



ÉTIENNE-PAUL D'ALCHÉ

Comprendre la physiologie cardiovasculaire

2^e ÉDITION

Médecine-Sciences
Flammarion

187 DM

COMPRENDRE LA PHYSIOLOGIE CARDIOVASCULAIRE

2^e édition

Étienne-Paul d'Alché

Professeur émérite de physiologie à l'université de Caen



24627

1/8

Médecine-Sciences
Flammarion

4, rue Casimir-Delavigne, 75006 Paris

SOMMAIRE

Avant-propos	XI
1. La notion de charge dans la circulation du sang	1
Équation de Bernoulli	1
Notion de charge	2
Représentation graphique de l'équation de Bernoulli	2
Mesure de l'énergie cinétique : tube de Pitot	3
Application de l'équation de Bernoulli à l'hémodynamique	4
Équation de continuité	5
Effet Venturi	6
2. Principales lois de l'hémodynamique	9
Loi de Poiseuille	9
Application de la loi de Poiseuille à la circulation sanguine	10
Équation de Navier-Stokes. Équation de Womersley	11
Loi de Laplace	12
3. Écoulements laminaire et turbulent. Application à la sphymomanométrie	15
Expérience de Reynolds	15
Nombre de Reynolds	16
Distribution des vitesses	16
Sphygmomanométrie	17
4. La pompe cardiaque	21
Anatomie du cœur	21
Caractéristiques de la pompe cardiaque	23
Les valves cardiaques	24
Fonctionnement de la pompe cardiaque	27

Compléments	29
Anatomie comparée du cœur des Vertébrés	29
Système de perfusion « working heart »	31
5. Le débit cardiaque et les facteurs de son adaptation	33
Définition du débit cardiaque	33
Nécessité de l'égalité des débits des deux ventricules	34
Loi de Starling	34
Adaptation du débit cardiaque	35
6. Diagrammes pression-volume intraventriculaires	37
Définitions	37
Établissement du diagramme P-V	38
Phase I	38
Phase II	38
Phase III	39
Phase IV	39
Historique	39
Diagramme P-V moderne	40
Influence de la précharge, de la postcharge et de la contractilité sur le diagramme P-V	41
Précharge	41
Postcharge	42
Contractilité	42
Travail du cœur	42
Diagramme tridimensionnel de la contraction cardiaque	43
7. Courbes de débit ventriculaire et de retour veineux	45
8. Ondes de pression et de débit	51
Onde de pression	51
Techniques de mesure de la pression artérielle	51
Origine de l'onde de pression	53
Décours de l'onde de pression artérielle	53
Valeurs normales de la pression artérielle chez l'homme	54
Réflexion de l'onde de pression artérielle	54
Vitesse de propagation de l'onde de pression dans les artères	56
Onde de débit	57
Techniques de mesure du débit	57
Décours de l'onde de débit	58
Déphasages entre ondes de pression et de débit	59
9. Impédances vasculaires	61
Notions de résistance et d'impédance mécaniques vasculaires	61

Différents types d'impédances vasculaires	61
Établissement des spectres d'impédance vasculaire (module et phase)	62
Analyse des spectres d'impédance vasculaire	64
10. Systèmes vasculaires à haute et à basse pression	67
Notions d'élasticité et de distensibilité	67
Histologie	68
Structure de la paroi des artères et des veines	68
Structure de la paroi des capillaires sanguins	69
Caractéristiques du système vasculaire à haute pression	70
Diagramme tension-rayon d'une artère	70
Tensions passive et active de la paroi artérielle	71
Effet Windkessel	73
Caractéristiques du système vasculaire à basse pression	75
Veines profondes et veines superficielles	75
Diagramme tension-rayon d'une veine	75
Facteurs du retour veineux	76
Réseau de capillaires	76
Mécanisme des échanges au niveau des capillaires	77
Système lymphatique	78
Compléments	80
Les artères de la girafe	80
Réseau admirable	81
11. Activité électrique cardiaque cellulaire	83
Cardiomyocyte	83
Enregistrement et morphologie des potentiels cardiaques	85
Origine des potentiels de repos et d'action : théorie ionique	88
Périodes réfractaires	89
Phénomène de rectification	90
Équation de Nernst	91
Intérêt de l'équation de Nernst	92
Équation de Goldman-Hodgkin-Katz	93
Technique d'étude des canaux ioniques : patch-clamp	94
Exemple d'étude par la technique du patch-clamp d'un canal ionique : le canal sodique ventriculaire de cobaye	96
Principaux courants ioniques à l'origine des potentiels d'action et de repos des cellules du myocarde ventriculaire	99
Potentiel d'action : phases 0, 1, 2 et 3	99
Potentiel de repos : phase 4	102
Pompes et échangeurs	102
Pompes	103
Échangeurs (ou antiports)	103
Courant potassique sensible à l'ATP : $I_{k(ATP)}$	104

12. Activité électrique cardiaque globale	107	Mécanismes moléculaires de l'action de l'acétylcholine et des catécholamines	154
Généralités	107	Autres facteurs modifiant la fréquence cardiaque	155
Électrocardiogramme ou ECG	107		
Dérivations unipolaire et bipolaire	109		
Électrocardiographe	109		
Borne de Wilson	110		
Dérivations usuelles	111		
Intérêt clinique des électrocardiogrammes	113		
Relation entre les potentiels d'action et les électrocardiogrammes	117		
Électrocardiographie classique et vectocardiographie	118		
Hypothèses d'Einthoven	118		
Loi d'Einthoven	119		
Dipôle et sa représentation vectorielle	120		
Vecteurs ou axes électriques cardiaques instantanés	121		
Vectocardiogramme ou VCG	122		
Systèmes de référence des vecteurs cardiaques	123		
Vectocardiographe	126		
Construction manuelle d'un VCG à partir de deux ECG ou d'ECG à partir d'un VCG	128		
Vecteur cardiaque (ou axe électrique) moyen	129		
Genèse des électrocardiogrammes	129		
Méthode vectorielle	129		
Règle de l'angle solide	130		
Électrocardiographie moderne	133		
Critiques des hypothèses d'Einthoven	133		
Cartographie du champ électrique cardiaque	134		
Intérêt de la cartographie du champ électrique cardiaque	135		
Cartes de potentiel, d'activation, de repolarisation et des intervalles activation-repolarisation	137		
13. Automatisme cardiaque	143		
Expériences	143		
Tissu myocardique, tissu nodal et tissu conducteur	144		
Cellules nodales	144		
Cellules du tissu conducteur	145		
Pente de dépolarisation diastolique	146		
Courants ioniques responsables de la dépolarisation diastolique d'un cœur de mammifère	147		
Mécanismes de la propagation de l'activation	147		
Propagation de l'activation dans les oreillettes	149		
Propagation de l'activation dans les ventricules	150		
Repolarisation ventriculaire	151		
Rôle du système neurovégétatif et des catécholamines circulantes	152		
Compléments	153		
		14. Couplage excitation-contraction	157
		15. Sources d'énergie du muscle cardiaque	165
		Adénosine triphosphate ou ATP	165
		Caractéristiques du métabolisme cardiaque	167
		Formation d'ATP en métabolisme aérobie	169
		Formation d'ATP à partir du glucose	169
		Formation d'ATP à partir des acides gras libres	171
		16. Régulation de la pression artérielle	173
		Mise en évidence d'une régulation de la pression artérielle	173
		Observation	173
		Expérience	174
		Conclusion	174
		Facteurs susceptibles de modifier la pression artérielle	174
		Fréquence cardiaque	175
		Expériences	175
		Régulation nerveuse (ou réflexe)	178
		Régulation neurohumorale	181
		Volume d'éjection systolique	182
		Viscosité sanguine	182
		Modification du rayon vasculaire : vasomotricité	183
		Historique	183
		Régulation nerveuse (ou réflexe) de la vasomotricité	184
		Régulation humorale	184
		Régulation locale ou autorégulation	184
		Mécanismes moléculaires de la vasomotricité	185
		Complément : réflexe d'axone dans la réaction cutanée érythémateuse	185
		Volémie	186
		Système rénine-angiotensine-aldostérone	187
		Facteur atrial natriurétique	188
		Hormone antidiurétique	188
		Classification des mécanismes de régulation de la pression artérielle	188
		Conclusion	191
		Complément : notion de boucle de régulation	191
		17. Physiologie cardiovasculaire de l'exercice musculaire	193
		Fréquence cardiaque	193
		Volume d'éjection systolique	194

Débit cardiaque	194
Vasomotricité	195
Annexe 1. Modèle de compréhension de l'activité mécanique cardiovasculaire	197
Annexe 2. Modèle de compréhension de la genèse des électrocardiogrammes	207
Planches couleurs	
Index	213

Cet ouvrage est destiné en priorité aux étudiants en médecine et en sciences et de façon plus générale à tous ceux qui s'intéressent à la physiologie. Particulièrement exhaustif, il explique la physiologie cardiovasculaire depuis la notion de charge dans la circulation du sang, les principales lois de l'hémodynamique jusqu'à la régulation de la pression artérielle et la physiologie cardiovasculaire de l'exercice musculaire en passant par l'étude précise de la pompe cardiaque, de l'activité électrique cardiaque cellulaire et globale ou encore des sources d'énergie du muscle cardiaque. Deux modèles de compréhension, l'un concernant l'activité mécanique cardiovasculaire et l'autre la genèse des électrocardiogrammes, viennent étayer cet ouvrage. Une iconographie très complète, enrichie par trois planches couleurs, illustre les textes déjà très didactiques.

La première édition de cet ouvrage a été accueillie très favorablement par les spécialistes de physiologie cardiovasculaire, par exemple :

« Il s'agit incontestablement d'un ouvrage de physiopathologie remarquable et d'une haute tenue scientifique... »

Professeur Jean Lequime, Président d'honneur
de la Société internationale de cardiologie

« Excellent livre sur la physiologie cardiovasculaire... J'ai beaucoup apprécié la clarté avec laquelle des sujets les plus complexes sont traités. Cet ouvrage rendra, j'en suis persuadé, service à de nombreux étudiants et spécialistes qui souhaitent pénétrer dans l'intimité du système cardiocirculatoire. »

Professeur Robert Haïat, Président
de la Société française de cardiologie

« La très grande clarté de l'exposé va faciliter la tâche des étudiants et va aussi aider les chercheurs et les professeurs qui veulent comprendre certains chapitres de la physiologie en dehors de leur spécialisation. »

Professeur Bruno Taccardi, University of Utah, USA

Étienne-Paul d'Alché est professeur émérite à l'université de Caen. Ses travaux de recherche concernent l'étude du champ électrique cardiaque et sa modélisation à l'aide du système de cartographie automatisé mis au point dans son laboratoire (système Satapec). Plusieurs fois lauréat de l'Académie nationale de Médecine, il a reçu en 1998 le prix triennal Pierre-Rijlant décerné par l'Académie royale de Médecine de Belgique.



9

782257 123428

FM 2342-03-IV