

Physiologie der
Schwangerschaft



Lukas Kirchmair

ANÄSTHESIE FORUM



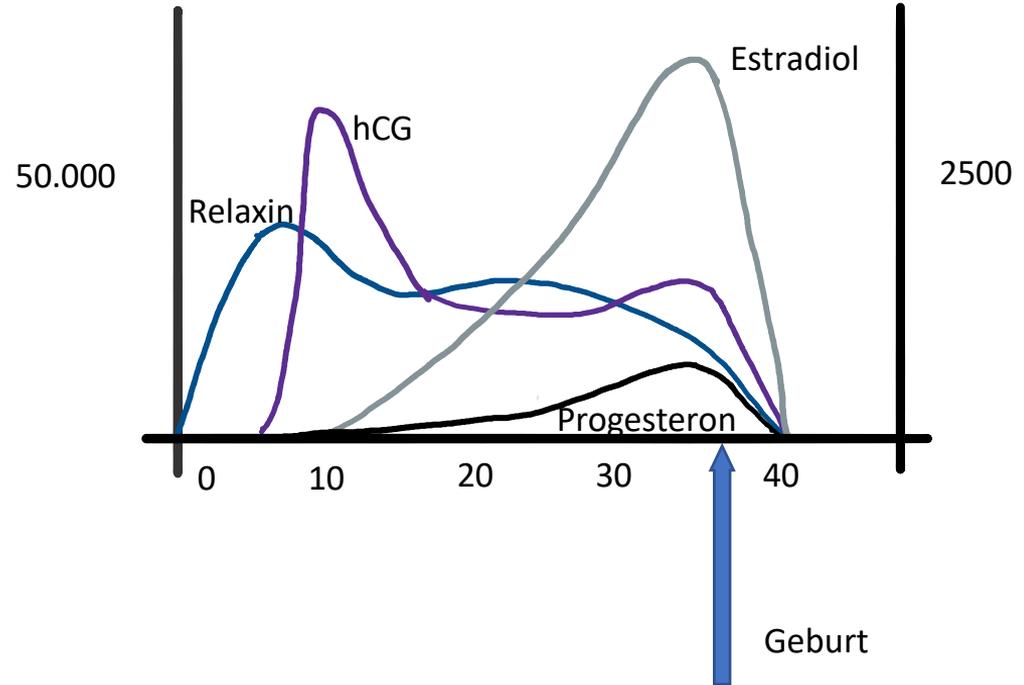
ALPBACH

REPETITORIUM

Physiologische Veränderungen



- Hormonell bedingt
- “Schwangerschaftshormone“
 - Mütterliche Ovarien
 - Fetoplazentare Einheit
- Typ. Konzentrationsverlauf während der Schwangerschaft



Respirationstrakt



- Sauerstoffverbrauch steigt um 20-30%
 - metabolischer Verbrauch (Fetus, Plazenta, Uterus)
 - Atemmuskulatur
 - Myokard, Nieren
- Entsättigung des Hb deutlich schneller
- Hypoxiegefahr!

Respirationstrakt: Blutgase



Hyperventilation bedingt **respiratorische Alkalose**

	Nicht schwanger	1. Trimenon	2. Trimenon	3. Trimenon
ph	7.40	7.41-7.44	7.41-7.44	7.41-7.44
PO ₂ (mmHg)	100	107	105	103
PCO ₂ (mmHg)	40	30-32	30-32	30-32
HCO ₃ (mEq/l)	24	21	20	20

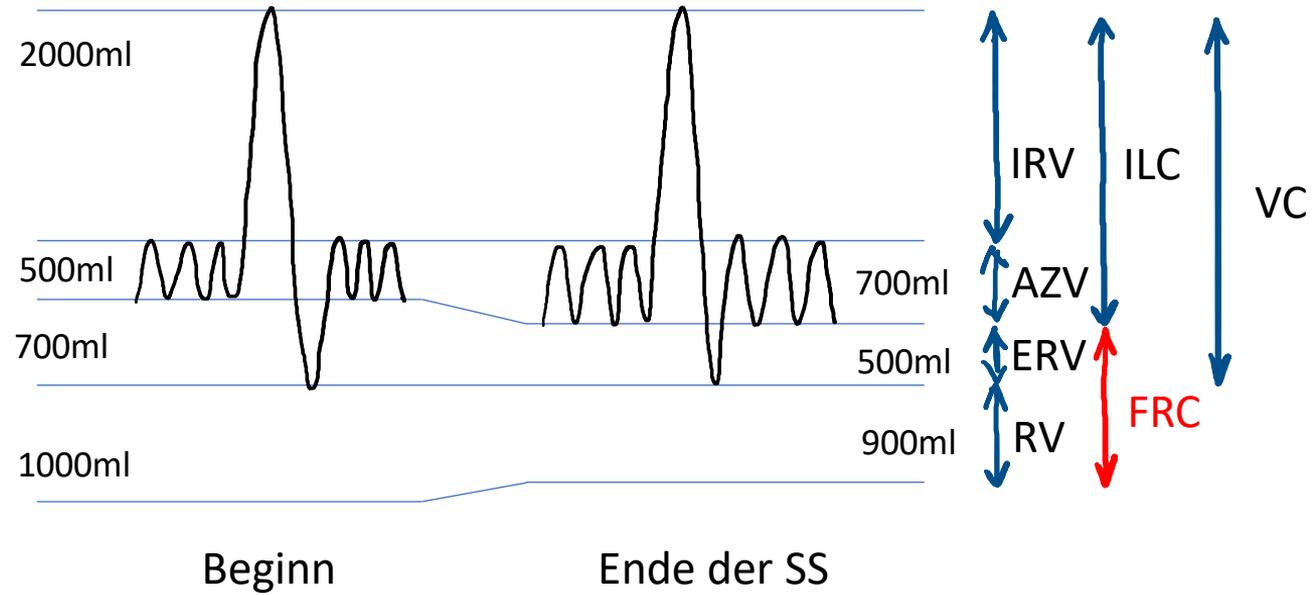
HCO₃ wird vermehrt renal eliminiert, um den pH konstant zu halten
Rechtsverschiebung der O₂-Bindungskurve

Respirationstrakt



- Lungenvolumina:
 - Tidalvolumen nimmt um 40 % zu
 - Residualvolumen nimmt um 20 % ab
- Lungenskapazität:
 - FRC nimmt um 20% ab
 - Vitalkapazität unverändert

Lungenvolumina



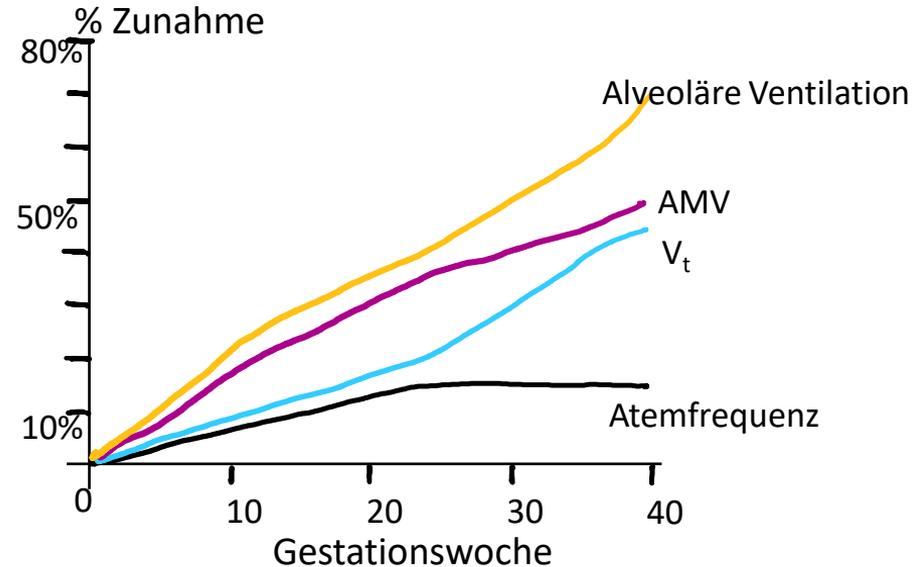
Respirationstrakt

- **Ventilation**

- AMV nimmt um 45-50% zu
- Atemfrequenz nimmt um 10% zu
- (Tidalvolumen nimmt um 40% zu)
- Alveoläre Ventilation nimmt um 65% zu

- **Atemmechanik**

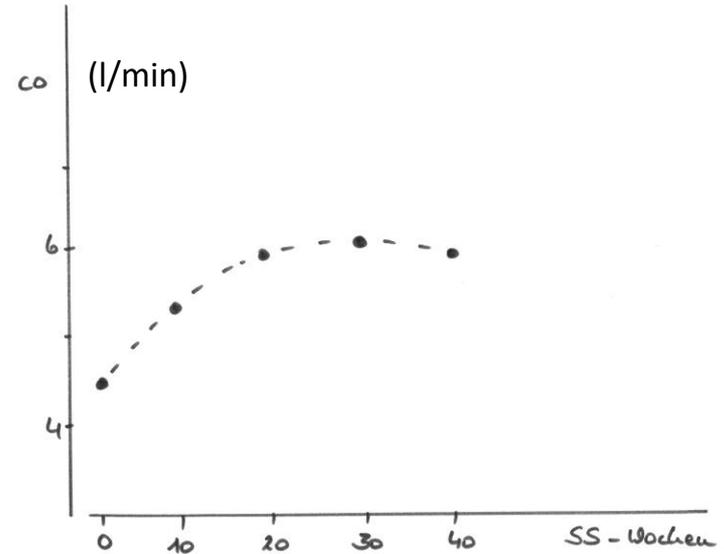
- Kein Unterschied in FEV1/FVC und in CC



Herz-/ Kreislaufsystem



- Reduktion des SVR um 20-30% durch Vasodilatation
- Gesteigerte NO-Synthese, Senkung des Gefäßtonus
- Nachlastsenkung
- Sympathikusaktivierung
- CO steigt um 30 bis 50%
 - Anstieg ab 8. SSW, Maximum in der 32. SSW
 - SV um ca. 30% erhöht
 - Hf um ca. 10-15% erhöht
 - Normalsierung in der 2. Wo pp



Herz-/ Kreislaufsystem

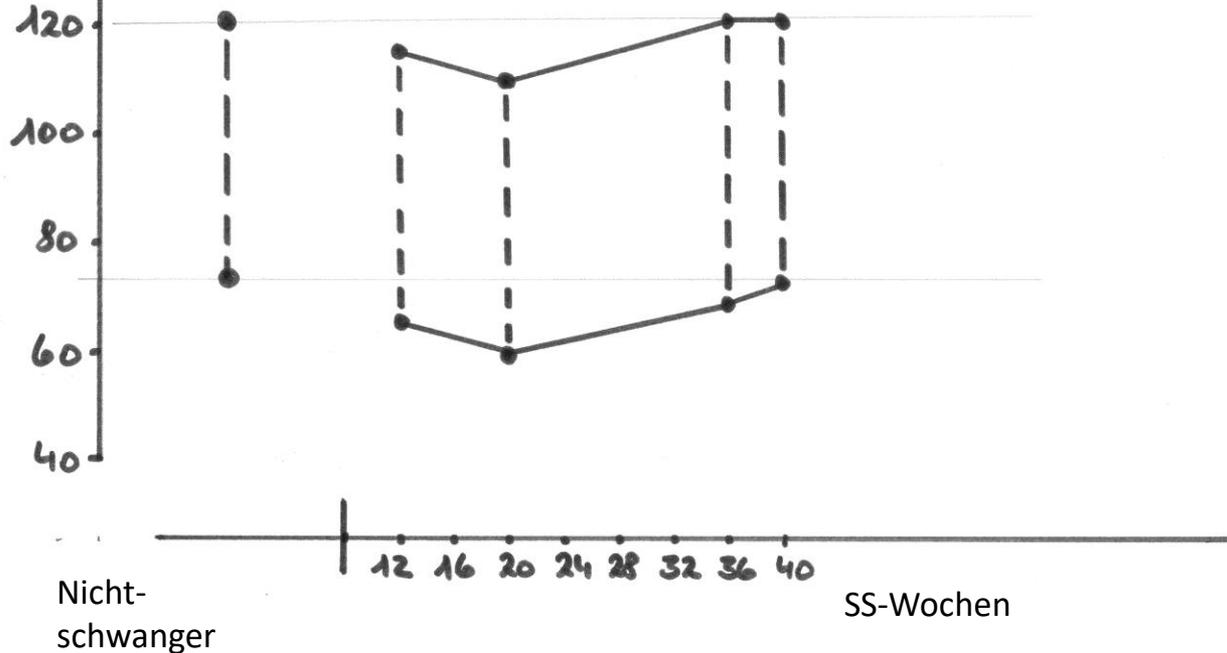


- Systemischer Gefäßwiderstand (SVR) ist um ca 20-30% reduziert
- Systolischer Blutdruck leicht, diastolischer Blutdruck deutlicher erniedrigt
- „Struktur-Frank-Starling-Mechanismus“

Blutdruckverhalten in der Schwangerschaft



Blutdruck (mmHg)



Herz-/ Kreislaufsystem



- EKG-Veränderung kommen durch Lageveränderungen zustande
- Funktionelle Herzgeräusche bei hyperdynamen Zustand
- Rhythmusstörungen: ektope atriale oder ventrikuläre Extrasystolen oder Sinustachykardien

Cavales Kompressionssyndrom

- Hypotonie/ Tachykardie/ Schwindel/ Übelkeit in 5% am Termin
- ab der 20. SSW in Rückenlage Kompression der VCI gegen die WS
- Reduktion des venösen Rückflusses durch VCI
- Ausmaß abhängig von Kollateralen (epiduraler Plexus)
- KEINE Kompression der Aorta
- Uteriner und plazentarer Blutfluss sind beeinträchtigt

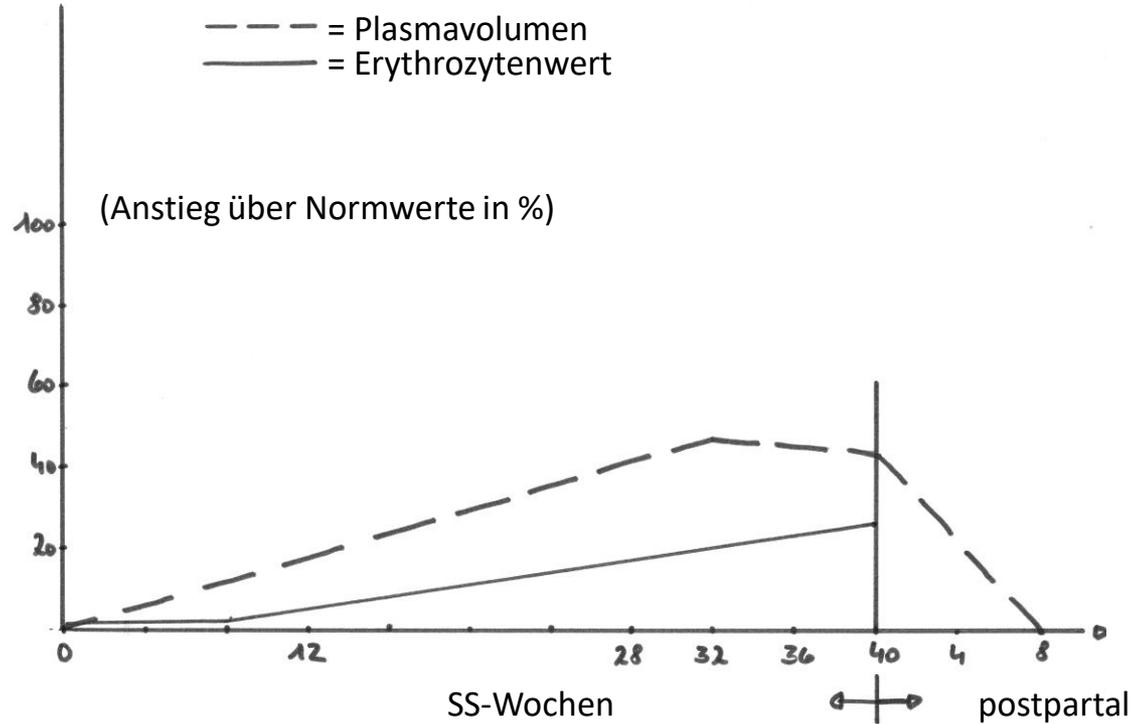


Hämatologie: Physiologische Anämie



- Blutvolumen wird um 35% erhöht
- Plasmavolumen steigt um 45%
- Erythrozyten steigen um 20% (abhängig von Eisensubstitution)
 - Hämodilution (Hk bei ca. 35; Hb bei ca. 11)
 - Viskosität erniedrigt
 - Gewebepfusion ist verbessert

Physiologische Anämie



Hämatologie



- Leukozytose:
 - Funktion vermindert
 - Infektanfälligkeit erhöht
 - Symptome bei Autoimmun-Erkrankungen abgeschwächt
- Milde Thrombozytopenie (Funktion unverändert)
- Erhöhte prokoagulatorische Faktoren
- Verminderte Fibrinolyse

Hämatologie: peripartale Hämostase



Physiologische **Hyperkoagulabilität**

	1. Trimenon	2. Trimenon	3. Trimenon	Geburt
Fibrinogen	↑	↑↑	↑↑↑	
F II, VII, IX, X, XII	↑	↑↑	↑↑↑	
FV	↑	↑	↑	
vWF	↑	↑↑	↑↑↑↑	
Fibrinolyse	↑	↓↓	↓↓	↑↑↑↑
Thrombozyten	—	↓	↓	

Gastro-Intestinal-Trakt



- Oropharynx: Gingivitis, SS-Granulome, vermehrte Salivation
- SH-Schwellung
- Gastro-Ösophagealer Reflux in 30-50 %
- Blähungen; Obstipation; Stuhlinkontinenz
- Hämorrhoiden

Aspiration



- Erhöhter intraabdomineller Druck
- Erniedrigter Spinkter-Tonus am ösophagogastralen Übergang
- Magenentleerung bleibt gleich (außer bei Schmerzen u/o Opiaten)
- Am Termin haben aber ca. **60% der Patientinnen** ein Magenvolumen von mehr als 25 ml (0,3ml/kg) und einen pH von weniger als 2.5 (Aspirationspneumonitis)

Niere



- Anatomie:
 - Dilatation des Nierenbeckens und der Ureteren
- Physiologie:
 - Renaler Blutfluss um 75% ↑ durch renale Vasodilatation
 - GFR ↑ von 100 auf 150ml/min ab 2. Trimenon
 - Proteinurie (< 300mg/d)
 - Glucosurie (1-10 g/d)
 - Plasmaosmolalität ↓
 - Reabsorption von Bikarbonat ↓

Leber

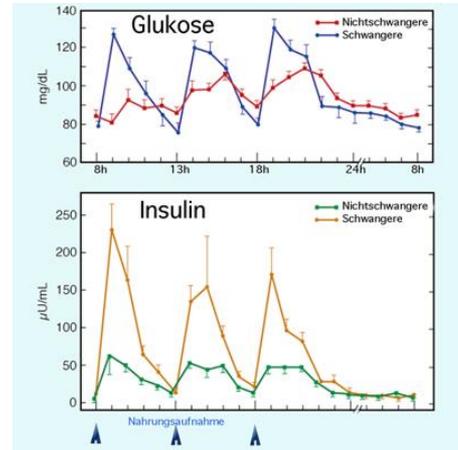


- Anteil des HZV wird um 35% reduziert
- Clearance ist vermindert
- Venöse Druckerhöhung im Bauchraum
- **Serum-Albuminkonzentration ↓** bis zu 60%...kolloidosmotischer Druck ist reduziert
- Alkalische Phosphatase erhöht (Plazenta)
- Aktivität der **Pseudocholinesterase im Serum ↓** um 25-30 %
- Erhöhte Prädisposition zur Bildung von Gallensteinen

Endokrine Organe



- Schilddrüse:
 - Vergrößert (follikuläre Hyperplasie und Vaskularität)
 - Schilddrüsenhormonproduktion erhöht
- Pankreas:
 - Periphere Insulinresistenz
 - Nüchtern-BZ erniedrigt (beschleunigter Hungerzustand)
- Hypophyse:
 - Hyperplasie der laktotrophen Zellen...Hyperprolactinämie



Bewegungsapparat



- Verstärkte Lordose der unteren LWS, Anteflexion in HWS und Zurücknehmen der Schultern
- Auflockerung des Bandapparates der WS
- Erhöhte Mobilität der Iliosakral-Gelenke und der Symphyse

ZNS



- Vollnarkose:

Volatile Anästhetika: MAC um 30%-40% ↓

IV-Anästhetika: erhöhte Sensitivität

- Neuroaxiale Blocks:

Lokalanästhetikadosierung um 30-50 % ↓

- Mechanisch bedingt
- biochemisch bedingt

Feto-maternale Einheit



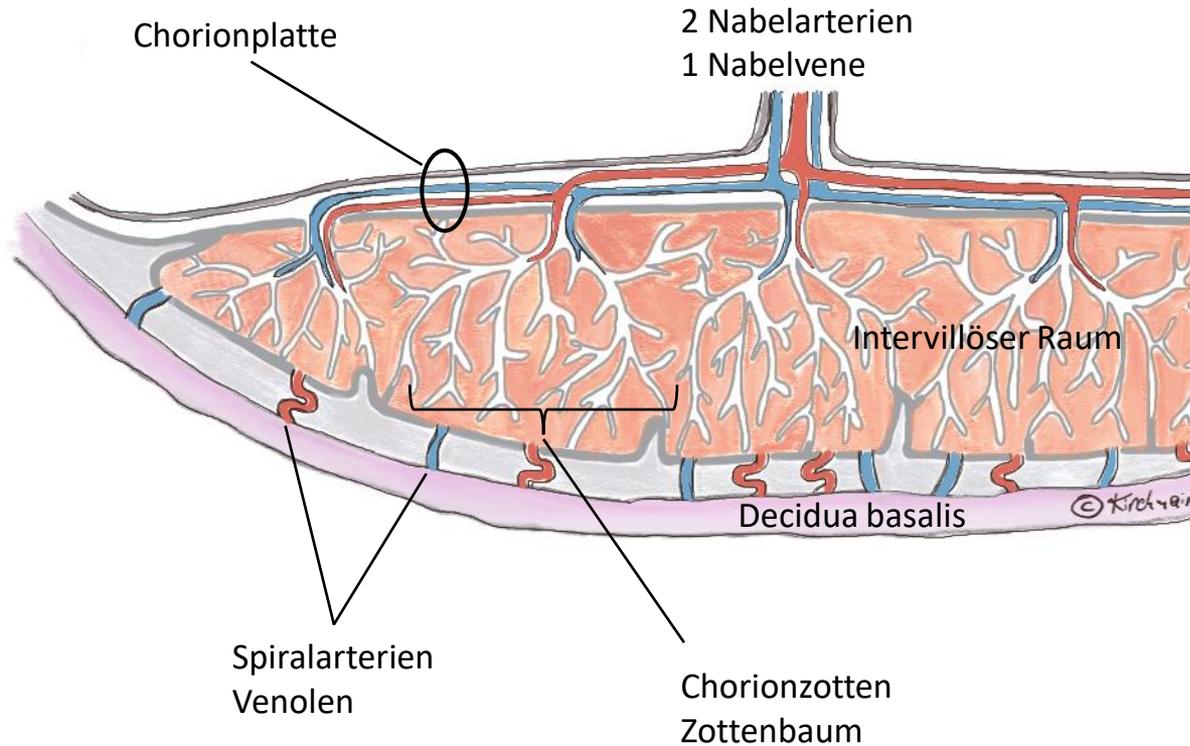
- Plazenta besteht aus mütterlichen und fetalen Gewebe
- Gasaustausch, Flüssigkeitshaushalt, Ernährung, Elimination von Abfallprodukten
- Endokrine Funktion
- „Semipermeable Membran“ Plazentaschranke

Uteroplazentare Zirkulation



- Uteriner Blutfluss: 500-700 ml/min (=10% des maternalen CO)
- High-flow and low-resistance (Dilatation der uterinen Gefäße)
- Keine Autoregulation
- Uterine Gefäßwand besitzt alpha-Rezeptoren und wahrscheinlich auch beta-Rezeptoren
- abhängig vom maternalen Blutdruck und CO

Plazenta



Plazenta



- 80% des uterinen Blutflusses passieren den intervillösen Raum; **funktionelle Einheit: Plazentazotte**
- 40-50% des fetalen CO gehen in die Plazenta
- Fetaler Blutfluss: 75ml/kg/min
- Am Termin: 150ml Blut im intervillösen Raum, davon ca 40ml O₂; bei fetalem O₂-Verbrauch von 21ml/min bleiben **ca 1-2 Minuten O₂ für den Feten**

Uteriner Blutfluss



$$Q_{\text{uterin}} = P_{\text{art}} - P_{\text{ven}} / R_{\text{uterin}}$$

Anästhetika mit Wirkung auf den uterinen Blutfluss



- Barbiturate und Propofol: dosisabhängiger mütterliche Blutdruckabfall
- Volatile Anästhetika: bei **MAC < 1** kaum Auswirkung
- Lachgas (in Kombination): kaum Auswirkung
- Spinal und Epidural applizierte Anästhetika reduzieren **nicht** den uterinen Blutfluss
- Epidural appliziertes Epinephrin hat nur eine **geringe** systemische beta-adrenerge Wirkung

Plazentarer Austausch



- Passiver Transport: einfache, erleichterte Diffusion oder Diapedese (Membrandefekte oder Poren)
 - Gase, Glucose, Kreatinin, Harnstoff, Medikamente, Wasser (Aquaphorine)
- Aktiver Transport: enzymatisch oder per Endo-/Exozytose
 - Proteine, Lipide, Hormone, IgG

Plazentapassage



- Je niedriger das Molekulargewicht
- Je niedriger der Ionisationsgradient
- Je niedriger die Proteinbindung
- Je größer die Lipophilie
- Je höher der Konzentrationsgradient

....desto größer ist die Plazentapassage

Gasaustausch



- Abhängig von uterinen Blutfluss und fetalem Blutfluss
- Diffusion
- Sauerstoffabgabe ist abhängig von:
 - Differenz von Sauerstoffkonz. und pO_2 -partialdruck im fetomaternalem Kreislauf
 - Größere O_2 -Affinität von fetalem Hämoglobin HbF Bohr-Effekt

Medikamente mit Wirkung auf die Uterusmuskulatur



1. Tokolytika
2. Uterusstimulantien
3. Anästhetika
4. Vasopressoren

Tokolytika



- Beta2-Rezeptor-Agonisten wie Fenoterol und Hexoprenalin
- Magnesium
- Oxytocinantagonist Atosiban
- Prostaglandinsynthesehemmer

- Nitroglycerin

Uterusstimulantien



- Oxytocin
- Methylergometrin
- Carbetocin: Oxytocinagonist (Pabal)
- Prostaglandine

Anästhetika



- Inhalationsanästhetika:
 - dosisabhängige Uterusrelaxation
 - < 0.5 MAC haben keine relaxierende Wirkung
 - > 0.9 MAC Wirkung von Oxytocin unterdrückt
- Lachgas: bis 50 Vol% keine relax. Wirkung
- Ketamin: > 2mg/kg verursacht Uteruskontraktion
- Lokalanästhetika: epidurales Lidocain & Mepivacain haben stärkere uterusrelaxierende Wirkung als Bupivacain

Vasopressoren



- Gebärmuttermuskulatur besitzt alpha- und beta-Rezeptoren
- Alpha1-Rezeptoren
 - Kontraktion
 - Phenylephrine kann in hohen Dosen eine tetanische Uteruskontraktion hervorrufen
- Beta2-Rezeptoren
 - Relaxation

Ephedrin hat kaum einen Effekt auf die Muskulatur

Inhalationsanästhetika



- passieren alle die Plazenta
- Bei **MAC <1** nur geringfügige fetalen Depression
- Dosisabhängig uterusrelaxierend (bei MAC > 0.5)
- Lachgas: sollte während der Organogenese nicht verwendet werden

IV-Anästhetika



- Thiopental und Propofol passieren leicht die Plazenta
- Benzodiazepine passieren ebenfalls leicht
 - Eingeschränkte fetale Metabolisierung
 - Floppy infant-syndrom
 - Midazolam: geringe Lipophilie, kurze Wirkung
- Ketamin:
 - dosisabhängige tetanische Uteruskontraktionen, bei Präeklampsie und Hypertonie kontraindiziert

Lokalanästhetika



- Transfer ist abhängig von:
 - pKa
 - Mütterlichen und fetalen pH
 - Proteinbindung
- **Ion trapping** bei fetaler Azidose
- Ropivacain und Bupivacain passieren schlechter die Plazenta als Lidocain und Mepivacain

Opiate



- Passieren alle die Plazenta
- Morphin wirkt stärker atemdepressiv bei Neugeborenen
- Fentanyl $<1 \mu\text{g}/\text{kg}$ kurz vor der Entbindung hat minimale atemdepressive Auswirkungen auf Kind
- Remifentanil:
 - halbe Plasmakonzentration im Feten
 - UA/UV Ratio: 30 %

Muskelrelaxantien, Antagonisten



- Rocuronium: geringer plazentarer Transfer
- Succinylcholin: erhöht den Uterustonius
- Neostigmin: Fallberichte fetaler Bradykardien beschrieben
- Parasympatholytika:
 - Atropin passiert die Plazenta
 - Glykopyrrolat nicht
- Sugammadex: minimaler Transfer diskutiert

Nicht-Opioid-Analgetika



- Paracetamol: Analgetikum der 1. Wahl
- Diclofenac und Ibuprofen dürfen im 1. und 2. Trimenon verwendet werden, ab der **28. SSW** sollten alle NSAID vermieden werden
- Metamizol: kann im letzten Trimenon auch zu einem Verschluss des Ductus arteriosus führen

Zusammenfassung



- Erhöhtes AMV und reduzierte FRC: physiologische Hypokapnie, schnellere Entsättigung, schnelleres An- und Abfluten der Inhalationsgase bei niedrigeren MAC
- Hypoxämie: reduzierte FRC und erhöhter O₂-Verbrauch
- Aortocavale Kompression
- Schwieriger Atemweg
- Aspirationsgefahr erhöht
- Erhöhtes Blutvolumen aber physiologische Anämie