

Merjenje krvnega tlaka

dr. Urban Simončič^{1,2}, dr. Matija Milanič^{1,2}, dr. Jošt Stergar^{1,2}, dr. Gorazd Planinšič¹,
dr. Aleš Mohorič¹

¹ Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

² Institut Jožef Stefan, Ljubljana

Izvleček

Merjenje krvnega tlaka je enostavna preiskovalna tehnika, s katero se je verjetno srečal že vsak. Čeprav zanjo ne potrebujemo drage in zapletene merilne opreme, sam način merjenja ni povsem očiten in je primeren za obravnavo pri srednješolskem fizikalnem izobraževanju. Opisane aktivnosti je mogoče izvesti z računalniško podprtim sistemom za zajem podatkov (npr. Vernier), z mehanskim merilnikom krvnega tlaka in nekaj dodatne opreme, ki je na voljo v vsaki učilnici fizike.

Ključne besede: krvni tlak, hipertenzija, Korotkovi zvoki, oscilometrično merjenje, metoda Riva-Rocci.

Blood Pressure Reading

Abstract

Blood pressure measurement is a simple, widely-used investigative technique. Although it does not necessitate expensive or complicated measuring equipment, the measurement method is not easily discernible. Thus, it is appropriate for secondary school physics instruction. The activities described can be carried out using a computer-based data acquisition system (e.g., Vernier), a mechanical blood pressure monitor, and some other equipment found in any physics classroom.

Keywords: blood pressure, hypertension, Korotkoff sounds, oscillometric measurement, Riva-Rocci method.

1 Uvod

V pouk radi vključujemo aktivnosti, ki dijaku približajo vsebine učnega načrta z zanimivimi vsakdanjimi zgledi, še posebej, če so povezani z zdravjem, kar je vedno dobra motivacija. V prispevku je predstavljen zgled merjenja krvnega tlaka v okviru znanstvenoraziskovalnega učnega pristopa ISLE. Ste se že kdaj vprašali, kako delujejo sodobni merilniki krvnega tlaka in zakaj vrnejo dve vrednosti? Pomen zgornje verjetno sami hitro uganemo, spodnja pa je marsikomu že izziv. Članek opisuje aktivnosti, ki so jo izvedli učitelji fizike pri stalnem strokovnem spopolnjevanju na Fakulteti za matematiko in fiziko 17. decembra 2021. [1] Aktivnost je bila na podlagi odzivov sodelujočih izboljšana tako, da bolje naslavlja ustreznost podajanja novih znanj dijaku. Aktivnost je primerna za dijake, ki že poznajo Pascalov zakon (povečanje tlaka na enem mestu tekočine povzroči enako povečanje po vsej tekočini) in Boylov zakon (produkt prostornine in tlaka plina pri konstantni temperaturi je konstanten).

Termin *krvni tlak* se v medicini običajno nanaša na arterijski¹ krvni tlak; konkretno na nadtlak krvi v arterijah, merjen glede na tlak v okoliški atmosferi. Arterijski krvni tlak je višji od venskega krvnega tlaka, ker tudi pri toku krvi po žilah (tako kot pri vsakem pretoku tekočine po cevi) zaradi viskoznosti tlak pada v smeri premikanja tekočine.² Največji padci tlaka so v kapilarah, v arterijah ali venah pa je tlak v danem trenutku skoraj konstanten, malenkostno pa je odvisen tudi od višine zaradi prispevka teže tekočine. Arterijski tlak utripa zaradi utripanja srca, zato ločimo spodnji in zgornji tlak. [2]

Izvorno in konceptualno najenostavnejše je merjenje krvnega tlaka z neposredno metodo, pri čemer se v ar-

¹ Srčnožilni sistem sestavljajo srce, kri in žile, ki se delijo na arterije, vene in kapilare. Sistemski obtok je del srčnožilnega obtoka, po katerem se oksigenirana kri prenese iz levega srčnega prekata (kamor je prišla iz pljučnega obtoka) skozi aorto do preostalih delov telesa, deoksigenirana kri se pa nato po istem sistemu vrne v desni srčni preddvor. Aorta se razdeli na manjše arterije, ki se nato razdelijo na kapilare, potem pa spet združijo v vene in nazadnje v dve veliki veni, po katerih se deoksigenirana kri vrača v desni srčni preddvor.

² To velja, če ni prispevka teže tekočine in spremenljive hitrosti.

terijo vstavi kateter, ki je povezan z merilnikom tlaka (manometrom). [3] Ta metoda je tudi najnatančnejša in zato izhodiščna, vendar se le redko uporablja, saj je boleča za preiskovanca, zapletena za izvedbo ter povezana s tveganji za zaplete. Običajno [4] krvni tlak izmerimo tako, da okrog nadlakti namestimo napihljivo manšeto, ki jo napihnemo nekoliko nad pričakovani zgornji tlak, s čimer arterijo pretisnemo in tako blokiramo krvni pretok. Nato iz manšete počasi izpuščamo zrak, hkrati pa s stetoskopom poslušamo zvok ob pretisnjeni arteriji. Ko tlak v manšeti pade pod zgornji tlak, lahko ob tlačnih vrhovih kri v kratkotrajnih curkih teče skozi delno stisnjeno arterijo. Te hitre curke krvi skozi arterijo slišimo skozi stetoskop in jih imenujemo Korotkovi zvoki. [5] Ko še naprej nižamo tlak v manšeti, so curki krvi, ki tečejo skozi arterijo, vedno daljši. Ko pa manšeta ne stisne arterije popolnoma niti v času najnižjega (spodnjega) tlaka, ti zvoki izginejo. Način merjenja krvnega tlaka je prikazan na sliki 1.

Namesto poslušanja Korotkovih zvokov lahko opazujemo tudi oscilacije tlaka manšete, ki jih povzroči stiskanje in razširjanje arterije. Takemu pristopu pravimo oscilometrična metoda in je osnova za delovanje avtomatskih merilnikov tlaka. [6]

2 Aktivnost za dijake – eksperiment na mehanskem modelu

Pri tej aktivnosti bodo dijaki izvedli eksperiment z merjenjem krvnega tlaka na mehanskem modelu. Na modelu bodo opazovali pojave, ki so ključni za merjenje krvnega tlaka (pretisnjena arterija ob dovolj visokem tlaku v manšeti, šum ob toku krvi skozi delno pretisnjene žile, prenos nihanja tlaka iz žil na manšeto), in njihovo so-

odvisnost. Ker enega od pojavov (pretisnjena arterija ob dovolj visokem tlaku v manšeti) ni preprosto opazovati na človeku, bodo dijaki ob mehanskem modelu lahko razvili boljše razumevanje merjenja, kot bi ga samo s poskusi na prostovoljcu.

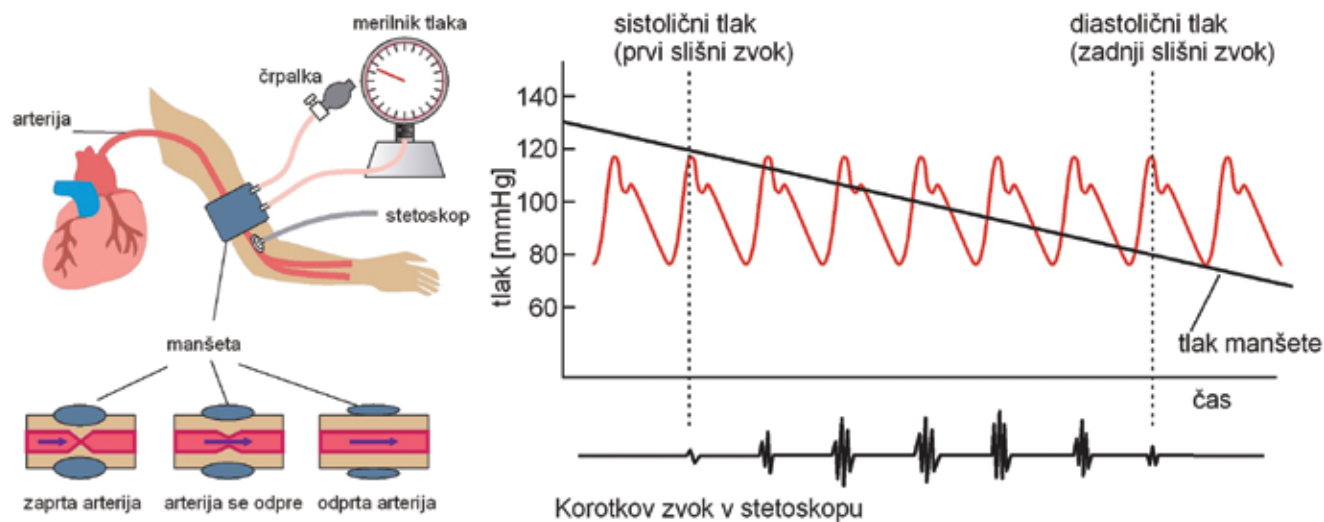
Dijaki bodo spoznali osnovni način merjenja krvnega tlaka z obema uveljavljenima različicama. Poleg tega bodo dijaki izkusili delo z računalniško podprto opremo in napreden način zajemanja ter obdelave podatkov z opremo Vernier. Utrdili bodo znanje Pascalovega zakona in enačbe idealnega plina ter izražanje tlaka z različnimi enotami.

2.1 Postavitev eksperimenta

Pri predstavljenem eksperimentu se meri krvni tlak na mehanskem modelu. Zanj potrebujemo:

- kozarec s pokrovčkom (npr. kozarec za vlaganje),
- zelo gibko elastično cev (npr. odrezan balon za modeliranje),
- nekaj povezovalnih cevi in spojk,
- ročno črpalko za zrak z manometrom (npr. komponenta mehanskega merilnika krvnega tlaka),
- drugo ročno črpalko za zrak (npr. komponenta montažne blazinice ali komponenta mehanskega merilnika krvnega tlaka),
- sistem za zajem podatkov z dvema merilnikoma tlaka (npr. LabQuest2, računalnik in 2 × Go Direct® Gas Pressure Sensor).

Na pokrovček je s pomočjo spojk speljana zelo gibka in elastična cev, ki predstavlja arterijo (slika 2). Pokrovček namestimo na kozarec (slika 3), v katerem lahko dvigujemo in nižamo tlak s črpalko 1. Tlak v kozarcu merimo z manometrom na črpalki 1, njegovo časovno odvisnost pa vzorčimo z elektronskim merilnikom tlaka in sistemom



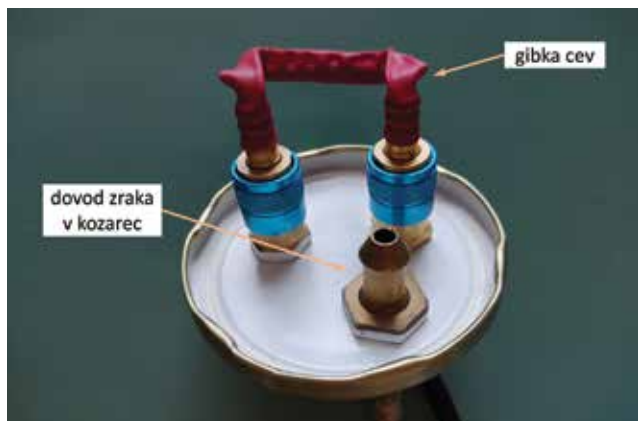
Slika 1: Način merjenja krvnega tlaka. Z manšeto pretisnemo arterijo. Dokler je tlak v manšeti nad zgornjim tlakom, je pretok povsem prekinjen. Ko je v manšeti tlak med zgornjim in spodnjim nivojem, kri teče v kratkotrajnih curkih (v času, ko je tlak v arteriji višji od tlaka v manšeti) in takrat s stetoskopom slišimo pretok (pulzirajoč tok krvi oz. Korotkove zvoke). Ko tlak v manšeti pade pod spodnji krvni tlak, je tok v arteriji neoviran, zato je (skoraj) enakomeren in ga ne slišimo.

za zajem podatkov. S črpalko 2 lahko dovajamo zrak z nadtlakom skozi gibko cev (model arterije), ki je s spojkami pritrjena na pokrovček kozarca. Nadtlak zraka v kozarcu predstavlja manšeto; tako kot napihnjena manšeta pretisne arterije, tudi nadtlak v kozarcu pretisne gibko cev. Tok zraka skozi gibko cev pa predstavlja tok krvi.

2.2 Izvedba aktivnosti

Z merjenjem krvnega tlaka na mehanskem modelu lahko pokažemo in raziščemo nekaj pojavov, ki so ključni za delovanje tega merjenja. Dijaki naj z izvedbo ustreznih eksperimentov naslovijo dva izziva pri merjenju krvnega tlaka:

- Pri oscilometričnem merjenju krvnega tlaka izkoriščamo dejstvo, da ob pulzirajočem toku krvi skozi arterijo pulzira tudi tlak v manšeti. Kako bi to pokazal z merjenjem krvnega tlaka na mehanskem modelu?
- Pri vseh merjenjih krvnega tlaka z manšeto se predpostavlja, da je pretok krvi skozi arterijo blokiran, če je tlak v manšeti višji od tlaka v arteriji. Poskušaj z merjenjem krvnega tlaka na mehanskem modelu to potrditi! Ti je uspelo? Na kakšne težave naletiš?



Slika 2: V pokrovček naredimo tri luknje. Skozi dve namestimo spojke, na kateri je nameščena gibka cev. V tretjo luknjo namestimo priključek za cev, po kateri dovajamo zrak v kozarec.



Slika 3: Postavitev celotnega eksperimenta.

2.3 Primer izvedbe aktivnosti

Z zgoraj predstavljeno eksperimentalno postavitvijo izvedemo dve aktivnosti, ki odgovarjata na zgoraj predstavljena vprašanja/izzive.

Pri prvi aktivnosti s črpalko 1 ustvarimo nadtlak v kozarcu; nekje 100–200 mmHg. Nato s sunkovitim stiskanjem črpalke 2 v enakomernih časovnih presledkih ustvarimo utripanje tlaka v cevi, kjer ob porastu tlaka zrak steče skozi gibko cev (sliši se šum), ko pa tlak pade, se tudi zračni tok ustavi. Tak režim ustreza delno pretisnjeni arteriji med merjenjem krvnega tlaka, ko je tlak v manšeti med obema skrajnostma.

Pri drugi aktivnosti z nežnim stiskanjem črpalke 2 ustvarimo ravno pravi tlak, da se zasliši šum – da steče zrak skozi gibko cev.

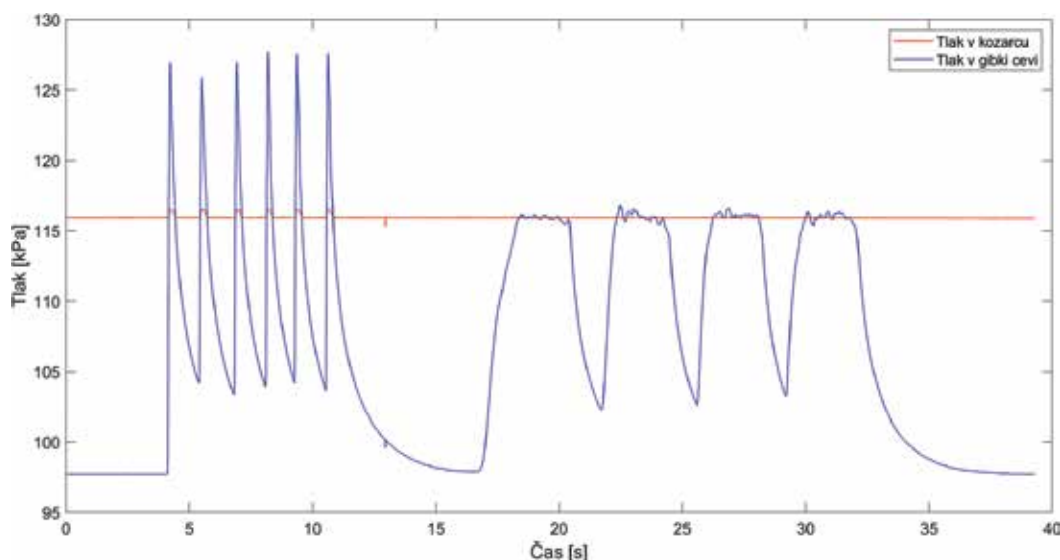
Pri obeh aktivnostih računalniško vzorčimo oba tlaka in spremljamo njuno časovno odvisnost. Primer meritev je na sliki 4. V prvem delu grafa vidimo kratko sunkovito dviganje tlaka v gibki cevi, ki v svojem vrhu znatno preseže tlak v kozarcu. V trenutku, ko ga preseže, se tudi tlak v kozarcu nekoliko dvigne. V drugem delu se tlak v gibki cevi izenači s tlakom v kozarcu (takrat dobimo šum ob toku zraka), tlak v kozarcu pa ostaja konstanten.

Pri uporabi odrezanega balona za modeliranje smo naleteli na težavo: prvotno smo balon oblikovali v obliki črke U, vendar je v spodnjem delu nekje nastalo koleno, ki je preprečevalo tok zraka tudi v odsotnosti nadtlaka v kozarcu. Problem smo rešili tako, da smo v balon dali debelejšo žico v obliki črke U.

2.4 Spoznanja ob izvedbi aktivnosti

Pri prvem delu te aktivnosti (sunkovito stiskanje črpalke 2) opazimo nihanje tlaka v kozarcu. Tlak v kozarcu se dvigne, ko se tlak v gibki cevi dvigne nad prvotni tlak v kozarcu. Razlog je ta, da takrat cev nabrekne in tako prepusti tok zraka, pri tem pa nekoliko zmanjša volumen, ki ga zavzema zrak v kozarcu. Če bi bila temperatura zraka v kozarcu konstantna, bi spreminjanje tlaka lahko opisali z Boylevim zakonom. V resnici pa zaradi stiskanja temperatura zraka malenkostno naraste, kar še dodatno poveča tlak. Nihanje tlaka v kozarcu ob pulzirajočem toku zraka skozi gibko cev je mehan-ski ustreznik nihanju tlaka v manšeti, kadar je tlak v manšeti med zgornjim in spodnjim krvnim tlakom. Pri manšeti je situacija sicer nekoliko drugačna, saj se tam roka razširja pod vplivom utripajočega tlaka v arterijah, razširjanje roke pa deformira manšeto, kar spet zmanjša volumen zraka v manšeti in s tem poviša njegov tlak.

Že pri prvem delu te aktivnosti se zdi, da slišimo šumenje oz. tok zraka skozi gibko cev okvirno takrat, ko tlak v gibki cevi preseže tlak v kozarcu. Natančneje to raziščemo v drugem delu aktivnosti, kjer tlak v gibki cevi povišamo ravno toliko, da zaslišimo šumenje pri prehodu zraka skozi gibko cev. Merjenje pokaže, da dobimo tok zraka skozi cev pri podobnem tlaku, kot je v kozarcu (odvisno



Slika 4: Časovna odvisnost obeh tlakov za prvi in drugi del aktivnosti.

od tega, kako dobro zaznavamo šum pri toku zraka skozi gibko cev in kako uspešno vzdržujemo minimalen tok zraka skozi cev ter s tem minimalni potreben tlak). Glede na siceršnje razumevanje modela bi tak rezultat tudi pričakovali. Vemo namreč, da gibka cev lahko prenaša zgolj natezne obremenitve, zato sklepamo, da ne more biti tlak znotraj nižji kot zunaj. Če torej s črpalko 2 ne dosežemo tlaka, ki bi bil vsaj enak tlaku zunaj cevi, bo cev pretisnjena in prehod zraka blokiran. Če pa je tlak v cevi enak ali višji od tlaka zunaj cevi, se cev razpre in prehod zraka skozi cev je mogoč. Šum ob toku zraka skozi delno pretisnjeno gibko cev je podoben šumu krvi ob pulzirajočem toku skozi delno pretisnjeno arterijo pri klasičnem merjenju krvnega tlaka z mehanskim merilnikom.

3 Aktivnosti za dijake – eksperiment na prostovoljcu s prirejenim merilnikom krvnega tlaka

Dijaki bodo z izvedbo eksperimenta na prostovoljcu s prirejenim merilnikom krvnega tlaka izkusili pravo merjenje krvnega tlaka in kakšne signale pri tem izmerimo. S tem bodo dobili vpogled v delovanje merilnikov krvnega tlaka. Primerjali bodo tudi območje tlakov, v katerem je vidno nihanje tlaka v manšeti, z območjem tlakov, v katerem so slišni Korotkovi zvoki.

Za osnovno razumevanje eksperimenta se predpostavi, da je roka zgrajena iz tekočine, ki poskrbi, da je tlak na stenah arterije enak tlaku v manšeti. Tkivo roke je sicer zgrajeno iz mehke snovi, ki pa se v našem primeru obnaša precej podobno kot tekočine, zato je roka iz tekočine povsem zadosten model za kvalitativno razlago pojava. Pri merjenju na prostovoljcu torej manšeta in roka skupaj ustrezata kozarcu iz prvega eksperimenta.

3.1 Postavitev eksperimenta

Preprost mehanski merilnik krvnega tlaka zlahka predelamo za oscilometrično merjenje krvnega tlaka na pro-

stovoljcu. Za tak poskus potrebujemo:

- mehanski merilnik krvnega tlaka,
- T-člen in dve cevki,
- sistem za zajem podatkov z merilnikom tlaka (npr. LabQuest2, računalnik in Go Direct® Gas Pressure Sensor).

Med črpalko in manšeto priklopimo Vernierov merilnik tlaka, kot prikazuje slika 5. Merilnik tlaka priklopimo na računalnik in pripravimo za vzorčenje tlaka v enakomernih presledkih.



Slika 5: Mehanski merilnik krvnega tlaka, prirejen za zajem časovne odvisnosti tlaka v manšeti z računalnikom.

3.2 Izvedba aktivnosti

Na podlagi prvega dela vaje in poznavanja teoretičnega ozadja merjenja krvnega tlaka bi pričakovali, da Korotkove zvoke slišimo v istem območju tlaka v manšeti, kot dobimo nihanje tlaka v manšeti. Nam eksperiment na prostovoljcu to potrdi? Kako se spreminja jakost Korotkovih zvokov in amplituda nihanja tlaka s spreminjanjem tlaka v manšeti?

3.3 Primer izvedbe aktivnosti

Na prostovoljcu izvedemo standardni postopek merjenja tlaka: Levo roko nad lahtjo ovijemo z manšeto, glavo stetoskopa pa prislonimo na nadlaktko arterijo tik pod ovojem. Nato manšeto napihnemo malo nad pričakovano vrednostjo krvnega tlaka, nakar začnemo počasi spuščati zrak iz nje (2–3 mmHg/s), hkrati pa s stetoskopom poslušamo morebitno šumenje (Korotkovi zvoki). Zapišemo tlak, ko prvič slišimo Korotkove zvoke, in tlak, ko ti zvoki izginejo. Sproti s sistemom za zajem meritev beležimo tlak v manšeti.

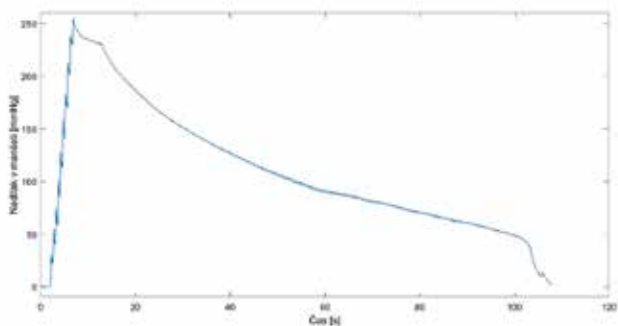
Pri merjenju krvnega tlaka na prostovoljcu dobimo vpogled v časovno odvisnost tlaka v manšeti (slika 6). Na začetku vidimo dviganje tlaka z ročno črpalko. Po doseženem maksimalnem tlaku pričnemo spuščati zrak in tlak začne padati. Nihanje tlaka se opazi nekje pri 130 mmHg pa navzdol nekje do 50 mmHg. Korotkovi zvoki so bili slišni nekje od 115 mmHg pa navzdol do 70 mmHg. Nihanje tlaka je najprej blago, potem pa čedalje intenzivnejše, nato pa njegova amplituda spet pada. Podobno je tudi s Korotkovimi zvoki: najprej jih slišimo kot mehak trkajoč zvok, potem so vedno daljši in glasnejši, na koncu pa jih slišimo kot daljše šumenje. Opaženo nihanje tlaka je v nekoliko širšem območju tlakov kot Korotkovi zvoki.

3.4 Spoznanja ob izvedbi aktivnosti

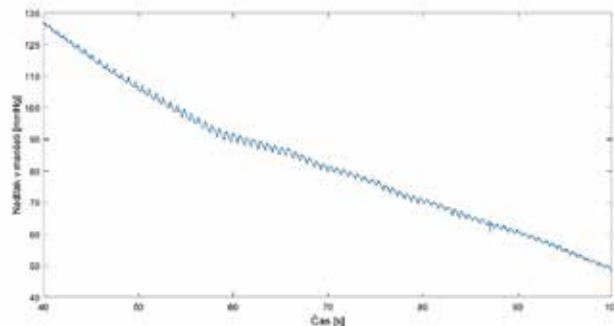
Pričakovanjem navkljub smo Korotkove zvoke slišali v ožjem območju tlaka v manšeti, kot je bilo opaženo nihanje tlaka v manšeti. Tako Korotkovi zvoki kot nihanje tlaka v manšeti se začnejo z zelo majhno jakostjo/amplitudo, ki potem naraščata, nakar spet padata. Določitev območja, v katerem slišimo Korotkove zvoke oz. opazimo nihanje tlaka v manšeti, je povezana z občutljivostjo merilnega instrumenta (ušesa, tlačnega senzorja) in s šumom. Ker imamo povsem drugačen mehanizem za zaznavanje Korotkovih zvokov kot za nihanje tlaka v manšeti, je tudi meja zaznavnosti drugačna in to je eden od razlogov, da je nihanje tlaka opaženo v nekoliko širšem območju tlakov kot Korotkovi zvoki.³

3 Nekateri avtomatski merilniki krvnega tlaka med meritvijo indicirajo zaznavo srčnega utripa (npr. utripajoč znak za srce). Izkušnje kažejo, da avtomatski

a)



b)



Slika 6: Časovna odvisnost tlaka v manšeti pri merjenju s prirejenim merilnikom tlaka; celotna meritve (a) in izsek z vidnim utripajočim tlakom (b). Osenčeno je področje tlaka, v katerem smo slišali Korotkove zvoke.

Nihanje tlaka se lepo vidi pri merjenju z elektronskim merilnikom tlaka. Gre za majhne amplitude nihanja, zato ga je precej težko identificirati pri merjenju z aneroidnim manometrom, kakršen je na črpalki na sliki 5, in še težje z živosrebrnim manometrom z U-cevjo. Če bi skušali identificirati nihanje tlaka v manšeti s takimi merilniki tlaka, bi zaradi njihove slabše občutljivosti identificirali manjše območje tlakov v manšeti. Posledično bi bila izmerjena zgornji in spodnji tlak odvisna od karakteristik uporabljenih manometrov. Zato oscilometrično merjenje krvnega tlaka ni doživelo širše uporabe do pojava elektronskih tlačnih senzorjev, pri katerih občutljivost ni več problem. Poleg tega z elektronskimi tlačnimi senzorji tudi zlahka posnamemo časovno odvisnost in iz celotne serije meritev z nekim protokolom določimo zgornji in spodnji tlak. Po drugi strani pa Korotkove zvoke razmeroma dobro identificiramo pri poslušanju, medtem ko bi jih bilo zelo težko identificirati pri elektronskem merjenju z mikrofonom.⁴ Zato je merjenje z mehanskim merilnikom krvnega tlaka razmeroma zanesljivo, kadar ga izvaja izkušen operater, za avtomatizacijo z elektronskim merilnikom pa je precej nepraktično.

4 Zaključek

Merjenje krvnega tlaka je standardna preiskovalna tehnika v primarni zdravstveni oskrbi in tudi pri samozdravljenju na domu, zato se je z njo verjetno srečal že vsak. Kljub svoji preprostosti in razmeroma dolgi zgodovini je še vedno izjemno pomembna, zato si zasluži, da razumemo, kako deluje.

Namen tega članka je predstaviti aktivnosti za dijake, s pomočjo katerih bodo razumeli zakonitosti merjenja krvnega tlaka in delovanje naprav za merjenje krvnega

merilnik zaznava srčni utrip v širšem območju tlakov, kot ga na koncu izpiše kot zgornjo in spodnjo vrednost. To je zato, ker avtomatski merilniki iz odvisnosti amplitude nihanja od tlaka v manšeti preračunajo, kje naj bi se slišali Korotkovi zvoki. Zanje pa smo ugotovili, da so v precej ožjem območju tlakov, kot je zaznavno nihanje tlaka.

4 Pri Korotkovih zvokih gre za razmeroma zapleten signal z nizko jakostjo, ki ga moti veliko drugih zvočnih signalov iz okolice. Možgani so se sposobni naučiti prepoznavati specifične oblike signala tudi v prisotnosti drugih signalov iz okolice, za računalniško analizo signalov pa je to precej zahteven problem, ki bi ga danes verjetno najlažje rešili z metodami umetne inteligence.

tlaka. V prvem delu izvedemo aktivnosti z mehanskim modelom, s katerim demonstriramo dve pomembni zakonitosti merjenja krvnega tlaka: (1) tok krvi skozi arterijo dobimo takrat, kadar je tlak v njeni okolici manjši od krvnega tlaka, (2) ko je tlak v manšeti med spodnjim in zgornjim tlakom, pa dobimo pulzirajoč tok krvi in pulzirajoče razširjanje arterije, kar se prenaša na manšeto in je zaznavno kot nihanje tlaka v manšeti. V drugem delu izvedemo še merjenje na prostovoljcu, kjer ugotovimo, da je nihanje tlaka v manšeti vidno v širšem območju tlakov, kot so slišni Korotkovi zvoki. Poleg tega ugotovimo tudi, da se tako nihanje tlaka v manšeti kot pojav Korotkovih zvokov začneta z majhno, komaj zaznavno amplitudo/jakostjo, potem narašča in doseže maksimum, nakar spet pada, dokler ne izgine. Domnevamo, da je eden od razlogov za različno območje tlakov za Korotkove zvoke in nihanje tlaka v manšeti v različnih mejah zaznavnosti.

Za izvedbo vseh predstavljenih aktivnosti je potrebne nekaj opreme: predvsem dva merilnika tlaka in sistem za vzorčenje, kar sicer spada med splošno opremo didaktičnih fizikalnih laboratorijev. Dodatno potrebujemo črpalko za zrak in mehanski merilnik krvnega tlaka (za vse predstavljene aktivnosti smo uporabili dva merilnika krvnega tlaka, eno črpalko pa smo dobili na montažni blazinici). Poleg tega potrebujemo še nekaj cevi, spojk, nastavkov za cevi, T-členov, kozarec za vlaganje s pokrovčkom in gibko cev (uporabili smo odrezan balon za modeliranje). Vabimo vse, ki boste te aktivnosti preizkusili z dijaki, da nam sporočite svoje izkušnje in odzive dijakov.

5 Dodatek: Zgodovinski razvoj merjenja krvnega tlaka

Neposredna metoda merjenja krvnega tlaka je bila prva in je še danes izhodiščna, vendar je zelo nepraktična. Mnogo bolj praktično, manj tvegano in manj neprijetno je posredno merjenje arterijskega krvnega tlaka. Pri njem merimo silo, s katero je treba pritisniti na radialno arterijo (arterija na roki), da se prekrine pretok krvi, oziroma tlak v blazini, ki pritiska na arterijo in prekrine pretok krvi. Prekinitev pretoka krvi enostavno zaznamo tako, da ne moremo več otipati utripa. Takemu merjenju pravimo sfigmomanometrija, napravi pa sfigmomanometer. Osnovno idejo za tak način posrednega merjenja krvnega tlaka je podal Karl von Vierordt leta 1855, ki je izdelal tudi prvo tovrstno napravo. Naprava je bila zelo zapletena, zato ni dosegla širše uporabe. Pomembne izboljšave sta prispevala Etienne-Jules Marey leta 1860 in Samuel Siegfried Karl Ritter von Basch leta 1881, ki sta napravo precej poenostavila za uporabo, vendar obdržala osnovno idejo, po kateri se pretok v radialni arteriji prekrine s točkovnim pritiskom nanjo.

Scipione Riva-Rocci je leta 1896 predstavil poenostavljeno različico, kjer namesto točkovnega pritiska na arterijo uporabimo napihljivo manšeto, ki jo namestimo okrog

nadlakti in napihnemo do te mere, da prekinemo pretok skozi radialno arterijo. Ta metoda je zaradi svoje praktičnosti dosegla širšo uporabo, zato se je za tako merjenje krvnega tlaka uveljavil izraz metoda Riva-Rocci ali na kratko kar metoda RR. Podobno kot pri prej predstavljenih metodah sfigmomanometrije tudi tu najprej s pritiskom zaustavimo pretok skozi radialno arterijo, potem pa pritisk počasi popuščamo in hkrati skušamo otipati srčni utrip. Ko ga otipamo, zabeležimo ocenjeni zgornji tlak. Pri metodi RR ga dobimo kar iz tlaka v manšeti, pri predhodnih metodah pa iz sile pritiska na radialno arterijo oz. iz tlaka v blazini, ki pritiska na roko.

Dodatno je metodo RR leta 1905 izpopolnil ruski zdravnik Nikolaj Korotkov, ki je odkril Korotkove zvoke. Z metodo Korotkova lahko ocenimo zgornji in spodnji krvni tlak in se še danes uporablja pri mehanskih merilnikih krvnega tlaka.

Namesto poslušanja Korotkovih zvokov lahko opazujemo tudi oscilacije v tlaku manšete, ki jih povzroči stiskanje in razširjanje arterije. Gre za oscilometrično merjenje krvnega tlaka, ki idejno izvira že iz samih začetkov sfigmomanometrije; takrat so pretok krvi skozi arterijo poskušali zaznati z (mehanskim) sfigmografom, ki je risal odvisnost tlaka od časa na papir. Odkritje Korotkovih zvokov in razmeroma zapleteno beleženje tlačnih oscilacij v manšeti pa je to metodo za nekaj časa potisnilo v ozadje. Danes je zaradi dostopnosti natančnih tlačnih senzorjev in zmogljive elektronike oscilometrična metoda spet aktualna, saj je osnova za delovanje avtomatskih merilnikov tlaka.

Literatura

- [1] Simončič, U., Milanič, M., Stergar, J., Planinšič, G., Mohorič, A. Merjenje krvnega tlaka: delavnica v okviru Stalnega strokovnega spopolnjevanja učiteljev fizike, 17. 12. 2021.
- [2] <https://kvarkadabra.net/2016/05/meritve-krvnega-tlaka/> (19. 09. 2022)
- [3] Booth, J. (1977). A short history of blood pressure measurement, *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, 70 (11), 793–799. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1543468/pdf/procrsmed00089-0065.pdf>
- [4] https://www.zd-lj.si/cpc/images/datoteke/gradiva/radm_sestre/5_Razline_tehnike_merjenja_krvnega_tlaka.pdf (19.09.2022)
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Korotkoff_sounds (19. 09. 2022)
- [6] Geršak, G., Drnovšek, J. (2009). AVTOMATSKI MERILNIKI KRVNEGA TLAKA ZA DOMAČO UPORABO – ALI JIM LAHKO ZAUPAMO?, *Zdrav Vestn*, 78, 1–7. <https://vestnik.szd.si/index.php/ZdravVest/article/download/333/225/>