

Vývoj balistokardiografie od roku 1877 do současnosti

Lucia Barčiaková¹, Jan Pirk¹, Petr Šeba², Jan Kříž²

¹ Klinika kardiovaskulární chirurgie, Institut klinické a experimentální medicíny, Centrum výzkumu chorob srdce a cév, Praha,

² Katedra fyziky, Pedagogická fakulta, Univerzita Hradec Králové, Česká republika

Barčiaková L, Pirk J, Šeba P, Kříž J. **Vývoj balistokardiografie od roku 1877 do současnosti.** *Cor Vasa* 2011;53:72–74.

Kardiologie za posledních 20 let zaznamenala významný pokrok v oblasti diagnostiky a terapie manifestní ischemické choroby srdeční, mortalita na toto onemocnění však nadále zůstává neuspokojivá. I tento fakt přispěl k tomu, že se vědecký výzkum začíná soustřeďovat zejména na diagnostiku preklinické fáze ischemické choroby srdeční. Mezi významné prediktory kardiovaskulárního rizika patří rychlost šíření pulsní vlny aortou, vyšetřovaná zejména pomocí aplanační tonometrie. Náš výzkum ukázal, že rychlost šíření pulsní vlny aortou lze měřit i pomocí počítačově zpracované balistokardiografie. Tento přehledový článek pojednává o historii balistokardiografie a možnostech jejího využití v současnosti.

Klíčová slova: Balistokardiografie – Rychlost šíření pulsní vlny aortou – Aplanační tonometrie

Barčiaková L, Pirk J, Šeba P, Kříž J. **The development of ballistocardiography from 1877 to the present.** *Cor Vasa* 2011;53:72–74.

Cardiology has witnessed major advances in the diagnosis and treatment of overt coronary heart disease (CHD) over the past 20 years; however, mortality rates for CHD continue to be unsatisfactory. This was also one of the reasons why current research has focused particularly on diagnosing pre-clinical CHD. Major predictors of cardiovascular risk include aortic pulse wave velocity (PWV), determined primarily by applanation tonometry. Our study has shown PWV can also be measured using computer-assisted ballistocardiography. This review article provides a look at the history of ballistocardiography and its potential uses in current medical practice.

Key words: Ballistocardiography – Aortic pulse wave velocity – Applanation tomometry

Adresa: MUDr. Lucia Barčiaková, Klinika kardiovaskulární chirurgie, IKEM, Vídeňská 1958/9, 140 21 Praha 4, e-mail: lucia.barciakova@gmail.com

Úvod

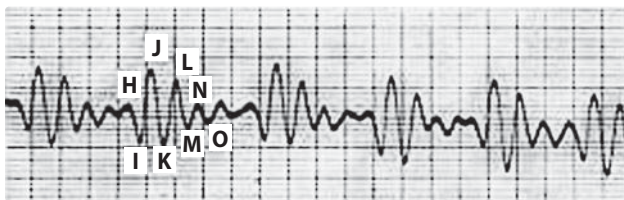
Balistokardiografie je téměř zapomenutá kardiologická metoda vyšetření srdeční činnosti pomocí zachycených vibrací těla. Principem je třetí Newtonův zákon pohybu, nazývaný také zákon akce a reakce, jenž doslova říká: „Proti každé akci vždy působí stejná reakce; jinak: vzájemná působení dvou těles jsou vždy stejně velká a míří na opačné strany.“ („Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem; sive: corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi.“) Aplikováno do praxe, pokud tělo vynaloží určitou sílu na specifické množství krve, krev vzápětí vynaloží stejnou sílu opačného směru na tělo, a právě to lze balistokardiografem zachytit. Po mnohanásobném zvětšení registrovaného signálu vzniká křivka balistokardiogram (viz *obrázek 1*).

Období prvních experimentů (1877–1960)

Tento jev poprvé popsal J. W. Gordon v roce 1877. Jeho experimenty probíhaly velice složitě a sofistikovaně. Pacienty pokládal na lůžko zavěšené pod stropem pomocí lan a po zklidnění rušivých pohybů začal registrovat jemné pohyby, které byly synchronní se srdeční činností. Jeho práce vyvolala sérii dalších experimentů různých badatelů, nicméně bez většího přínosu pro praxi.¹ Nová éra výzkumu nastala až po roce 1939, kdy byla zveřejněna práce Isaaca Starra, považovaného za zakladatele moderní balistokardiografie.¹

O deset let později, v roce 1949, sestavil W. Dock jednoduchý model přístroje, tzv. direct body pick up, umožňující zavést balistokardiografii do běžných ordinací, což byl impuls k rozšíření této metody a získání obrovského

Tento projekt je realizován za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu ČR pod č. FT-TA5/096, jehož nositelem je Linet, s. r. o.



Obrázek 1 Balistokardiogram, 1955

H, I, J, K, L, M, N, O – jednotlivé kmity dle I. Starra

množství dat od dalších dobrovolníků a pacientů.¹ Vznikla potřeba exaktnějšího vyhodnocení získaných výsledků, jež slibovaly nový způsob diagnostiky srdečních onemocnění.

Již Isaac Starr popsal kmity balistokardiogramu jako „H, I, J, K, L, M, N and O waves“, přičemž vlny H–K nazval systolické a L–O diastolické.² Interpretace výsledků byla kvalitativní, protože kvantitativní determinace v té době nebyla přesná.¹ Za normální křivku se považovala ta, která splňovala následující body:

- › systolické vlny musejí být dominantní a tvořit tvar písmene W;
- › diastolické vlny musejí být menší;
- › v záznamu nesmějí být záseky a smyčky jednotlivých komponent;
- › záznam má být zřetelný a dobře interpretovatelný;
- › v amplitudách může být variabilita závislá na respiraci, ale amplitudy musejí být v určitých, empiricky stanovených mezích.

Z výše uvedené interpretace balistokardiogramu je zjevné, že byla empirická a příliš subjektivní. Normální křivka se od abnormální lišila formou nebo amplitudou, jež ale neměla explicitně stanovená kritéria. Byť se jisté normy na základě pozorování vytvářely, ztroskotávaly na své nepřehlednosti.¹ Také vyvstal problém, jak hodnotit patologické křivky a zda jsou pro nějaké nemoci patognomické. Studie na toto téma se potýkaly s hlavním problémem kontroverzního a v mnoha ohledech i příliš hypotetického původu vln křivky balistokardiogramu. Pokus objasnit původ provedl již Starr na kadaverech, nicméně se mu podařilo nalézt určité souvislosti pouze u systolických křivek. Co ale bylo známo a mnohokrát ověřeno, byl fakt, že se incidence abnormálních křivek výrazně zvyšuje u jedinců nad 50 let věku, a to i u zdánlivě zdravých osob.³

Při hledání specifických abnormalit v zobrazení kardiiovaskulárních nemocí studie „selhávaly“. Závěry byly jednoznačné – žádná abnormalita není specifická a různá onemocnění mohou v balistokardiogramu způsobit stejné změny. Brown a jeho spolupracovníci (1952) dokonce klasifikovali abnormality záznamů do čtyř stupňů dle charakteru odchylky a hledali souvislost určitých nemocí s určitým stupněm. Studie se zaměřily hlavně na nemocné s ischemickou chorobou srdeční (ICHS), přičemž Dockovi se podařilo prokázat horší prognózu pacientů ve skupinách se 3. a 4. stupněm abnormalit. První stupeň byl často způsoben extrakorporálními vlivy prostředí a mnoho balistokardiogramů nebylo možno zařadit do žádné skupiny. Přesto

se klasifikace stala obecně respektovanou a s ojedinělými modifikacemi ji používali všichni výzkumníci v této oblasti.⁴

Kromě pacientů s ischemickou chorobou srdeční byly abnormální neboli patologické záznamy také u lidí s vadami mitrální chlopně a s koarktací aorty a krátkodobé změny bylo možno monitorovat i po užití nikotinu. Budoucnost balistokardiografie závisela na zdokonalování vyšetřování nemocných s ICHS jakožto klíčové diagnózy, s níž stál a padal význam této hodně diskutované vyšetřovací metody.⁵

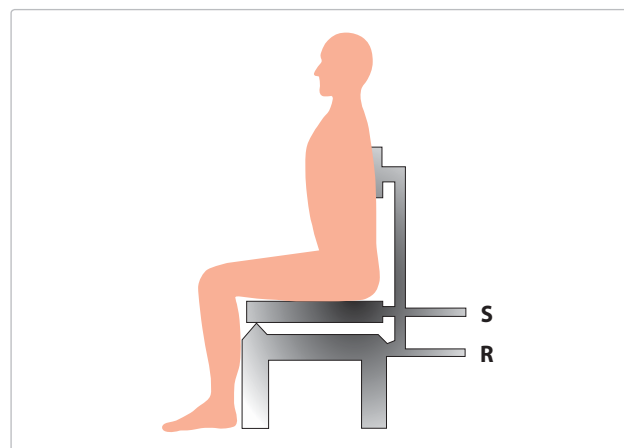
Období kvantitativní balistokardiografie (1960–2007)

Pokrokem pro balistokardiografii bylo sestrojení nového přístroje českým kardiologem Zdeňkem Trefným a nástup éry tzv. kvantitativní balistokardiografie, kdy se měření i výsledek vyjadřovaly v jednotkách síly, newtonech.

Přenosná konstrukce zařízení (sedačka) a jeho nové možnosti byly využity zejména při studiu síly srdečního stahu ve vztahu k věku, hypoxii, hyperoxii, tělesné hmotnosti a fyzické aktivitě (obrázek 2). Velikost amplitudy jednotlivých vln charakterizovaly dvě nově zavedené veličiny – systolická síla a minutová systolická síla. Hodnocení křivky v čase naopak vypovídalo o aktivitě autonomního nervového systému, o dominanci sympatiku nebo parasympatiku s výsledným určením tzv. indexu stresu. Tento způsob vyhodnocování se označoval pojmem kvantitativní seismokardiografie a dodnes se používá k vyšetření pilotů před zátěží i po ní na letecké základně Wright-Patterson ve Spojených státech.⁶

Přínosem bylo prokázání přímého vztahu mezi silou kosterního svalstva a systolickou silou srdce a také stanovení změn ukazatelů kvantitativní balistokardiografie při různých patologických stavech, dokonce i v prostředí trvalé mikrogravitace během vesmírných letů. Kvantitativní balistokardiografie tak nabídla komplexnější pohled na inotropní i chronotropní funkci srdce (ústní informace od autora).

Přes vysokou vědeckou hodnotu zůstala balistokardiografie v klinické medicíně málo využívanou metodou na poli moderních vyšetřovacích metod neinvazivní



Obrázek 2 Kvantitativní balistokardiograf dle Z. Trefného

kardiologie, kde opodstatněně vládne echokardiografie a elektrokardiografie.

Období počítačově zpracované balistokardiografie (od roku 2007)

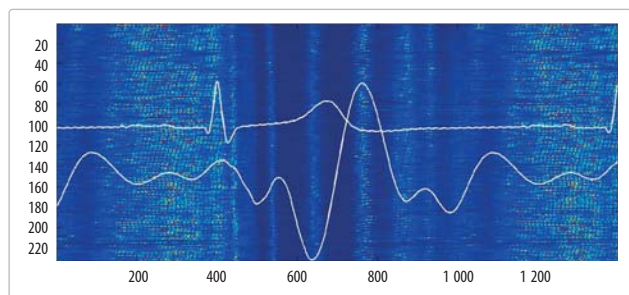
Omezení využití, a tedy i „konkurenceschopnosti“ klasické i kvantitativní balistokardiografie spočívalo zejména v možnostech tehdejší výpočetní techniky. Tým výzkumníků Univerzity Hradec Králové pohlíží na balistokardiografii zcela jinak a vnáší do této oblasti nový rozměr. Renesance je založena na registraci síly a momentů síly s následným zpracováním pomocí jedinečného softwaru, vyvinutého speciálně pro tyto účely. Jde o speciální diferenciální zpracování časových řad získaných měřeními na silové plošině.⁷ Rozdíl mezi původním a počítačově zpracovaným balistokardiografickým signálem je bezmála stejný jako rozdíl mezi tomografií a výpočetní tomografií.

Na počátku je detekce chvění srdce a velkých tepen v těle člověka. Okolní šum vzniklý otřesy podlahy, pohyby těla, dýchacími pohyby apod. je softwarem automaticky odfiltrován díky simultánní synchronizaci s EKG, a tudíž snímání pouze periodického děje. Vyšetření trvá čtyři až pět minut a pacient při něm leží v klidu na zádech na lůžku se zabudovanými senzory chvění, registrujícími otřesy těla vzniklé srdeční činností.

Možností, jak zobrazit výsledek, je více; jednou z nich je obrázek se sloupci, kde osa x zobrazuje čas a osa y jednotlivé srdeční úder (viz obrázek 3).

Každý úder srdce vyvolá v aortě sérii dějů a spojením těchto dějů vzniknou tenké sloupce uprostřed obrázku. Díky porovnání s invazivním měřením tlaků uvnitř aorty dnes víme, co jednotlivé sloupce znamenají.

Pomocí nového softwaru lze jednoduše změřit rychlost šíření pulsní vlny aortou (aortic pulse wave velocity – PWV). Tato hodnota je cenná zejména v preventivní kardiologii ke zjištění stavu tepen a také při studiu krátkodobého i dlouhodobého účinku vasoaktivních a vasoprotektivních látek (touto metodou byl prokázán účinek nitroglycerinu na cévní stěnu). Čím tužší a nepoddajnější cévy jsou, tím rychlejší je šíření pulsní vlny (fyzikální jev mechanického vlnění). Je to tedy nepřímý důkaz o tuhosti tepen.^{8,9}



Obrázek 3 Jedno ze zobrazení šíření pulsní vlny aortou, synchronizováno s EKG a klasickým balistokardiogramem

Samotnou rychlost šíření pulsní vlny aortou jsme porovnali s výsledky zmíněného invazivního měření, ale také s neinvazivní metodou, s tzv. aplanační tonometrií. Definitivní vyhodnocení zatím není k dispozici, nicméně první výsledky ukazují vysokou přesnost tohoto měření. Výsledky je dále potřebné korelovat s hodnotami tloušťky cévních stěn. Dále je vhodné simultánně vyšetřit pacienty echokardiograficky a najít korelaci mezi uzávěrem té které chlopně a vlnami na balistokardiografické křivce. Experimenty jsme prokázali, že pohyb echokardiografické sondy na hrudníku neinterferuje s vyšetřením natolik, aby byl znehodnocen balistokardiografický signál, a simultánní použití obou metod tedy je možné.

Jaký bude další vývoj počítačově zpracované balistokardiografie, závisí na analýzách dalších signálů, možnostech interpretace výsledků a jejich uplatnění v praxi. Pokud jde o rychlost šíření pulsní vlny aortou, mnoho významných epidemiologických studií prokázalo důležitost této veličiny, protože je nezávislým prediktorem kardiovaskulárního rizika.¹⁰ Možnost zjistit tuhost aorty pouhým pětiminutovým uložením pacienta na lůžku by znamenala velký posun nejenom v preventivní kardiologii, ale i v oblasti praktického lékařství. Objektivizace rizika smrti na kardiovaskulární onemocnění je jistě významným motivačním faktorem pro pacienta změnit svůj životní styl a zvýšit compliance k léčbě vysokého krevního tlaku, diabetu, zvýšené koncentrace cholesterolu atd. Vyšetření pulsní vlny odhalí počínající tuhnutí cév dříve, než se klinicky projeví. Pro farmakologii se zároveň otevírá možnost studia farmakodynamiky vasoaktivních látek zcela jedinečným způsobem.

Literatura

1. Pollock P. Ballistocardiography: A clinical review. *Can Med Assoc J* 1957; 76:778–783.
2. Starr I, Rawson AJ, Schroeder HA, Joseph NR. Studies on the estimation of cardiac output in man, and of abnormalities in cardiac function, from the heart's recoil and the blood's impacts; the ballistocardiogram. *Am J Physiol* 1939;127:1–28.
3. Deuchar DC. Ballistocardiography. Introduction. *Proc R Soc Med* 1967; 60:1285–1288.
4. Brothmacher L. The normal ballistocardiogram. *Br Heart J* 1956;18:145–152.
5. Baker BM, Scarborough WF, Davis FW, et al. Ballistocardiography and ischemic heart disease: predictive consideration and statistical evaluation. *Proc R Soc Med* 1967;60:1290–1297.
6. Trefný Z, Hana K, Trojan S, et al. New trends in ballistocardiography. *Measurement Science Review: Measurement in Biomedicine* 2003;3:45–48.
7. Kříž J, Šeba P. Force plate monitoring of human hemodynamics. *Nonlinear Biomed Phys* 2008;2:1.
8. Hlmonenko I, Meigas K, Viigimaa M, Temitski K. Aortic and arterial pulse wave velocity in patients with coronary heart disease of different severity. *Estonian Journal of Engineering* 2008;14:167–176.
9. Naka KK, Tweddel AC, Doshi SN, et al. Flow mediated changes in pulse wave velocity: a new clinical measure of endothelial function. *Eur Heart J* 2005;27:302–309.
10. Sutton-Tyrrell K, Najjar SS, Boudreau RM, et al. Elevated aortic pulse wave velocity, a marker of arterial stiffness, predicts cardiovascular events in well-functioning older adults. *Circulation* 2005;111:3384–3390.

Došlo do redakce 2. 1. 2011

Přijato 2. 1. 2011