

CONSIDERAȚII SISTEMICE PRIVIND MECANISMELE DE COMANDĂ CARDIOVASCULARĂ

Vasile MANOLIU

Facultatea de Electrotehnică, Universitatea "POLITEHNICA" din București

E-mail: vasilem@amotion.pub.ro

Abstract. *The goal of this study is to present the control mechanisms associated with cardiovascular regulation. Although the physiological models are nonlinear and of extreme complexity, in some cases, however, deterministic laws can be identified. The integration of the hemodynamics and reflexes in a cardiovascular system is, also, presented. Between hemodynamic parameters, heart rate control, by the vagal and sympathetic activities, is emphasized. Finally, some examples of feedback mechanisms control is presented. The control mechanisms are useful in solving clinical problems, in which the variations in the main vascular parameters due to changed hemodynamic conditions should adequately taken into account.*

1. INTRODUCERE

Dintre miile de sisteme de comandă care funcționează în corpul uman, se pot menționa doar câteva: sistemul de control genetic ce operează în interiorul tuturor celulelor pentru a controla funcțiile intracelulare și toate procesele vitale, sistemul de control al insulinei pentru reglarea concentrației de glucoză în fluidele extracelulare, controlul temperaturii corporale, controlul volumului sanguin, reglarea oxigenului (O₂) și bioxidului de carbon (CO₂) în fluidele extracelulare sau reglarea presiunii arteriale sanguine. Cele mai multe dintre aceste sisteme sunt sisteme cu reacție negativă care asigură mecanisme autoregulative.

În lucrarea de față, considerând un model cardiovascular cu presiunea arterială sanguină ca factor de acțiune cardiovasculară și ventilația alveolară ca factor de acțiune pulmonară, cu efect asupra variabilității ritmului cardiac, se pot identifica unele mecanisme de comandă/control în buclă închisă ale sistemului cardiovascular.

Într-un model elaborat al regimurilor hemodinamice ale circulației unui adult uman, trebuie incluse baroreflexul și reflexul cardiopulmonar.

2. MECANISME DE COMANDĂ A SISTEMULUI CARDIOVASCULAR

Comanda sistemului cardiovascular (SCV) este asigurată prin intermediul sistemului nervos autonom (SNA).

Cele trei componente care interacționează (prin intermediul comenzii pe termen scurt a sistemului nervos autonom) sunt: *inima* (prin ritmul cardiac și contractilitatea), *respirația* și *sistemul circulator*. Fiecare dintre componente posedă captori care înregistrează variațiile și trimit aceste informații spre centrele cerebrale care constituie centrul de tratament (Fig. 1). După integrarea datelor în aceste centre, este trimis un răspuns componentelor prin intermediul a două ramuri a SNA: parasimpatică (sau vagală) și simpatică.

În Fig. 1 sunt prezentate principalele efecte ale mecanismelor parasimpatic, respectiv simpatic. Fiecare componentă a sistemului are propriul ansamblu de captori; pentru sistemul circulator, cei mai importanți captori sunt baroreceptorii.

Informația trimisă de captori spre centrul cerebral de comandă este asigurată de nervii aferenți (mielinizați sau nemielinizați). Răspunsul spre componentele sistemului se produce prin

intermediul a două fibre nervoase: mielinizate (pentru calea simpatică – răspuns pe termen scurt) și nemielinizate (pentru calea simpatică – modificări pe termen lung).

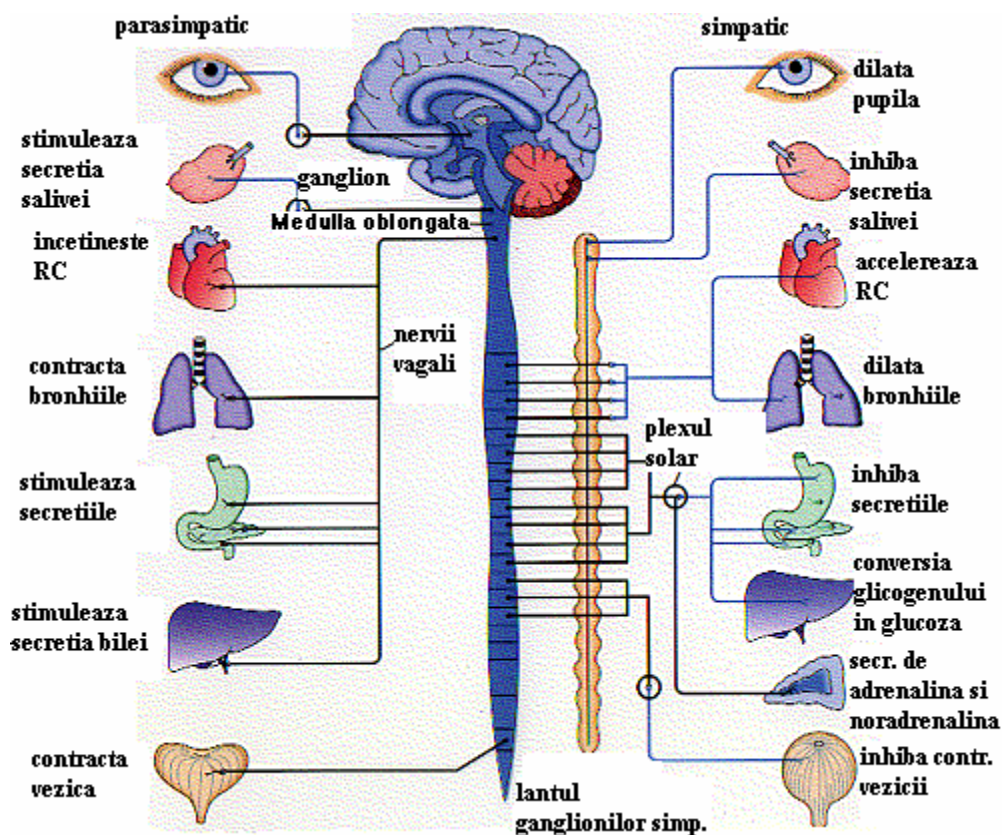


Fig 1. Principalele efecte ale mecanismelor parasimpatic respectiv simpatic.

Se poate descrie controlul (comanda) sistemului cardiovascular în forma standard a unui sistem fizic cu bucle de reacție (Fig. 2).

Presiunile aortică, p_{ao} , și carotidiană, p_c , reprezintă variabilele măsurate în sistemul circulator de presiune ridicată; receptorii de joasă presiune măsoară presiunea în aorta toracică (p_T) și cea pulmonară (p_{ap}).

Baroreceptorii din sinusul carotid și de la nivelul aortei, receptorii de întindere de la nivelul aortei toracice și baroreceptorii de joasă presiune reprezintă senzorii de presiune, care generează informația neurală aferentă.

Sistemul cardiovascular (SCV) reprezintă procesul controlat, iar sistemul nervos autonom (SNA) – controlerul.

Sistemul nervos autonom poate regla debitul sanguin în diferitele părți ale SCV, menținând o presiune sanguină cu variații limitate; debitul sanguin (q_x) poate fi estimat din informațiile aferente, iar SNA comandă efortorii pentru a menține cât mai mică diferența dintre debitul estimat (\hat{q}_x) și valoarea de referință ($q_{x,ref}$).

Sistemele respirator și cardiovascular sunt interconectate prin curgerea sanguină prin plămâni și țesuturi, fiind reglate atât prin mecanisme centrale de control cât și prin mecanisme locale, în fiecare regiune.

Ritmul cardiac și ventilația alveolară se pot presupune ca fiind mărimile prin intermediul cărora sistemul nervos central controlează presiunea medie arterială sanguină și concentrația de gaz în sânge.

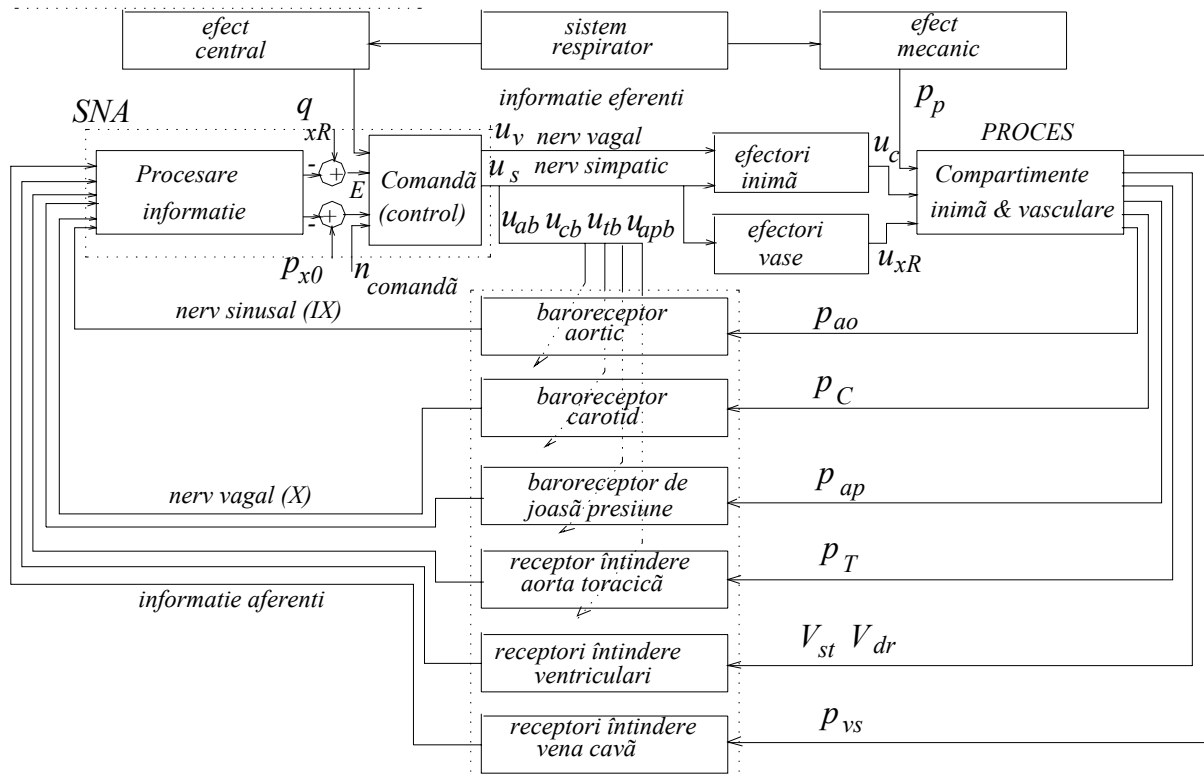


Fig. 2. Schema generală de comandă a sistemului cardiovascular.

Activitatea aferentă totală a baroreceptorilor reprezintă o funcție neliniară de presiunea arterială. Modelul baroreflex are patru efectori, în ordinea vitezei de răspuns: ritmul cardiac, rezistența, elastața, și volumul nesolicitat al compartimentelor venoase.

Integrarea regimurilor hemodinamice și a reflexelor este prezentată în Figura 3 [1]. Există trei variabile hemodinamice care modulează patru parametri hemodinamici prin intermediul a două reflexe care interacționează.

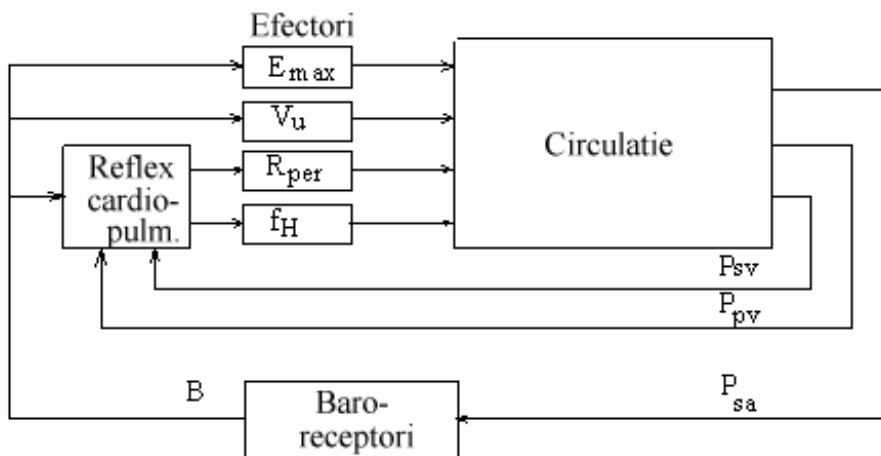


Fig. 3. Integrarea regimurilor hemodinamice și a reflexelor.

În multe cazuri, aplicarea legilor de comandă/control din teoria sistemelor este foarte dificilă, datorită întârzierilor de transport în cadrul căilor de comandă directe și de reacție. Sistemul de comandă cardiovascular nu implică întârzieri de transport, însă interacțiunea între ritmul cardiac, presiunea sanguină și ieșirea cardiacă reprezintă un fenomen complex. Pentru

sistemul respirator, eficacitatea controlului ratei de ventilație, este influențată de astfel de întârzieri de transport.

3. MECANISME DE COMANDĂ A RITMULUI CARDIAC

Într-un model care conține influențele vagale și simpatice asupra variabilității ritmului cardiac, presiunea arterială sanguină și ventilația alveolară au fost utilizate ca factori principali determinanți [2]. Schema bloc care a stat la baza studiului este prezentată în Fig. 4.

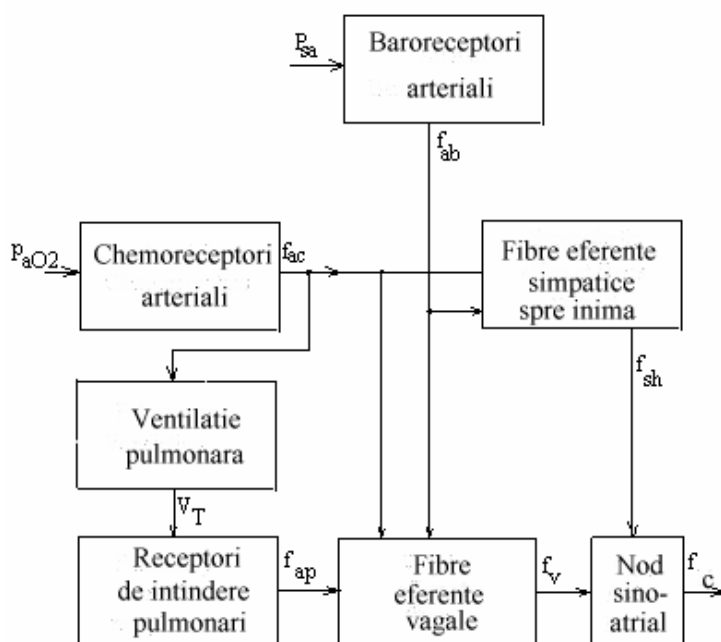


Fig. 4. Schemă bloc care descrie influențele vagale și simpatice asupra ritmului cardiac.

Au fost considerate, separat, atât influențele vagale, cât și cele simpatice. În obținerea variabilității frecvenței cardiace au fost încorporate și fenomenele de întârziere, determinate de propagări, cu viteze, în general, diferite, ceea ce face dificilă surprinderea simultană a ambelor mecanisme.

Implementarea în Simulink a modelului este prezentată în Fig. 5. Stimularea simpatcă crește ritmul cardiac și îmbunătățește intensitatea de pompare. Stimularea parasimpatcă produce, în principal, efecte opuse, descrescând ritmul cardiac.

Variația ritmului cardiac la o frecvență de respirație constantă crește odată cu creșterea volumului tidal. Pentru un volum tidal dat, amplitudinea descrește odată cu descreșterea frecvenței de respirație.

Determinările au considerat parametri asociați, în general, unei stări de repaus, și fără a investiga afecțiuni ale procesului respirator (de exemplu hipoxia).

Totodată, atunci cînd se consideră efectuarea de exerciții fizice, trebuie acordată o atenție mai mare proceselor metabolice asociate cu consumul crescut de oxigen. Dacă într-o primă fază, o scădere (inhibare) a activității parasimpatice (vagale) determină o creștere a ritmului cardiac, aceasta este apoi susținută de o creștere a activității simpatice. Exercițiile fizice determină o scădere pronunțată a rezistenței periferice datorită vasodilatării musculare; ca urmare, și pe această cale are loc o creștere sensibilă a presiunii arteriale sistemice.

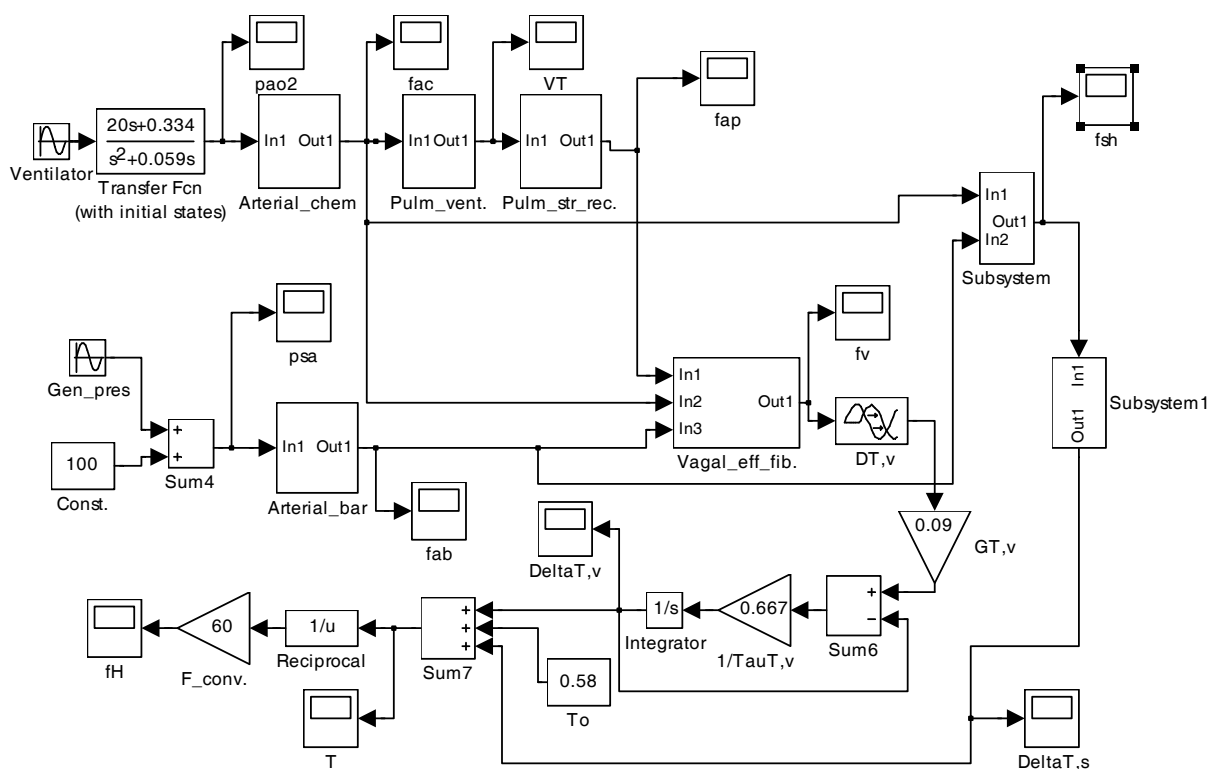


Fig. 5. Implementarea comenzii ritmului cardiac.

4. EXEMPLE DE MECANISME DE REACȚIE

În structura mecanismelor de comandă a sistemului cardiovascular se pot separa mecanisme de reacție negativă și de reacție pozitivă, după cum urmează:

Reacția negativă și comanda presiunii: Stimularea baroreceptorilor aortici și carotidieni induce o activare vagală, inhibiție simpatică, forță contractivă cardiacă diminuată, vasodilatare a vaselor sanguine și o scădere a presiunii medii sanguine, exprimând un mecanism de comandă a presiunii sanguine cu mai multe intrări și mai multe ieșiri.

De asemenea, sistemul de comandă respirator acționează prin intermediul unui mecanism de tip "reacție negativă".

De exemplu, o concentrație ridicată a CO_2 în fluidele extracelulare determină o creștere a ventilației pulmonare, care în schimb scade concentrația de CO_2 .

Reacția pozitivă și comanda debitului: S-a constatat că, la o întindere a aortei toracice, se produce o creștere semnificativă a ritmului cardiac și a presiunii sanguine, manifestându-se un reflex pozitiv.

În același timp, funcția receptorilor de întindere (la nivelul aortei toracice) este de a măsura presiunea împotriva căreia inima pompează sângele; astfel, rolul reacției pozitive este de a comanda funcția inimii pentru a menține debitul sanguin în sistemul vascular. Astfel, se pot induce modificări ale reflexelor în opoziție cu cele obținute prin întinderea sinusului carotid.

În realitate, într-un sistem de comandă cu intrări - ieșiri multiple, termenii ca "reacție pozitivă" sau "reacție negativă" nu își mai au sensul: pentru că intrarea nu este singulară, iar reacțiile nu sunt de la o singură ieșire, nu se poate stabili *a priori* un semn pentru relații intrare - ieșire.

5. CONCLUZII

În lucrarea de față de analizează câteva dintre mecanismele de comandă ale sistemului cardiovascular, accentuându-se investigarea variabilității ritmului cardiac, ca urmare a modificării parametrilor respiratori și considerând modificarea presiunii arteriale sistemice. Legile succesive de variație, în afară de neliniaritate, sunt afectate în interpretarea lor de fenomenele de întârziere asincrone și cu durate diferite. Cu toate acestea, rezultatele obținute au confirmat influența preponderent vagală a respirației, în condiții normale, asupra variabilității ritmului cardiac.

BIBLIOGRAFIE

- [1] K. H. Wesseling – *Baromodulation as the cause of short term blood pressure variability?*, Proc. of Int. Conf. on Applic. of Physics to Medicine and Biology, Trieste, 1982, pp. 260 - 276;
- [2] Vasile Manoliu, Mircea Covrig – *Analysis of Respiratory Mechanics and its Influence upon the Heart Rate* - I-st International Conference on Biomaterials "Biomaterials & Medical Devices" BiomMedD'2004, 05-07 nov. 2004, vol. Abs., pag. 121, ISBN 973-718-083-6.