulang
 - Pasien dengan gagal nafas (lihat modul gawat nafas)
 - Pasien dalam ventilasi mekanik ataupun yang sedang disapih/*weaning* ventilator (lihat modul ventilator)
 - Pasien dengan abnormalitas atau gangguan asam basa (lihat modul asam basa)

Kontraindikasi relatif:

- Pasien dengan penyakit vaskular perifer
- Pasien dengan gangguan perdarahan
- Pasien yang sedang mendapat terapi dengan antikoagulan atau trombolitik
- Adanya infeksi di daerah kulit tempat kanul akan diinsersi

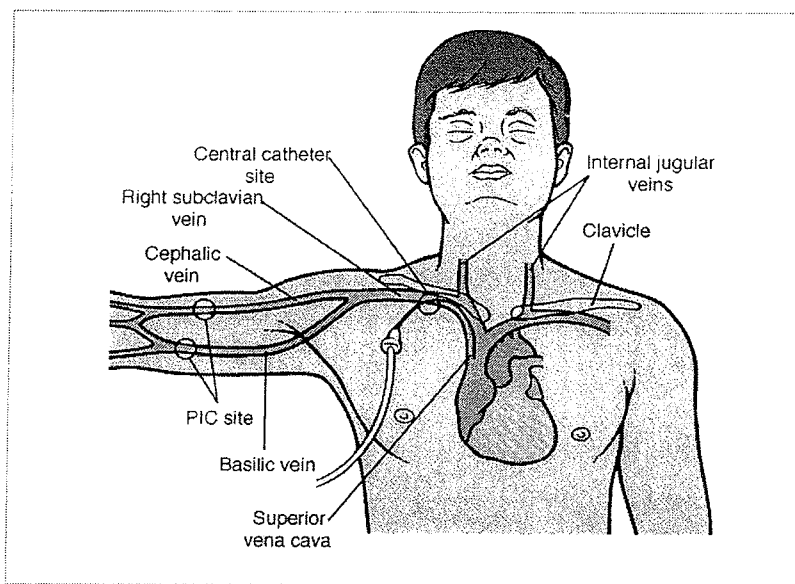
Pemantauan tekanan vena sentral (*Central Venous Pressure/ CVP monitoring*)

Gambaran gelombang tekanan vena sentral yang normal terdiri dari gelombang a (kontraksi atrium), c (penutupan katup mitral) dan v (kontraksi ventrikel). Kontur dari gelombang tekanan arteri akan berubah sesuai gerakan gelombang tekanan yang berasal dari aorta.



Aplikasi klinis pengukuran tekanan vena sentral

Kanulasi vena sentral biasanya dilakukan pada vena jugularis interna, vena subklavia dan vena femoralis masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Posisi kanula yang tepat sangat penting untuk mencegah komplikasi. Ujung dari CVC (*Central Venous Canulation*) harus terletak pada vena cava superior atau di perbatasan antara vena cava superior dan atrium kanan.



Tekanan vena sentral adalah beda tekanan intravaskular di vena besar dalam rongga toraks terhadap tekanan atmosfer. Dengan segala keterbatasannya, tekanan vena sentral sering digunakan sebagai pedoman volume cairan intravaskular. Bila volume intravaskular rendah, perubahan kecil tekanan vena sentral menggambarkan perubahan besar volume intravaskular. Sedangkan bila volume intravaskular tinggi maka perubahan volume akan mengakibatkan perbedaan nilai tekanan vena sentral yang besar. Kanulasi vena sentral diindikasikan pada pemberian cairan atau darah secara cepat (terutama jika akses vena perifer tidak adekuat), pemberian obat vasoaktif, untuk menilai tekanan vena sentral, pemasangan kateter pacu jantung dan hiperalimentasi.

Pemeriksaan fungsi jantung

Tekanan vena sentral sering digunakan untuk memperkirakan tekanan pengisian ventrikel kanan, yang bertujuan untuk analisis fungsi ventrikel kanan. Berdasarkan statistik terdapat korelasi antara tekanan pengisian ventrikel kanan dan kiri, oleh karena itu tekanan vena sentral dapat juga digunakan untuk menilai fungsi ventrikel kiri. Dengan sendirinya penilaian fungsi ventrikel kiri kurang akurat bila hanya mengandalkan pengukuran tekanan vena sentral saja.

Pada umumnya perubahan curah jantung terjadi pada tekanan 0-10 mm Hg. Karena itu bila semua kontraktilitas, *afterload* dan frekuensi jantung konstan, untuk curah jantung sebesar 5 l/menit, tiap perubahan 1 mmHg tekanan vena sentral sama dengan perubahan sebesar 500 ml/menit. Karena banyak faktor yang mempengaruhi tekanan vena sentral, banyak penelitian menunjukkan bahwa perubahan tekanan vena sentral seringkali tidak menggambarkan nilai preload. Bafaqeeh and Magder mendapatkan 35% kasus dengan tekanan vena sentral < 10 mmHg tidak menunjukan respon dengan *fluid challenge*, beberapa kasus dengan tekanan vena sentral > 12 mmHg memberi respon. Penilaian tekanan vena sentral secara dinamis saat ini dianggap lebih berguna untuk penggunaan klinis. Baku emas uji dinamik adalah dengan melakukan *fluid challenge* untuk menilai kurva Starling. Uji ini dilakukan dengan memberikan cairan dengan cepat hingga meningkatkan tekanan vena sentral sedikitnya 2 mmHg untuk menilai curah jantung. Bila fungsi jantung masih terletak pada bagian yang curam pada kurva, maka pemberian cairan ini akan meningkatkan curah jantung.

Uji dinamik lainnya adalah dengan mengamati perubahan tekanan vena sentral pada saat inspirasi dan ekspirasi. Penurunan tekanan pleura mengakibatkan tekanan dalam ruang jantung relatif lebih negatif terhadap tekanan atmosfer, sementara kurva aliran balik vena (*venous return*) tidak terpengaruh, karena vena-vena pada umumnya selalu berada pada dalam lingkungan luar (dalam tekanan atmosfer). Bila kurva jantung terletak pada bagian yang curam, perubahan tekanan atrium kanan relatif akan meningkatkan aliran balik vena hingga juga akan meningkatkan curah jantung. Bila kurva terletak pada bagian yang mendatar maka pernapasan tidak akan mengubah curah jantung. Prinsip yang sama juga dilakukan dengan melakukan pengangkatan tungkai bawah dengan tujuan meningkatkan aliran balik vena dengan cepat (*leg raising*).

Keterbatasan pemantauan tekanan vena sentral

Berikut ini adalah hal-hal yang dapat mempengaruhi pengukuran tekanan vena sentral dan terjadinya gangguan isi sirkulasi atau fungsi jantung:

Faktor yang berhubungan dengan pasien

- Venokonstriksi sistemik
- Penurunan komplains ventrikel kanan
- Patensi sistem vena
- Penyakit katup trikuspid

Faktor yang diinduksi oleh ventilasi mekanik

- Siklus nafas pada ventilasi tekanan positif dapat meninggikan nilai tekanan vena sentral
- Tekanan positif akhir ekspirasi / PEEP dapat menimbulkan artefak

Komplikasi pemantauan tekanan vena sentral

Komplikasi pemantauan tekanan vena sentral meliputi perdarahan, erosi vaskular, gangguan irama jantung, tromboemboli, emboli udara, perforasi ruang jantung, pnemotorak dan mikrosyok elektrik.

Kateterisasi Arteri Pulmonalis

Pemasangan kateter arteri pulmonalis merupakan salah satu cara untuk dapat melakukan pemantauan hemodinamik dengan lebih tepat. Disamping biaya penggunaannya yang tinggi, teknik ini mempunyai risiko yang cukup besar. Karena itu penggunaannya perlu mempertimbangkan aspek risiko dan keuntungannya. Dengan kateter ini, pemantauan dan penggunaan inotropik maupun vasodilator dapat dilakukan dengan lebih tepat. Beberapa indikasi klinis penggunaan kateter arteri pulmonalis antara lain adalah syok septik dan gagal jantung kiri atau kanan. Berdasar kesepakatan tatalaksana sepsis pediatrik, pada syok septik, indeks jantung yang harus dipertahankan adalah antara 3,3-6 l/menit/m² permukaan badan.

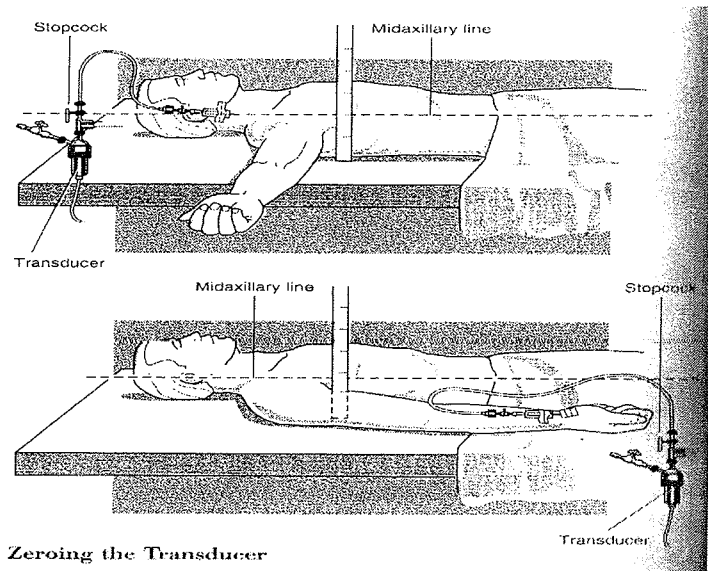
Kalibrasi / penentuan titik nol (*Zeroing*)

Transduser sekali-pakai yang beredar sekarang dibuat dengan spesifikasi yang ketat dan mempunyai standar pergerakan diafragma tertentu untuk tekanan yang akan diukur. Sistem pemantauan dengan transduser harus dikalibrasi / ditentukan dahulu titik nol-nya untuk membuat referensi / pedoman, yaitu suatu level netral dalam melakukan seluruh pengukuran tekanan. Tekanan fisiologis nilainya dianggap nol sedangkan tekanan atmosfer nilainya setara 760 mmHg (torr) pada permukaan laut. Dinyatakan pembacaan nol (*zeroing*) jika tampilan di layar monitor menunjukkan angka nol pada saat diafragma *transducer* terhubung dengan atmosfer. Setiap inci *transducer* terletak di bawah ujung kateter, tekanan puncak hidrostatik akan meninggikan sebanyak 2 mmHg dari tekanan fisiologis yang sebenarnya. Sebaliknya, setiap inci *transducer* terletak di atas dari ujung kateter maka tekanan akan berkurang 2 mmHg dari tekanan fisiologis.

Kalibrasi dapat mengeliminasi efek tekanan atmosfer dan tekanan hidrostatik pada waktu prosedur pembacaan. Kesalahan dalam melakukan referensi titik nol ini boleh jadi akan membuat interpretasi klinis yang signifikan berbeda karena rentang nilai normalnya sangat sempit. Prosedur ini sifatnya sangat penting sehingga harus selalu dikerjakan pada setiap pergantian jaga petugas atau pada saat pasien berubah posisi.

Prosedur menentukan titik nol:

- Sistem pemantauan dan monitor disiapkan
- Periksa apakah ada udara bebas pada komponen cairan (*fluid-filled*)
- Pada saat kalibrasi, aliran cairan ke arah pasien ditutup, sehingga cairan pada transduser akan terhubung dengan atmosfer (layar monitor menunjukkan angka nol mmHg). Jika tidak menunjukkan angka nol, prosedur harus diulang kembali (kesalahan pada transduser, kabel ataupun konsol monitor).
- Jika pembacaan sudah menunjukkan titik nol, aliran cairan ke pasien dibuka kembali (hati-hati adanya udara bebas dalam saluran ke arah pasien).



Penentuan level referensi (*Leveling*)

Pengukuran kardiovaskular pada umumnya memakai referensi titik nol di posisi *mid-chest* atau lebih tepatnya di garis mid-aksila. Disebut juga aksis flebostatik (kira-kira setengah diameter anteroposterior pasien), yang terletak di bawah *angulus sternum*. Posisi ini dipilih karena ventrikel kiri dan aorta biasanya terletak di tengah-tengah antara sternum dan permukaan tempat tidur, yang dapat dengan jelas terlihat pada fluoroskopi. Biasanya ujung kanul atau kateter pengukur tekanan terletak di sekitar level ini.

Ada dua cara menentukan level tekanan pada pengukuran hemodinamik:

1. *Stopcock* transducer yang terhubung dengan *extension tubing* terletak setinggi *mid-chest*, pada waktu jalur ke pasien ditutup dan jalur ke diafragma *transducer* dibuka ke arah atmosfer. Kemudian dilihat tampilan pada layar monitor yang menunjukkan angka nol.
2. Pada metoda yang berikutnya, *transducer* dapat terletak dimana saja di level yang relatif vertikal dengan dada pasien. *Stopcock* yang terletak antara posisi kateter dan *transducer*, ditutup ke arah pasien dan dibuka ke arah atmosfer. Tampilan pada layar monitor akan menyesuaikan sampai pembacaan menunjukkan angka nol. Setiap perbedaan tekanan hidrostatik antara diafragma *transducer* dan *stopcock* akan dikompensasi secara elektrik.

Contoh kasus

STUDI KASUS: PEMANTAUAN HEMODINAMIK

Arahan

Baca dan lakukan analisa terhadap studi kasus secara perorangan. Bila yang lain dalam kelompok sudah selesai membaca, jawab pertanyaan dari studi kasus. Gunakan langkah dalam pengambilan keputusan klinik pada saat memberikan jawaban. Kelompok yang lain dalam ruangan bekerja dengan kasus yang sama atau serupa. Setelah semua kelompok selesai, dilakukan diskusi tentang studi kasus dan jawaban yang dikerjakan oleh masing-masing kelompok.

Studi kasus

Seorang anak laki-laki umur 1 tahun, berat badan 8 kg, dirawat di ruang rawat anak dengan pneumonia. Pasien sudah dikenal sebagai penderita penyakit jantung bawaan non-sianotik (defek sekat ventrikel). Pada hari perawatan berikutnya pasien mengalami syok. Setelah pemberian oksigen 5 liter/menit dengan sungkup dan cairan infus *Ringer's lactate* 80 mL, didapatkan kesadaran somnolen, frekuensi jantung 180 kali/menit, isi nadi lebih kuat, akral dingin, kulit *mottled*, pengisian kapiler 4 detik, tekanan darah 60/40 mmHg, MAP 47 mmHg. Saturasi perifer pada *pulse oxymetri* 75%. Urin tidak keluar dengan pemberian cairan Ringer. Pemeriksaan analisis gas darah : pH 7,20 PaO₂ 68 mmHg, PaCO₂ 46 mmHg, HCO₃ 17 mmol/L dengan BE - 3 mmol/L, SaO₂ 78 %, Hb 9 gr/dL.

Penilaian

1. Apa yang anda harus segera lakukan ?

Jawaban: Nilai gangguan hemodinamik yang terjadi dan lakukan tindakan

- Tindakan:
 1. Pertahankan jalan napas
 2. Pasien harus dirawat di ruang intensif dan berikan bantuan ventilasi mekanik
 3. Pasang akses vena sentral untuk memantau kecukupan preload ventrikel kanan
 4. Monitor saturasi perifer dengan *pulse oxymeter*
 5. Periksa analisis gas darah
 6. Pasang kanulasi arteri untuk memantau tekanan darah arterial dan memudahkan akses pengambilan sampel analisis gas darah
 7. Pasang kateter urin
 8. Lakukan pemantauan intensif parameter hemodinamik (frekuensi dan irama jantung, tekanan darah, MAP dan nilai CVP)
 9. Terangkan kepada orang tua kondisi anak dan tindakan yang dilakukan
- Penilaian gangguan hemodinamik:
 1. Tekanan darah sistolik, diastolik dan MAP rendah
 2. Gangguan sirkulasi perifer
 3. Perkiraan penurunan curah jantung
 4. Distres pernafasan (*Work of breathing* terganggu)
 5. Adanya ronki basah di basal paru mengindikasikan terdapat cairan di paru

Pada layar monitor, tertera tampilan: frekuensi jantung 170 kali/menit, irama sinus. Tekanan darah arteri 75/38 mmHg dengan MAP 50 mmHg. Nilai tekanan vena sentral 3 mmHg. Saturasi perifer dengan *pulse oxymetri* 80%. Nilai saturasi oksigen arterial 75% sedangkan di *mixed vein* 66%. Akral mulai hangat, nadi teraba kuat. *Mottled* berkurang, pengisian kapiler 3 detik. Urin keluar 5 ml, warna pekat. Foto polos torak memperlihatkan gambaran paru yang suram dan bendungan cairan pada hampir setengah lapangan paru dari arah medial ke lateral, jantung membesar.

2. Apa penilaian saudara?

Jawaban:

- Penilaian: pasien mengalami edem paru dan gagal jantung
- Hemodinamik terganggu dengan kemungkinan penurunan curah jantung
- Terjadi gangguan mikrosirkulasi (saturasi oksigen di *mixed vein* < 60%)
- Terjadi *mismatch* rasio ventilasi perfusi dengan adanya bendungan cairan di alveoli

3. Apa yang harus dilakukan selanjutnya?

Jawaban :

- Pemberian cairan masih direkomendasi dengan perhatian khusus jangan sampai kelebihan cairan (*volume overload*), diajurkan yang mempunyai tonisitas tinggi untuk menarik cairan ke intravaskular (lihat modul syok)
- Pemberian inotropik dan diuretik
- Melakukan evaluasi respon perbedaan nilai parameter hemodinamik dengan perubahan / penyesuaian terapi
- Pemeriksaan ekokardiografi untuk menilai kontraktilitas miokard

Tujuan pembelajaran

Proses, materi dan metoda pembelajaran yang telah disiapkan bertujuan untuk alih pengetahuan, keterampilan, dan perilaku yang terkait dengan pencapaian kompetensi dan keterampilan yang diperlukan dalam mengenali gangguan hemodinamik dan merencanakan pemantauan hemodinamik yang sesuai dengan kondisi pasien, yaitu:

1. Mendeteksi gangguan hemodinamik yang terjadi
2. Melakukan tindakan pemasangan akses vaskular (vena sentral dan arteri) untuk pemantauan hemodinamik
3. Melakukan interpretasi perubahan parameter hemodinamik
4. Melakukan evaluasi/respon tindakan
5. Melakukan komunikasi dengan orang tua

Evaluasi

- Pada awal pertemuan dilaksanakan penilaian awal kompetensi kognitif dengan kuesioner 2 pilihan yang bertujuan untuk menilai sejauh mana peserta didik telah mengenali materi atau topik yang akan diajarkan.
- Materi esensial diberikan melalui kuliah interaktif dan *small group discussion* dimana pengajar akan melakukan evaluasi kognitif dari setiap peserta selama proses pembelajaran berlangsung.
- Membahas instrumen pembelajaran keterampilan (kompetensi psikomotor) dan mengenalkan penuntun belajar. Dilakukan demonstrasi tentang berbagai prosedur dan perasat untuk melakukan pemantauan hemodinamik. Peserta akan mempelajari prosedur klinik bersama kelompoknya (*Peer-assisted Learning*) sekaligus saling menilai tahapan akuisisi dan kompetensi prosedur tersebut pada model anatomi.
- Peserta didik belajar mandiri, bersama kelompok dan bimbingan pengajar/instruktur, baik dalam aspek kognitif, psikomotor maupun afektif. Setelah tahap akuisisi keterampilan maka peserta didik diwajibkan untuk mengaplikasikan langkah-langkah yang tertera dalam penuntun belajar dalam bentuk "*role play*" diikuti dengan penilaian mandiri atau oleh sesama peserta didik (menggunakan penuntun belajar)
- Setelah mencapai tingkatan kompeten pada model maka peserta didik akan diminta untuk melaksanakan pemantauan hemodinamik melalui 3 tahapan:
 1. Observasi prosedur yang dilakukan oleh instruktur
 2. Menjadi asisten instruktur
 3. Melaksanakan mandiri di bawah pengawasan langsung dari instruktur

Peserta didik dinyatakan kompeten untuk melaksanakan prosedur pemantauan hemodinamik apabila instruktur telah melakukan penilaian kinerja dengan menggunakan Daftar Tilik Penilaian Kinerja dan dinilai memuaskan

- Penilaian kompetensi pada akhir proses pembelajaran :
 - Ujian OSCE (K,P,A) dilakukan pada tahapan akhir pembelajaran oleh kolegium
 - Ujian akhir stase, setiap divisi/ unit kerja di sentra pendidikan

Instrumen penilaian

- **Kuesioner awal**

Instruksi: Pilih B bila pernyataan Benar dan S bila pernyataan Salah

1. Nilai kebutuhan / konsumsi oksigen jaringan dapat diukur langsung dari pasien dengan memakai perhitungan Fick. B/S. Jawaban S. Tujuan 1
2. Tanda klinis disoksia antara lain: penurunan kesadaran, peningkatan *work of breathing*, peningkatan frekuensi nadi, kualitas nadi yang lemah, waktu pengisian kapiler memanjang. B/S. Jawaban B. Tujuan 2
3. Tekanan sistolik merupakan indikator akan besarnya usaha yang diperlukan untuk memompa darah keluar dari ventrikel kiri (afterload). B/S. Jawaban B. Tujuan 1
4. Pengukuran tekanan darah non-invasif tidak tergantung pada aliran darah yang tertahan oleh manset/cuff. B/S. Jawaban S. Tujuan 2
5. Pemasangan kanulasi vena sentral harus dilakukan pada seluruh pasien yang dirawat di unit intensif. B/S. Jawaban S. Tujuan 3

- **Kuesioner tengah**

MCQ:

1. Setiap inci transduser terletak di bawah ujung kateter maka tekanan yang terukur :
 - a. 2 cmHg lebih tinggi dari tekanan fisiologis
 - b. 2 cm Hg lebih rendah dari tekanan fisiologis
 - c. 2 mmHg lebih rendah dari tekanan fisiologis
 - d. 2 mmHg lebih tinggi dari tekanan fisiologis
2. Rasio oksigen ekstraksi merupakan rasio dari :
 - a. saturasi oksigen arterial dan *mixed vein*
 - b. saturasi oksigen perifer dan arterial
 - c. kebutuhan dan suplai oksigen ke jaringan
 - d. kebutuhan dan pemakaian oksigen jaringan
3. Yang menjadi referensi titik nol (*zeroing*) adalah pada level :
 - a. sejajar dengan batas atas sternum
 - b. setengah mid-line aksila (mid-chest)
 - c. setinggi linea aksilaris anterior
 - d. setinggi linea aksilaris posterior
4. Parameter hemodinamik yang bukan merupakan hasil pengukuran secara langsung adalah :
 - a. Denyut jantung
 - b. Tekanan vena jugular
 - c. Kandungan oksigen arteri
 - d. Waktu pengisian kapiler (perfusi perifer)

5. Tekanan vena sentral dapat menunjukkan :

- a. Preload ventrikel kanan
- b. Preload ventrikel kanan dan kiri
- c. Afterload ventrikel kanan
- d. Preload dan afterload ventrikel kanan

Jawaban

- 1. D
- 2. C
- 3. C
- 4. D
- 5. B

PENUNTUN BELAJAR (*Learning Guide*)

Lakukan penilaian kinerja pada setiap langkah / tugas dengan menggunakan skala penilaian di bawah ini:

- | | |
|--------------------------|--|
| 1 Perlu perbaikan | Langkah atau tugas tidak dikerjakan secara benar, atau dalam urutan yang salah (bila diperlukan) atau diabaikan |
| 2 Cukup | Langkah atau tugas dikerjakan secara benar, dalam urutan yang benar (bila diperlukan), tetapi belum dikerjakan secara lancar |
| 3 Baik | Langkah atau tugas dikerjakan secara efisien dan dikerjakan dalam urutan yang benar (bila diperlukan) |

Nama peserta didik	Tanggal
Nama pasien	No Rekam Medis

PENUNTUN BELAJAR PEMANTAUAN HEMODINAMIK						
No.	Kegiatan / langkah klinik	Kesempatan ke				
		1	2	3	4	5
I.	Kecukupan curah jantung dalam memenuhi suplai oksigen					
1.	Memahami konsep kecukupan oksigenasi jaringan dan disoksia					
2.	Mengetahui VO_2 , DO_2 , O_2ER dan variabel yang mempengaruhinya					
3.	Memahami keseimbangan VO_2 dan DO_2 dalam mempertahankan oksigenasi jaringan yang adekuat					
4.	Melakukan evaluasi status hemodinamik dan merencanakan pemantauan					
II.	Mengenal parameter klinis pemantau hemodinamik					
1.	Menilai tingkat kesadaran, status hidrasi edem, pola napas					
2.	Menilai irama dan karakteristik pulsasi denyut jantung					
3.	Mengetahui pengukuran waktu pengisian kapiler (perfusi perifer)					
4.	Memeriksa edem, tekanan vena jugular, pembesaran hati					
5.	Mengukur produksi urin					
III.	Mengetahui interpretasi parameter pemantau hemodinamik					
1.	Mengetahui interpretasi nilai: tekanan darah dan curah jantung					
2.	Mengukur dan mengkalkulasi indeks (sesuai luas permukaan tubuh): curah jantung, sekuncup, resistensi vaskular sistemik)					
IV.	Mengenal pemantau tekanan darah non-invasif					
1.	Mengukur tekanan darah dengan sphygmomanometer					
2.	Mengukur tekanan darah dengan Dinamap					
V.	Mengenal teknik pemantau hemodinamik invasif					
1.	Mengetahui sistim pengisian cairan (<i>fluid-filled</i>)					

2.	Melakukan zeroing					
3.	Melakukan leveling					
VI.	Mengenal pemantauan tekanan darah invasif					
1.	Melakukan kanulasi arteri dan mengetahui interpretasi tekanan arteri					
2.	Melakukan kanulasi vena sentral dan mengetahui interpretasi nilai tekanan vena sentral					

DAFTAR TILIK

Berikan tanda ✓ dalam kotak yang tersedia bila keterampilan/tugas telah dikerjakan dengan memuaskan, dan berikan tanda ✕ bila tidak dikerjakan dengan memuaskan serta T/D bila tidak dilakukan pengamatan

✓	Memuaskan	Langkah/ tugas dikerjakan sesuai dengan prosedur standar atau penuntun
✕	Tidak memuaskan	Tidak mampu untuk mengerjakan langkah/ tugas sesuai dengan prosedur standar atau penuntun
T/D	Tidak diamati	Langkah, tugas atau ketrampilan tidak dilakukan oleh peserta latih selama penilaian oleh pelatih

Nama peserta didik	Tanggal
Nama pasien	No Rekam Medis

DAFTAR TILIK PEMANTAUAN HEMODINAMIK

No.	Langkah kegiatan yang dinilai	Hasil penilaian		
		Memuaskan	Tidak memuaskan	Tidak diamati
I.	Kecukupan curah jantung dalam memenuhi suplai oksigen			
1.	Memahami konsep kecukupan oksigenasi jaringan dan disoksia			
2.	Mengetahui VO_2 , DO_2 , O_2ER dan variabel yang mempengaruhinya			
3.	Memahami keseimbangan VO_2 dan DO_2 dalam mempertahankan oksigenasi jaringan yang adekuat			
4.	Melakukan evaluasi status hemodinamik dan merencanakan pemantauan			
II.	Mengenal parameter klinis pemantau hemodinamik			
1.	Menilai tingkat kesadaran, status hidrasi edem, pola napas			
2.	Menilai irama dan karakteristik pulsasi denyut jantung			
3.	Mengetahui pengukuran waktu pengisian kapiler (perfusi perifer)			
4.	Memeriksa edem, tekanan vena jugular, pembesaran hati			
5.	Mengukur produksi urin			
III.	Mengetahui interpretasi parameter pemantau hemodinamik			
1.	Mengetahui interpretasi nilai: tekanan darah dan curah jantung			
2.	Mengkalkulasi sesuai luas permukaan tubuh/indeks: curah jantung, sekuncup, resistensi vaskular sistemik			

IV.	Mengenal pemantau tekanan darah non-invasif			
1.	Mengukur tekanan darah dengan <i>sphygmomanometer</i>			
2.	Mengukur tekanan darah dengan Dinamap			
V.	Mengenal teknik pemantau hemodinamik invasif			
1.	Mengetahui sistim pengisian cairan (<i>fluid-filled</i>)			
2.	Melakukan <i>zeroing</i>			
3.	Melakukan <i>leveling</i>			
VI.	Mengenal pemantauan tekanan darah invasif			
1.	Melakukan kanulasi arteri dan mengetahui interpretasi tekanan arteri			
2.	Melakukan kanulasi vena sentral dan mengetahui interpretasi nilai tekanan vena sentral			

Peserta dinyatakan ☐ Layak ☐ Tidak layak melakukan prosedur	Tanda tangan pembimbing (Nama jelas)
--	--

PRESENTASI:

- Power points
- Lampiran (skor, dll)

Tanda tangan peserta didik

(Nama jelas)

Kotak komentar
