

616-073.176:616.122-008.3

STROJOVÉ ZPRACOVÁNÍ VYBRANÝCH PARAMETRŮ POLYGRAFICKÉHO VYŠETŘOVÁNÍ*

Plk. MUDr. Jan HOSPODÁŘ, CSc., kpt. Ing. Bohuslav NOVOTNÝ

Ústav leteckého zdravotnictví, Praha

(náčelník: plk. MUDr. Miroslav Haňka)

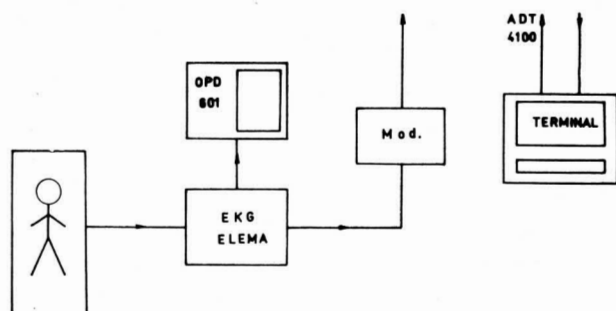
Neinvazivní chronometrie srdečního cyklu se v rámci komplexního polygrafického vyšetření stává v posledních letech perspektivní metodikou vzhledem k možnosti častého opakování bez alterace pacienta, k malým technickým a personálním nárokům a dobré reprodukovatelnosti výsledků.

V Ústavu leteckého zdravotnictví jsme vyvinuli a prověřili vlastní systém strojového měření a vyhodnocování vybraných časových i amplitudových parametrů srdečního cyklu v klidu i při izometrické zátěži. Pro simultánní vyhodnocování byly vybrány čtyři parametry komplexního polygrafického vyšetření:

- EKG,
- karotický sfygmogram (Car),
- fonokardiogram (PCG),
- apexkardiogram (ACG).

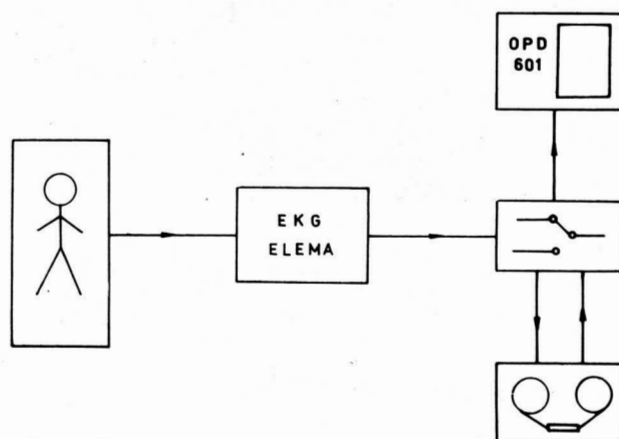
Pracujeme v přímém napojení na laboratorní počítač ADT 4100, tzn. v systému „on-line“ (obr. 1). Fyziologické signály se přivádějí na vstup osmikanálového polygrafu MINGOGRAF 82 ELEMA a vizuálně kontrolují na šestikanálovém kardioskopu OPD 601 TESLA. Na vstup počítače se signály přenášejí pomocí modulačního systému MODEM LTX 100 TESLA. Počítač se ovládá přímo z fyziologické laboratoře terminálem EC 7168 VIDEOTON. Po kontrole výsledků na displeji terminálu se všechny jednotlivé změřené hodnoty, jejich aritmetické průměry, směrodatné odchylky a hodnoty vypočtené a difference aritmetických průměrů změřených a náležitých vytisknou na tiskárně počítače.

Byla prakticky prověřena rovněž „off-line“ verze strojového měření a vyhodnocování



Obr. 1. Blokové schéma laboratoře polygrafického vyšetřování v systému on-line

*J) Předneseno dne 1.10.1980 na Pracovním shromáždění specialistů leteckého lékařství armád států účastníků VS v Praze.



Obr. 2. Blokové schéma laboratoře polygrafického vyšetřování v systému off-line

týchž parametrů s použitím vícekanálového magnetofonu ANALOG 7 PHILIPS (obr. 2).

Na polygrafu MINGOGRAF 82 provádíme jen krátké záznamy v klidu na levém boku 45° a po dvou minutách izometrické zátěže (obr. 3).

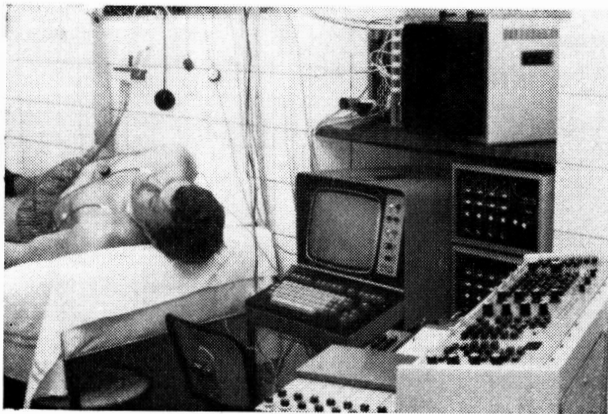
Celkový pohled na vybavení laboratoře polygrafického vyšetřování je na obr. 4 a 5.

EKG snímáme ve vhodném hrudním unipolárním Wilsonově svodu. Elektrody L, R a F pro Wilsonovu svorku se fixují v hrudní modifikaci podle Masona a Likara [12] — obr. 4 a 6. Všechny elektrody jsou plovoucí nepolarizovatelné sintrované Ag-AgCl.



Obr. 3. Polygrafický záznam

1. kanál — prekordiální unipolární svod EKG
2. kanál — II. končetinový svod EKG
3. kanál — 1. derivace karotického sfygmogramu
4. kanál — PCG pásmo 25 Hz
5. kanál — PCG pásmo 100 Hz
6. kanál — karotický sfygmogram
7. kanál — apexkardiogram
8. kanál — 2. derivace karotického sfygmogramu



Obr. 4. Laboratoř polygrafického vyšetřování — celkový pohled na technické zařízení a umístění probanda:
 — vlevo dole terminál Videoton EC 7168
 — vpravo od terminálu nad sebou dvě modulační jednotky LTM 100 TESLA
 — nahoře kardioskop OPD 601 TESLA
 — vpravo MINGOGRAF 82 ELEMA

Svodová modifikace podle Masona a Likara a uvedený typ elektrod se nám po léta osvědčil při dynamickém vyšetřování na bicyklovém ergometru [7]. Při komplexním polygrafickém vyšetřování umožňuje spolehlivý záznam unipolárního svodu EKG s minimálním rušením svalovými potenciály a kolísáním izoelektrické roviny i při značných hodnotách izometrické zátěže.

Karotický sfygmogram snímáme piezoelektrickým komůrkovým snímačem TESLA LPA-100 [16] s časovou konstantou celého elektronického řetězce při použití univerzálního zesilovače Universal amplifier 854 3 sekundy.

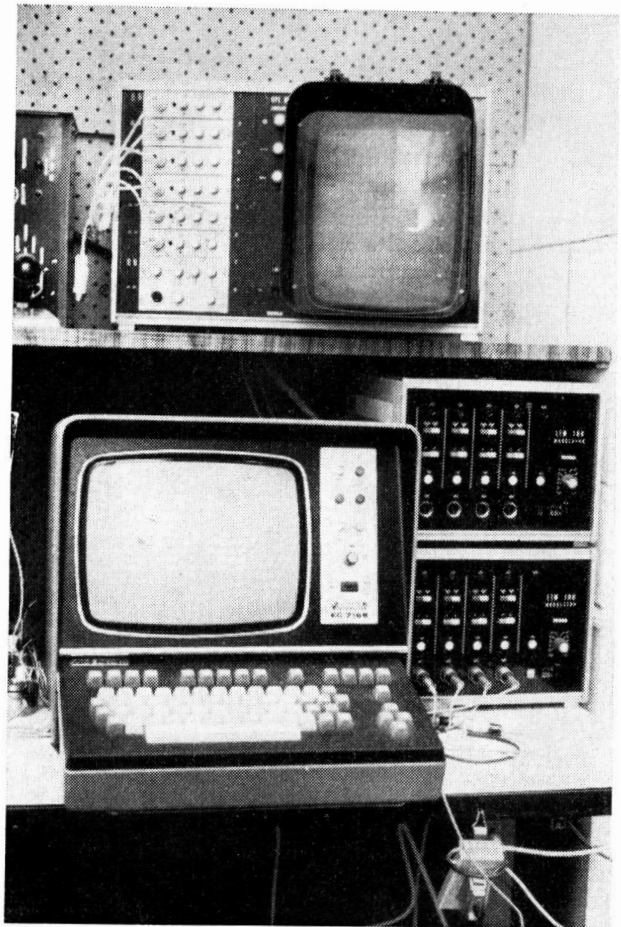
Solitární fonokardiogram snímáme piezoelektrickým snímačem TESLA LFK 100 [16], v kombinaci s apexkardiogramem pak víceúčelovým komůrkovým snímačem Puls/PCG 860/2 ELEMA (obr. 6).

Laboratorní počítač měří tyto časové intervaly [ms]:

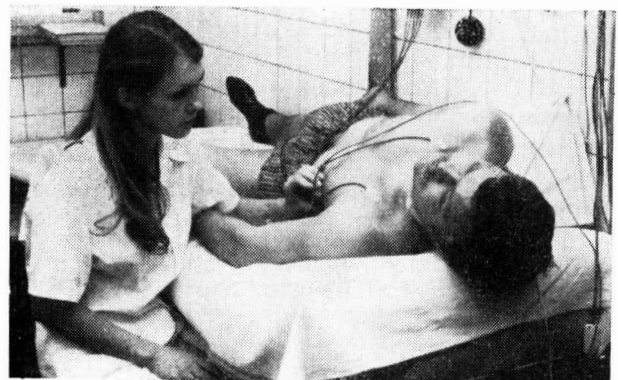
- intervaly **RR EKG**,
- **EMS** (elektromechanická systola),
- **LVET** (vypuzovací doba levé komory srdeční; left ventricular ejection time),
- **PTT** (pulsové zpoždění aorta — a. carotis; pulse transmission time),
- **diastola**,
- **IVRT** (izovolumická relaxační fáze; isovolumic relaxation time).

Počítač vypočítává tyto hodnoty:

- srdeční frekvenci **SF** (tepy $\cdot \text{min}^{-1}$) vydělením 60 000 střední hodnotou intervalů RR EKG;
- **PEP** (preejekční perioda; ms) odečtením střední hodnoty LVET od střední hodnoty EMS;
- Weisslerův kvocient **PEP/LVET** [21],
- kvocient **EMS/diastola**;



Obr. 5. Detail terminálu Videoton EC 7168, jímž se ovládá dislokovaný laboratorní počítač ADT 4100



Obr. 6. Polygrafické vyšetřování: manuální fixace snímače apexkardiogramu a fonokardiogramu

- ejekční frakci **EF** (%) a rychlost zkrácení obvodového vlákna **VCF** ($\text{circ} \cdot \text{s}^{-1}$); tyto hodnoty se vypočítávají metodikou podle Antaniho aj. [1] zvláště pro každý komplex ACG. Zde se rovněž vypočítávají střední hodnoty a směrodatné odchylky, ovšem s předpokladem využití všech technicky dokonalých komplexů ACG. Při nekvalitním záznamu některých komplexů se střední hodnoty EF a VCF průměrují ze zbývajících správných hodnot manuálně.

Před prvním měřením probanda se počítají udají základní údaje: příjmení, rok narození, datum vyšetření. Tyto hodnoty se pak vytisknou v záhlaví každého vyšetření daného probanda. Počítač měří stanovené časové i amplitudované prvky v časovém úseku 8 sekund a podle počtu intervalů RR EKG provede průměrování a v záhlaví každého tisku udá příslušný počet změřených komplexů (n).

Pro hodnoty EMS, LVET a PEP se zároveň automaticky provádí korekce na SF podle Weisslera a Garrarda (20, 21) pro klidové podmínky, podle Lindquista aj. (11) pro izometrickou zátěž a korekce LVET na intervaly RR EKG podle Pernoda aj. (14).

Výsledky strojového měření a vyhodnocení vybraných časových a amplitudových parametrů srdečního cyklu jsou natištěny dříve, než jsou probandovi sňaty elektrody a snímače. Přesnost výpočtů mnohonásobně přesahuje možnosti vizuálního odečítání nehledě k únavě zraku při klasickém manuálním zpracování; vzorkovací kmitočet pro měření časových intervalů je $500 \cdot s^{-1}$, to znamená po 2 ms, měření amplitudových (napěťových) parametrů je v celém rozsahu měřeného kanálu 2000 hladin, prakticky cca 1400–1700 hladin.

Veškerá hodnocení výsledků polygrafického vyšetření provádíme komplexně, tzn. hodnocení systolických časových intervalů (STI), diastolických časových intervalů (DTI), kresby karotického sfygmogramu, apexkardiogramu a vedlejších fenoménů na fonokardiogramu. Simultánní vícekanálový záznam podstatně urychluje vertikálním srovnáváním např. diferenciaci fenoménů ve fonokardiogramu.

Při návrhu projektu jsme počítali kromě měření, resp. výpočtů klasických časových intervalů srdeční systoly rovněž s některými základními intervaly diastolickými podle zkušeností a doporučení Vokrouhlického (19) a Schuberta aj. (18).

V současné době jsme se zaměřili na strojové zpracování vybraných parametrů polygrafického vyšetřování v klidu a při izometrické zátěži. Metodicky náročnější bude pochopitelně strojové zpracování STI, resp. dalších hodnot při dynamickém vyšetřování vlez, jak je u nás realizuje zejména brněnská pracovní skupina (3, 4).

Nejvýhodnější podmínky pro hodnotícího lékaře poskytuje projekt v systému zpracování on-line, i když si uvědomujeme, že z hlediska provozu počítače dochází k časovým ztrátám při přípravě probanda. Lékař získává během cca 10 sekund (8 sekund vlastní měření, cca 2 sekundy výpočty) na displeji terminálu výsledky, jimž přizpůsobuje další postup své práce; při dílčím zkreslení výsledků měření, např. při mimovolném polknutí probanda, náhodném artefaktu ve fonokardiogramu, při systolickém šelestu vyžadujícím úpravu vertikální limitace zachycení aortální komponenty II. ozvy apod., nedá počítači pokyn k vytisk-

nutí, ale během 15 sekund měření opakuje. Je nám jasné, že současné ceny a síť laboratorních počítačů neumožňují většině pracovišť uplatnit systém výpočtů on-line. Tuto situaci vyřeší připravovaná výroba mikroprocesorů. Pomocí mikroprocesorů bude možné zkompletovat jednoúčelová zařízení, jež budou schopná plně realizovat obdobný projekt v cenově přijatelných relacích a bez nároků na další pracovní síly.

Jednoúčelové zařízení pro klidovou chronometrii srdeční systoly dodává např. švýcarská firma AVL AG für Elektromedizin. Na vstup přístroje MYOCARD CHECK AVL 970 se z pacienta přivádějí signály elektrokardiogramu, fonokardiogramu a karotického pulsu; po zesílení lze křivky kontrolovat na tříkanálovém osciloskopu, automaticky se měří intervaly RR EKG, elektromechanická systola QA_2 , vypuzovací doba levé komory srdeční LVET, odečtením se získává hodnota preejekční periody PEP a vypočítá se kvocient PEP/LVET. Uvedených pět hodnot (SF, QA_2 , LVET, PEP, PEP/LVET) se indikuje na digitálním displeji a tiskne se na papírový pásek.

V blízkém zahraničí se strojovým zpracováním chronometrie srdečního cyklu zabývá hlavně v NDR drážďanská pracovní skupina Schubert, Henssge, Römer (6, 15, 18), v ČSSR pak v systému off-line Kosmák (10) a zejména Winter, Šístková-Winterová, Guttenbergerová-Falcková s dalšími spolupracovníky (5, 17, 22, 23, 24). Systém off-line zpracování záznamu na vhodných vícekanálových magnetofonech určených přímo pro lékařské účely, jako např. ANALOG 7 nebo 14 PHILIPS, TANDBERG 115, nebo kvalitních komerčních magnetofonech vybavených speciálním modulačním a demodulačním zařízením je podstatně méně časově výhodný a spolehlivý, neboť určité procento záznamů se ukáže jako hůře hodnotitelné nebo nehodnotitelné v době, kdy proband již dávno není k dispozici k eventuálnímu opakování vyšetření.

Na základě bohaté literatury, odborných konzultací i na základě vlastních zkušeností lze konstatovat, že chronometrie srdečního cyklu jakožto nedílná součást komplexního polygrafického vyšetřování má dvě úskalí:

1. pracnost měření a vyhodnocování při klasickém manuálním zpracovávání a

2. problém korekce změřených časových intervalů pro stanovení reálných posuzovacích kritérií.

Po eliminování prvního bodu popisovaným strojovým zpracováním zůstává do jisté míry neuzavřenou otázkou problém korekce STI a DTI. Základním vodítkem všech pracovišť v oblasti chronometrie srdeční systoly jsou práce Weisslerovy (20, 21). Jeho regresní přímkové rovnice jsou však zpracovány pro definované klidové podmínky a pro soubor netrénovaných jedinců středního věku. Mají platit pro rozsah SF 50–110 $tep \cdot min^{-1}$, podle našich zkuš-

ností jsou však obě hranice co do reálné použitelnosti již problematické. Pro korekci STI v zátěži ať již statické (izometrické) či dynamické je uváděna v zahraniční literatuře řada regresních vztahů [8]. Pro izometrickou zátěž prověřujeme prozatím regresní přímkové rovnice podle Lindquista aj. [11]. Jako optimální se jeví regresní rovnice využívající hodnot intervalů RR EKG, jež nejsou při grafickém vyjádření při zvyklostní stupnici v tepech $\cdot \text{min}^{-1}$ přímky, ale plankonkávní křivky (hyperboly). V tomto směru prověřujeme pro klidové podmínky i izometrickou zátěž korekční rovnice na intervaly RR EKG podle Pernoda aj. [14], které jsou však touto autorskou skupinou zpracovány pouze pro LVET. Po dosažení dostatečně velkých souborů v potřebných populačních skupinách předpokládáme stanovení vlastních pravděpodobně hyperbolických závislostí.

Souhrn

Komplexní polygrafické vyšetření v klidu a zejména v zátěžových podmínkách se jeví jako velmi perspektivní metodika podávající významnou diagnostickou informaci o funkčním stavu levého srdce. Využití strojového měření a vyhodnocování potřebných fyziologických parametrů je v této oblasti výrazným krokem vpřed.

Byl prověřen vlastní systém strojového zpracování časových intervalů srdečního cyklu v klidu a při izometrické zátěži. Pro simultánní vyhodnocování byly vybrány čtyři parametry komplexního polygrafického vyšetření: EKG, karotický sfygmogram, fonokardiogram a apexkardiogram. Uvedené signály se po primárním elektronickém zpracování na polygrafu přenášejí na vstup laboratorního číslicového počítače buď pomocí systému MODEM při verzi zpracování on-line nebo pomocí vícekanálového magnetofonu při verzi off-line. Monitorují a tisknou se jednotlivé hodnoty, aritmetické průměry a směrodatné odchylky osmi základních oběhových hodnot, vypočítávají čtyři další prvky a kvocienty a provádějí korekce podle regresních rovnic různých autorových skupin.

Literatura

- Antani, J. A. - Wayne, H. H. - Kuzman, W. J.: Ejection Phase Indexes by Invasive and Noninvasive Methods: An Apexcardiographic and Ventriculographic Correlative Study. *Amer. J. Cardiol.*, 43, 1979, č. 2, s. 239—247.
- Bravený, P. - Čihulová, L. - Fabián, J. - Hospodář, J. - Hůla, J. - Kozák, P. - Riečanský, I. - Štefja, M. - Vokrouhlický, L. - Winter, Z.: Metodika nepřímých kardiografických vyšetření. *Kardiologické zprávy* — *Kardio* 80, 6, 1980, č. 2, s. 112 s.
- Bravený, P. - Dvořák, I. - Štefja, M. - Zemánková, J.: Rozbor systolických intervalů v průběhu zátěžového testu u pacientů s AP. *Čas. Lék. čes.*, 114, 1975, č. 16, s. 484—490.
- Bravený, P. - Dvořák, I. - Štefja, M. - Zemánková, J.: Možnosti detekce latentní insuficience zátěžovou polygrafií. In: *Neinvasivní vyšetřovací způsoby v kardiologii*. Red. J. Hůla. Plzeň, Čes. kardiol. společnost 1979, s. 18.
- Falck, E. - Winter, Z.: Rechnergestützte Bestimmung systolischer Zeitintervalle. *Dt. Gesundh.-Wesen*, 34, 1979, č. 28, s. 1308—1310.
- Henssge, R. - Schubert, D.: Automatisierte Inormation-Verarbeitung der systolischen Zeitintervalle. *Z. ges. inn. Med.*, 33, 1978, č. 12, s. 399—403.
- Hospodář, J.: Problematika výběru svodů EKG pro dynamické a zejména zátěžové vyšetřování. *Voj. zdrav. Listy*, 45, 1976, č. 3, s. 112—118.
- Hospodář, J.: Současné metodické aspekty neinvasivní chronometrie srdeční systoly. *Voj. zdrav. Listy*, 48, 1979, č. 5, s. 209—217.
- Hospodář, J. - Novotný, B.: Strojové zpracování vybraných parametrů polygrafického vyšetřování. *Pracovní shromáždění specialistů leteckého lékařství armád států účastníků Varšavské smlouvy*, Praha 1980.
- Kosmák, I.: Zhodnocení významu neinvasivních metod pro posouzení hemodynamiky a funkce srdeční u chronické revmatické choroby srdeční. [Závěrečná zpráva etapy SPTR.] Hradec Králové, Lékařská fakulta UK, katedra biofyziky. 1979.
- Lindquist, V. A. Y. - Spangler, R. D. - Blount, S. G.: A comparison between the effects of dynamic and isometric exercise as evaluated by the systolic time intervals in normal man. *Amer. Heart J.*, 85, 1973, č. 2, s. 227—236.
- Mason, R. E. - Likar, I.: A New System of Multiple-Lead Electrocardiography. *Amer. Heart J.*, 71, č. 2, s. 196—205.
- Novotný, B. - Hospodář, J.: Programové zabezpečení strojového zpracování vybraných parametrů polygrafického vyšetřování. *Pracovní shromáždění specialistů leteckého lékařství armád států účastníků Varšavské smlouvy*, Praha 1980.
- Pernod, J. - Carré, R. - Colomer, J. P. - Kermarec, J.: Étude statistique de l'influence du rythme, du sexe et de l'âge sur la durée de l'éjection du carotidogramme. *Arch. Mal. Coeur*, 64, 1971, č. 1, s. 57—68.
- Römer, B. - Schubert, D. - Forth, E.: Ein Messplatz zur automatischen und kontinuierlichen Bestimmung von Herzzeitwerten. *Probl. Techn. Med.*, 10, 1979, č. 3, s. 205—216.
- Salava, T. - Winter, Z.: Nové snímáče pro polygrafické vyšetřování v kardiologii. *Služba zdravotníků*, 20, 1979, č. 1, s. 31—35.
- Šístková, J. - Winter, Z. - Guttenbergerová, K. - Netušil, M. - Fabián, J.: Measurement of systolic time intervals through non-invasive polygraphic techniques in healthy subjects and in patients with ischaemic heart disease. Comparison of results obtained by conventional and computer assisted means. *Cor Vasa*, 19, 1977, č. 2, s. 156—160.
- Schubert, D. - Römer, B.: Ein lineares Modell des Verhaltens der Herzperiodendauer, Diastolendauer und Systolendauer beim Menschen unter Fahrradergometerbelastung. 21. Intern. Wiss. Koll. TH Ilmenau 1976. In: *Vortragsreihe „Steuerung komplizierter Systeme (Methoden und Anwendungen)“*, s. 43—46.
- Vokrouhlický, L.: Systolické a diastolické intervaly u normálních jedinců. *Lékařské Zprávy (Hradec Králové)*, 24, 1977, č. 1—2, s. 1—8.
- Weissler, A. M. - Garrard, C. L. Jr.: Systolic time intervals in cardiac disease (I.) *Mod. Concepts Cardiovasc. Dis.*, 40, 1971, č. 1, s. 1—4.
- Weissler, A. M. - Garrard, C. L. Jr.: Systolic time intervals in cardiac disease (II.) *Mod. Concepts Cardiovasc. Dis.*, 40, 1971, č. 2, s. 5—8.
- Winter, Z. - Guttenbergerová, K.: Strojová identifikace systolických intervalů u tepových křivek. *Příspěvek*

- k hodnocení srdečního výkonu neinvazivní metodou. Knižnice odborných a vědeckých spisů VUT v Brně, 1975, sv. B-57, s. 183—192.
23. Winter, Z. - Salava, T.: Výpočetní technika v neinvazivním vyšetřování srdeční činnosti. Automatizace, 21, 1978, č. 8, s. 203—208.
24. Winterová-Šístková, J. - Winter, Z.: Vyšetřování systolických intervalů polygrafickou metodou u kontrolních osob a nemocných ischemickou chorobou srdeční v klidu a při izometrickém cvičení. Srovnání výsledků ručním a počítačovým zpracováním křivek. In: Neinvazivní vyšetřovací způsoby v kardiologii. Red. J. Hůla. Plzeň, Čes. kardiol. spol. 1979, s. 9—10.
- Klíčová slova: Vyšetření srdce; Počítač; Polygrafické vyšetření; Chronometrie srdeční systoly