

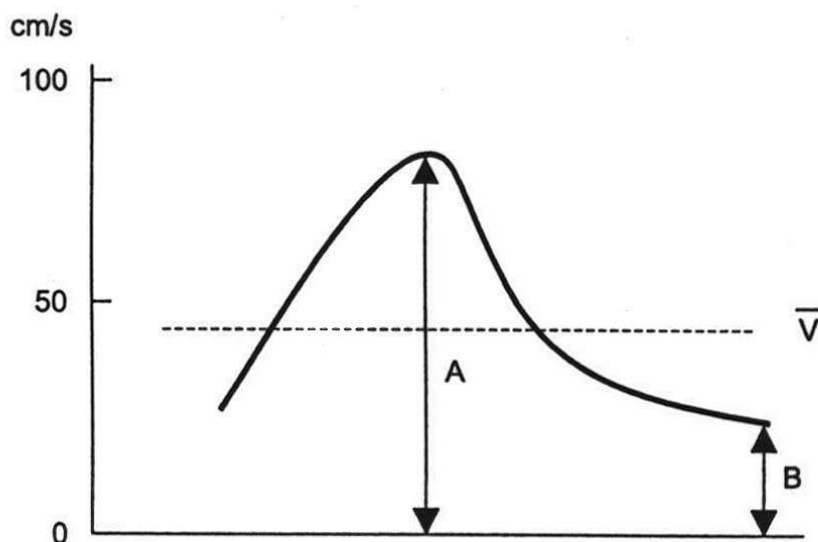
# PRENATÁLNÍ DOPPLEROMETRIE

Ľubušký M., Machač Š. Prenatální dopplerometrie. Lékařské listy, 2003, 41, s. 11-13.

Pulsní a barevná dopplerometrie se stává stále více rutinním vyšetřením v rámci specializovaného prenatálního vyšetření. Jde o typicky funkční metodiku umožňující neinvazivním způsobem posoudit hemodynamiku v uteroplacentární a fetální cirkulaci. Pulsním dopplerem sledujeme průtokové poměry v cévách, které reagují na změny odporu periferních tkání. Při měření v arteria uterina a arteria umbilicalis získáváme cennou informaci o funkčním stavu placenty. Následné změny ve fetální cirkulaci odráží reakci plodu na rozvíjející se distress a umožňují odhad jeho rezerv.

## ZOBRAZENÍ A HODNOCENÍ DOPPLEROVSKÉ RYCHLOSTNÍ KŘIVKY

Po vyhledání dotyčné cévy je zapojen dopplerovský pulsní modul a umístěno dopplerovské okénko (gate). U většiny současných přístrojů se po přepnutí objeví na části obrazovky dopplerovská rychlostní křivka (dopplerovský rychlostní profil). Má-li křivka optimální kvalitu (stejná výška amplitud a rovnoměrná "hustota" křivky) po několik srdečních cyklů, je možno ji "zmrazit" stejně jako B-obraz. Tato křivka je pak vhodná k vlastnímu vyhodnocení, které je u většiny přístrojů manuální nebo automatické a jeho kvalita závisí jednak na kvalitě křivky a jednak na možnostech softwaru používaného přístroje.



*Obr. č. 1: Arteriální dopplerovská průtoková křivka. Maximální rychlost průtoku v systole (A). Maximální rychlost na konci diastoly (B). Střední průtoková rychlost ( $\bar{V}$ - Mean).*

Křivka představuje změny maximální rychlosti průtoku v čase. Za předpokladu, že bylo použito odpovídajícího úhlu snímání, analyzuje počítačový program maximální rychlost průtoku krve v systole (A), maximální rychlost na konci diastoly (B), střední průtokovou

rychlost ( $V - \text{Mean}$ ). Vyhodnocení bere v úvahu relace mezi maximální systolickou a diastolickou rychlostí průtoku. Přičemž klinicky i experimentálně mají změny v rozsahu diastoly větší význam. Zatímco systolický nárůst svědčí o srdeční kontrakční síle, reprezentuje tok na konci diastoly velikost periferního odporu.

Z rychlostí toku znázorněných na dopplerovské křivce jsou vypočítány indexy.

**RI - resistant (Pourcelot) index =  $A - B / A$**       Pourcelot r.1974

**PI - pulsatility index =  $A - B / V$**       Gosling r.1975

**index  $A/B = A / B$**       Stuart r.1980

**index  $B/A = B / A$**       Trudinger r.1985

Index rezistence (RI),  $A/B$  a  $B/A$ , zohledňují pouze dva body dopplerovské rychlostní křivky. Tedy maximální rychlost v systole  $A$  a na konci diastoly  $B$  (endiastolickou). Index Pulsatility (PI) bývá považován za vhodnější pro posuzování charakteru toku ve smyslu posouzení periferního odporu cévní stěny. Zohledňuje totiž kromě nejvyšších rychlostí také střední rychlost v průběhu celého kardiálního cyklu.

## 1. UTEROPLACENTÁRNÍ CIRKULACE

Při vyšetření uteroplacentární cirkulace se nejčastěji zaměřujeme na **uterinní arterii**. Posuzují se obě arterie a označují se jako placentární a neplacentární podle toho která je blíže k placentě. Dopplerometrické měření se provádí v paracervikální oblasti, u vstupu arteria uterina do dělohy.

Rychlost toku se mění od časného těhotenství do 26. týdne gravidity. V I. trimestru dochází k rychlému systolickému vzestupu, rychlému poklesu a pomalému diastolickému průtoku s jedním nebo dvěma diastolickými zářezy.

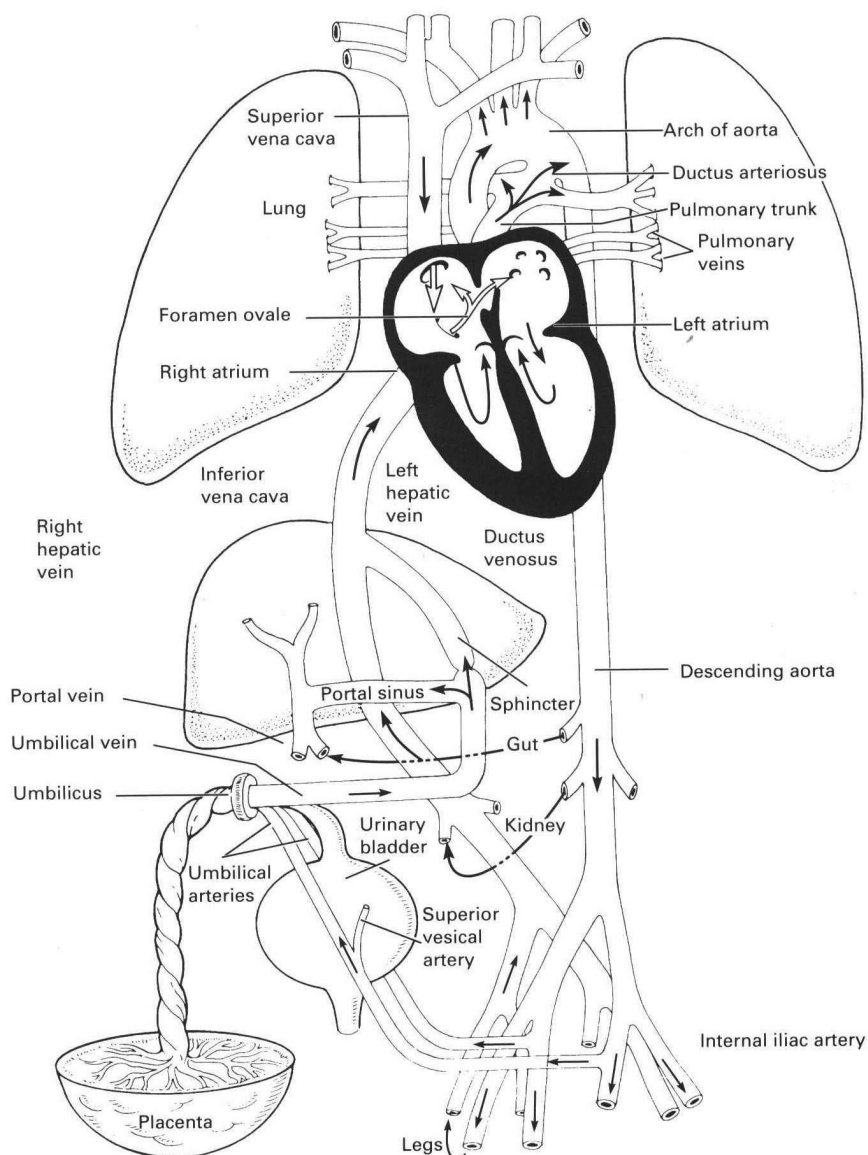
Ve II. trimestru je menší systola a vyšší konečná diastola a zářezy u normálního těhotenství vymizí. Ve III. trimestru gravidity je časná diastolická incisura detekována v souvislosti s porušenou perfúzí v intervilózním prostoru např. u IUGR nebo u preeklampsie (PET), nejčastěji se objevuje na neplacentární uterinní arterii. Snížení endiastolické maximální rychlosti je důsledkem zvýšeného odporu v utero-placentární cirkulaci.

Abnormní dopplerovská flowmetrie uterinní a uteroplacentární cirkulace (vzestup RI, nebo přetrvávající diastolický zářez) je významným prediktorem těhotenstvím indukované hypertenze (ev. preeklampsie) a/nebo intrauterinní růstové retardace plodu (IUGR) u rizikově těhotných. Identifikuje skupinu, u které může dojít k vývoji těhotenských patologií. Po 24. týdnu gravidity by měl být RI v a. uterina  $\leq 0,58$  a časný diastolický „notch“ by již neměl být přítomen.

## b. FETÁLNÍ CÍRKULACE

Fetální arteriální oběh se liší od neonatálního ve dvou ohledech: krev z pravého srdce proudí skrze foramen ovale a ductus arteriosus do levého srdce a do aorty, čímž obchází plíce. A asi 50% krve proudící aortou se ihned vrací přímo cestou umbilikálních arterií zpět do placenty.

Dobře okysličená krev se vrací z placenty zpět k plodu cestou umbilikální vény. V játrech se umbilikální venózní krev rozděluje, polovina pokračuje do ductus venosus a zbývající část je odváděna do portálního systému a hepatálních žil.



Obr. č. 2: Schematické zobrazení fetální cirkulace (Whitfield - 1995).

### **Arteria umbilicalis**

Rychlostní průtokovou křivku v umbilikální artérii lze získat celkem snadno, vyjma situací, kdy je přítomen oligohydramnion, placenta lokalizována na zadní stěně, nebo je plod v dorso-

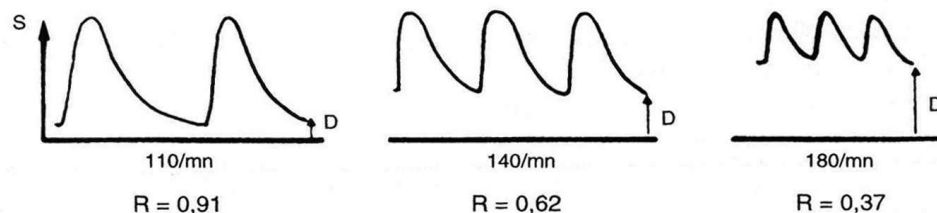
anteriorní poloze. Pomocí barevné dopplerometrie je možno dobře zobrazit helikálně uspořádané cévy v pupečníku. Arteriální průtoková křivka (arteria umbilicalis) má typický tvar zubů pily („saw tooth appearance“), zatímco žilní průtoková křivka má kontinuální tvar. Tomu odpovídá i doprovodný akustický signál. Proto užití barevné dopplerometrie při měření průtokových poměrů v arteria umbilicalis obvykle není zapotřebí.

Měření je možno provádět **v různých částech pupečníku**, v místě umbilikálního úponu, placentárního úponu, nebo kdekoli podél jeho průběhu. Hodnoty dopplerovských indexů jsou vyšší při fetálním úponu než při placentárním. Naopak směrem k placentě stoupá end-diastolická průtoková rychlost. Jednoduché vysvětlení pro tuto skutečnost je, že placenta představuje systém s nízkým odporem a tudíž minimálně ovlivňuje kontinuální průtok krve v umbilikální arterii během diastoly.

Provádíme-li měření průtokových poměrů v umbilikální arterii, stejně jako kdekoli ve fetální cirkulaci mohou být získané hodnoty ovlivněny také „**dýchacími**“ **pohyby plodu**. V praxi obvykle provádíme měření mimo „dechovou“ aktivitu plodu a ve střední části volného pupečníku, nebo v blízkosti jeho placentárního úponu.

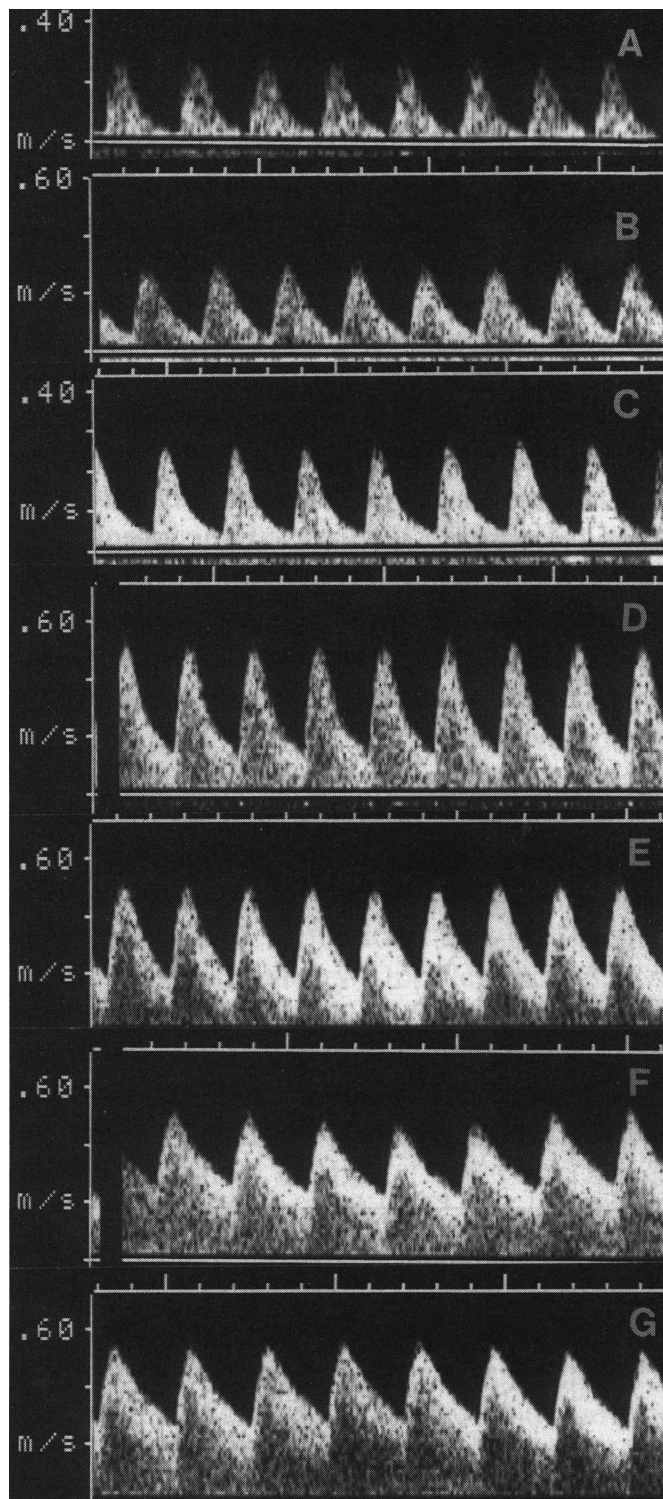
**S narůstající gestací** v umbilikální arterii postupně klesá pulsilita a stoupá endiastolická průtoková rychlost. Konstantní endiastolický průtok je obvykle přítomen od 16. týdne. Tento pokles rezistence je v první řadě odvozen od přibývajícího počtu terciálních klků v placentě a zvyšujícího se srdečního výdeje. Po 30. týdnu gestace vykazuje pulsilita v umbilikální arterii diurnální variabilitu, tyto změny ale nemají klinický význam.

Získané hodnoty jsou rovněž závislé na **srdeční frekvenci plodu**. Pohybu je-li se se srdeční frekvence plodu v normálním rozmezí (120-160/min), nejsou tyto změny významné. Při tachykardii můžeme ale získat falešně nižší hodnoty pulsatility a naopak.



*Obr. č. 3: Vliv srdeční frekvence plodu na průtokovou rychlost na konci diastoly a na hodnotu Rezistenčního indexu (RI). Při srdeční frekvenci 110/min. trvá diastolický pokles průtoku déle než při frekvenci 140/min. Průtoková rychlost na konci diastoly je tedy nižší a hodnota RI vyšší než při frekvenci 140/min. Vysoké hodnoty srdeční frekvence plodu (180/min) zvyšují diastolický průtok a snižují hodnotu RI.*

Pro interpretaci výsledků je důležité porovnání průtokových poměrů v arteria umbilicalis a v ostatních částech fetálního řečiště.



*Obr. č. 4: Vliv gestačního stáří na tvar dopplerovské průtokové křivky v umbilikální arterii. Křivky jsou seřazeny od shora dolů v souladu s narůstající gestací. (A) 16. týden. (B) 20. týden. (C) 24. týden. (D) 28. týden. (E) 32. týden. (F) 36. týden. (G) 40. týden. S narůstající gestací se postupně zvyšuje zvyšuje průtoková rychlost na konci diastoly a klesá pulsilita.*

## **Fetální aorta a karotické arterie**

Aortu a odstupující společné karotické arterie je možno zobrazit z podélného pohledu v jedné rovině. Nachází-li se ale plod svou podélnou osou paralelně k sondě, může být získání optimálního úhlu snímání signálu obtížné a vyžaduje určitou praxi.

Hodnota PI v aortě zůstává v průběhu těhotenství relativně konstantní, zatímco TVA (time averaged velocity – střední průtoková rychlost) ve fetální descendní hrudní aortě narůstá s gestací a dosahuje plató ve třetím trimestru.

## **Arteria cerebri media**

Pomocí barevné dopplerometrie je možno zobrazit jednotlivé cerebrální arterie. Prvním krokem při získání signálu z arteria cerebri media je zobrazení roviny, ve které provádíme při biometrii měření biparietálního průměru. V této rovině se pohybujeme směrem k bazi lební až se zobrazí sfenoidální kost. Arteria cerebri media obvykle probíhá podél jejího velkého křídla a pomocí barevné dopplerometrie je možno ji snadno zobrazit. Je nutné dávat pozor, aby naměřené hodnoty nebyly pozměněny tlakem sondy během měření.

TAV (time averaged velocity – střední průtoková rychlost) v cévách zásobujících fetální mozek, obzvláště v arteria carotis communis a v arteria cerebri media, také stoupá s narůstající gestací. Pravděpodobně se jedná o důsledek progresivně se zvyšujícího srdečního výdeje, jehož cílem je uspokojit požadavky rostoucího plodu a vyvíjejícího se mozku. TAV stejně jako průsvit cévy jsou parametry používané ke stanovení průtokového objemu ve sledované cévě. Pulsatilní index (PI), odrážející rezistenci periferních tkání, který zůstává relativně konstantní v aortě, však neustále klesá během těhotenství v arteria carotis communis a v arteria cerebri media. Tyto nálezy naznačují, že v pozdějších obdobích těhotenství úměrně větší část srdečního výdeje směřuje do fetálního mozku. Pravděpodobně se jedná o kompenzaci postupně klesajícího parciálního tlaku kyslíku ( $pO_2$ ) a stoupajícího parciálního tlaku oxidu uhličitého ( $pCO_2$ ) ve fetální krvi. Ke zvyšování diastolického průtoku v cerebrálních arteriích dochází později (asi ve 25. týdnu) než v umbilikálních arteriích (asi v 15. týdnu). Hodnota pulsatilního indexu (PI) je významně vyšší v a. cerebri media než v a. carotis interna nebo v a. cerebri anterior a posterior. Proto je důležité vědět zcela přesně, kterou cévu vyšetřujeme.

Barevná dopplerometrie umožňuje vyšetřovat mnoho dalších fetálních cév, ačkoliv klinický význam měření průtokových poměrů v těchto cévách nebyl dosud ještě přesně stanoven.

## **ZMĚNY VE FETÁLNÍ CIRKULACI U OHROŽENÉHO PLODU** (reakce fétu na hypoxémii a acidémii)

Primární reakcí pozorovanou pomocí fetální dopplerometrie je tzv. „**brain-sparing effect**“. Je možné, že vývoj hypoxie a acidózy souvisí se změnami ve fetální hemodynamice, které odpovídají „brain-sparing efektu“. Dochází k preferenčnímu krevnímu zásobení (a tím přísunu kyslíku a živin) do fetálního srdce, nadledvin a mozku na úkor ostatních částí těla (ledvin, gastrointestinálního traktu a dolních končetin).

## **Arteria umbilicalis**

Arteria umbilicalis (AU) vykazuje vysokou systolickou vlnu, která se v průběhu gravidity vlivem snižování odporu v placentě snižuje. Průtok v diastole naopak vzrůstá. Při patologických stavech dochází ke snižování rychlosti průtoku v diastole. Průtokové křivky je možno hodnotit kvalitativně, dle přítomnosti či nepřítomnosti end-diastolického průtoku, nebo kvantitativně, měřením rezistenčních indexů.

Průtok v diastole nemusí být vždy měřitelný, nejzávažnější je pak nulový (zero, absent endiastolic flow) nebo dokonce zpětný (revers endiastolic flow) diastolický průtok. Takový nálezu koreluje s placentární insuficiencí, kdy dochází k redukci počtu arteriol v terciálních klcích. Krev tedy proudí v malém množství proti většímu odporu a dochází k poruše výměny mezi matkou a plodem.

Patologické hodnoty dopplerometrie jsou častěji přítomny rovněž u plodů s chromozomálními aberacemi, obzvláště jsou-li ve spojení se strukturálními abnormitami.

## **Aorta a společné karotické artérie**

Krevní průtok ve fetální aortě je odrazem srdečního výdeje a periferního odporu u plodu a v placentě. Mezi fetální acidémií a nepřítomností end-diastolického průtoku v aortě je významný vztah. Dochází k výrazné vazokonstrikci v periferní cirkulaci. Jedná se o konečný kompenzační mechanismus, jehož cílem je zajistit adekvátní přísun živin a kyslíku do mozku ve fázi, kdy už samotná cerebrální vasodilatace není postačující. Nulový průtok v aortě na konci diastoly bývá spojen s častějším výskytem neonatálních komplikací. Nejčastěji se jedná o nekrotizující enterokolitidu. Pravděpodobně je to v důsledku sníženého krevního zásobení fetálních střev a jater při redistribuci krevního oběhu.

## **Arteria cerebri media**

Pro všechny cévy v mozku je společné, že se s rostoucím těhotenstvím zvyšují endiastolické rychlosti průtoků. Zájem vyšetřujícího se koncentruje spíše na korelaci nálezů z periferie plodu (AU) s průtokem v mozku. Nejspolehlivěji odráží úroveň průtokových poměrů v oblasti cerebrálního řečiště **arteria cerebri media** (ACM), která je pokračováním arteria carotis interna.

Při rozvíjející se hypoxii plodu dochází k vasodilataci v cerebrálním řečišti. Hodnota pulsatilního indexu (PI) v arteria cerebri media výrazně klesá a stoupá střední průtoková rychlost. U závažných stupňů hypoxie, obvykle spojených s acidózou, dosahuje pokles hodnoty PI maximum a je odrazem maximální cévní dilatace.

## **Vliv hypoxie na krevní průtok ve fetálních vénách**

V průběhu fyziologického těhotenství, i když narůstá průsvit cévy, zůstává střední rychlost proudění ve vena umbilicalis zachována. Při hypoxii se zvyšuje procento umbilikální venózní krve, která obchází játra cestou ductus venosus. Závažná hypoxie v kombinaci s acidózou vede k redistribuci krve z umbilikální žíly přímo do ductus venosus na úkor jaterní cirkulace. Tím se okysličená krev z umbilikální žíly podílí větším procentem na fetálním srdečním výdeji během hypoxémie. Periferní vazokonstrikce, která je součástí fetální arteriální redistribuce způsobuje zvýšení ventrikulárního afterloadu. Důsledkem je vzestup

ventrikulárního end-diastolického tlaku a retrográdní tok v dolní duté žíle během atriální kontrakce. Pulzace v umbilikální véně se může objevit za stejných okolností.

Pulzace ve vena umbilicalis je normální nález v I. trimestru těhotenství, v pozdějších fázích gravidity se ale jedná o nepříznivý znak signalizující zhoršení srdeční funkce. U životaschopných plodů je pulzace v umbilikální véně spojena s výraznou růstovou retardací plodu, nulovým end-diastolickým průtokem v umbilikální arterii, nepravidelnostmi srdečního rytmu a non-imunním hydropsem plodu. Pulsatilní krevní průtok v umbilikální véně je rozhodující faktor určující délku intervalu mezi objevením se nulového end-diastolického průtoku v arteria umbilicalis a rozvojem pozdních decelerací srdeční frekvence a porodem.

### **Posloupnost změn ve fetální cirkulaci**

Počáteční odezvou na hypoxémii, sledovatelnou pomocí dopplerometrie, je cerebrální vazodilatace. Ta umožní výšší přísun krve bohaté na kyslík a živiny do vyvíjejícího se fetálního mozku. Pokud tento kompenzační mechanismus nepostačuje, dochází k vzestupu systémového arteriálního odporu v aortě, eventuelně se ztrátou endiastolického průtoku. Tyto změny jsou typicky doprovázeny abnormálním průtokem v arteria umbilicalis. Hodnota pulsatilního indexu (PI) v umbilikální arterii může však být při arteriální redistribuci v mezích normálních hodnot. Patologické hodnoty venózní dopplerometrie se objevují až později. Vzestup afterloadu, obzvláště v oblasti pravého srdce, se nakonec projeví změnami průtoku v dolní duté žíle, ductus venosus a v jaterních vénách. V této fázi je plod vážně ohrožen a během několika dní se vyskytnou abnormity srdeční frekvence signalizující cerebrovaskulární kolaps.

### **Fetální anemie**

Nejčastěji se jedná o Rh izoimunizaci. Anemie vede k poklesu objemového množství kyslíku na ml krve, ale neovlivňuje parciální tlaky kyslíku a oxidu uhličitého. Plod proto zvyšuje srdeční výdej. Nedochozí k redistribuci krve s preferenčním zásobením mozku. Dopplerometrie je schopna znázornit vztah mezi rychlostí průtoku a fetálním hematokritem. Rychlost krevního toku v arteria cerebri media je rovněž zvýšena a tento nález může pomoci při managementu anemických plodů. Konkrétně při rozhodování, kdy je vhodné provést kordocentézu ke stanovení hodnoty hematokritu plodu a provedení event. intrauterinní krevní transfúze.

### **Shrnutí**

Dopplerometrie umožňuje neinvazivní posouzení funkčního stavu plodu in utero. První reakcí plodu na snížený přísun živin z placenty je snížení metabolických potřeb plodu, což vede k retardaci růstu. Současně se zvyšuje průtok v cerebrálním řečišti, což je první dopplerovskou známkou potřeby kompenzace. Cerebrální průtok dosahuje maxima asi dva týdny před začátkem decelerací srdeční frekvence. Systémové redistribuční změny ve fetální cirkulaci ale pokračují až do porodu.

Stupeň fetální krevní redistribuce je ukazatelem závažnosti plodem vyžadované adaptace. Je přímý vztah mezi vymizením endiastolického průtoku v aortě a rozvojem acidémie plodu. Při sníženém přísunu kyslíku a živin z placenty je pomocí arteriální krevní redistribuce zajištěn dostatečný přísun kyslíku a živin do mozku a myokardu. Dokud je plod schopen pomocí tohoto kompenzačního mechanismu zajistit přednostní oxygenaci myokardu, nedochází,



nehledě na stoupající afterload, k rozvoji pravostranného srdečního selhávání. Proto většina plodu, u nichž dopplerometrie ukáže arteriální redistribuci při normálním venózním průtoku, má v této fázi normální, reaktivní křivky srdeční aktivity a normální biofyzikální profil. Dopplerometrie je schopna upozornit na distress plodu až ve čtyřtýdenním předstihu před kardiokografií.

Postupující změny ve venózní cirkulaci signalizují selhávání kompenzačních mechanismů. Rozvíjí se pravostrané srdeční selhávání v důsledku narůstajícího afterloadu a hypoxie myokardu. Následně se brzy objevují typické změny na kardiokogramu (KTG). Pravidelné dopplerometrické sledování fetální arteriální a venózní cirkulace plodu nás může upozornit na ohrožení plodu in utero. Umožňuje stanovit míru a stupeň plodem vyžadované kompenzace, v důsledku nedostatečné saturace jeho metabolických potřeb.

## KLINICKÝ POSTUP PŘI VYŠETŘENÍ DOPPLEROVSKOU SONOGRAFIÍ

Pulsní Doppler pracuje s poměrně vysokými energiemi, a protože nejcitlivější na nežádoucí účinky UZ je právě endotel, vyšetření by mělo trvat co nejkratší dobu.

Nejčastěji používáme index pulsatility (PI) a index resistance (RI). Při jejich hodnocení je třeba zohlednit srdeční frekvenci plodu, výšku gestace a „dýchací“ aktivitu plodu, jak bylo vysvětleno výše.

Při vyšetření je pacientka v poloze na zádech, event. mírně na levém boku, čímž snižujeme riziko supinační hypotenze (syndrom venae cavae), v důsledku tlaku těhotné dělohy na dolní dutou žílu.

Sledujeme nejprve průtoky v arteria umbilicalis (AU). Jedná se o nejsnáze přístupnou cévu, informující vyšetřujícího o stavu fetoplacentární jednotky. Patologické hodnoty mohou být důsledkem zvýšení rezistence placentárního (insuficience) či maternálního (např. hypertenze) cévního řečiště.

Při patologickém průtoku v AU vyšetřujeme průtok v mozku plodu. Nejvhodnější se pro tyto účely jeví arteria cerebri media (ACM). Plod reaguje na vznikající hypoxii redistribucí krevního oběhu s preferenčním zásobením srdce, mozku a nedledvin. V důsledku toho stoupá průtok krve cerebrálním řečištěm. Jedná se o „**brain sparing effect**“ (mozek šetřící efekt).

K hodnocení stupně krevní redistribuce u plodu je možné použít cerebro – umbilicální index (CUI). Srovnává rezistenci v arteria cerebri media (Rc) a v arteria umbilicalis (Ru). Během normálního těhotenství je rezistence v cerebrálních arteriích ve všech fázích gestace vyšší než v umbilikálních. Proto:

**CUI (Rc/Ru) > 1**

Naopak při výrazné redistribuci nabývá hodnot nižších než jedna. Tento index není závislý na srdeční frekvenci plodu, protože cerebrální i umbilikální indexy jsou na ní závislé stejně.

*MUDr. Marek Ľubušký, Ph.D.*

*Klinika porodnictví a gynekologie FN a LF UP Olomouc  
M. Pospíšilové 2, 77900 Olomouc*

Na základě těchto skutečností lze stanovit indikace k provedení dopplerovského vyšetření:

**1) u matky**

- hypertenze
- preeklampsie
- diabetes mellitus
- inkompatibilita krevních skupin rodičů

**2) u plodu**

- nitroděložní růstová retardace (IUGR)
- fetální poruchy srdečního rytmu
- fetální kardiopatie
- hydrops fetus
- vícečetná gravidita
- hypoxie plodu
- oligohydramnion a polyhydramnion