

CEDERA KEPALA BERAT DENGAN KOMPLIKASI *SICK SINUS SYNDROME*

Teza Taufiq Abdul Rochman

Universitas Malahayati Bandar Lampung, Indonesia

*Corresponding Author:

ttaufiq0505@gmail.com

Abstract.

Severe head injury is a serious medical condition that can cause various neurological and systemic complications, including cardiac arrhythmias. One of the rare but significant complications is Sick Sinus Syndrome (SSS), a sinoatrial node dysfunction that causes cardiac arrhythmias such as bradycardia, sinus arrest, and syncopal episodes. This study aims to solve the relationship between severe head injury and the occurrence of SSS as a complication, as well as to understand the pathophysiological mechanisms and clinical management. The method used is a retrospective case study of patients with severe head injury who experienced cardiac arrhythmias in the intensive care unit. The results showed that activation of the autonomic nervous system due to increased intracranial pressure can trigger sinus node dysfunction. Close cardiac monitoring and early intervention such as pacemaker implantation are needed to prevent morbidity and mortality. This study emphasizes the importance of multidisciplinary collaboration in the management of severe head injury accompanied by cardiac complications such as SSS.

Keywords: *Severe head injury, Sick Sinus Syndrome, arrhythmia, intracranial pressure, pacemaker*

PENDAHULUAN

Cedera kepala berat (traumatic brain injury/TBI berat) merupakan salah satu penyebab utama morbiditas dan mortalitas di seluruh dunia. Berdasarkan laporan WHO, sekitar 10 juta orang setiap tahunnya mengalami cedera otak, dan angka tersebut diprediksi akan terus meningkat akibat kecelakaan lalu lintas, jatuh, kekerasan, serta aktivitas olahraga berisiko tinggi. Cedera kepala dapat diklasifikasikan menjadi ringan, sedang, dan berat, tergantung pada nilai Glasgow Coma Scale (GCS), temuan radiologis, serta gejala klinis yang muncul. TBI berat didefinisikan sebagai kondisi dengan GCS ≤ 8 yang membutuhkan penanganan segera dan intensif. Salah satu aspek penting namun sering kali

luput dari perhatian dalam penanganan pasien TBI berat adalah komplikasi sistemik yang dapat memperburuk kondisi pasien. Selain komplikasi neurologis seperti edema serebri, herniasi otak, dan hematoma intraserebral, pasien juga dapat mengalami gangguan fungsi organ lain, termasuk sistem kardiovaskular. Dalam konteks ini, Sick Sinus Syndrome (SSS) atau sindrom sinus sakit merupakan komplikasi kardiak yang patut mendapatkan perhatian khusus.

Sick Sinus Syndrome adalah sekelompok gangguan irama jantung yang disebabkan oleh disfungsi nodus sinoatrial (SA node), yaitu struktur kecil di atrium kanan yang berperan sebagai pemicu utama irama jantung. Gangguan ini dapat menyebabkan bradikardia (denyut jantung lambat), sinus arrest (berhentinya aktivitas nodus sinus), atau tachy-brady syndrome (kombinasi antara takikardia dan bradikardia). Pada umumnya, SSS terjadi akibat degenerasi fibrosis nodus SA yang berkaitan dengan proses penuaan atau penyakit jantung iskemik. Namun, dalam konteks TBI berat, mekanisme timbulnya SSS menjadi lebih kompleks karena melibatkan gangguan otonom, respons neurokardiogenik, serta peningkatan tekanan intrakranial yang signifikan.

Beberapa laporan kasus dan studi observasional menunjukkan bahwa cedera otak, terutama yang melibatkan batang otak dan pusat pengatur otonom, dapat memicu disfungsi nodus SA melalui mekanisme refleks vagal yang berlebihan. Aktivasi sistem saraf parasimpatis akibat peningkatan tekanan intrakranial dapat menyebabkan dominasi tonus vagal terhadap jantung, yang akhirnya menekan aktivitas nodus sinus. Selain itu, kondisi seperti hipoksia serebral, gangguan elektrolit, dan penggunaan obat-obatan sedatif di ICU juga dapat memperburuk kondisi jantung dan meningkatkan risiko terjadinya aritmia. Pentingnya memahami keterkaitan antara cedera kepala berat dan Sick Sinus Syndrome tidak hanya dalam konteks diagnostik, tetapi juga dalam hal penatalaksanaan yang tepat dan tepat waktu. Keterlambatan dalam mengidentifikasi gangguan irama jantung pada pasien dengan TBI berat dapat menyebabkan episode sinkop, penurunan perfusi otak sekunder, hingga asistol dan kematian mendadak. Oleh karena itu, pendekatan multidisipliner antara neurolog, intensivis, dan ahli jantung menjadi sangat penting dalam proses perawatan pasien dengan kondisi kompleks seperti ini.

Literatur mengenai SSS yang diinduksi oleh cedera kepala berat masih terbatas, terutama di Indonesia. Sebagian besar laporan masih bersifat studi kasus dan belum ada studi berskala besar yang menginvestigasi prevalensi dan mekanisme patofisiologisnya secara menyeluruh. Oleh karena itu, tulisan ini bertujuan untuk mengisi celah pengetahuan tersebut dengan memberikan kajian literatur dan analisis klinis mengenai hubungan antara cedera kepala berat dan terjadinya Sick Sinus Syndrome sebagai komplikasi sistemik yang serius.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam praktik klinis, khususnya dalam hal skrining dan monitoring jantung pada pasien-pasien dengan TBI berat. Selain itu, pemahaman tentang komplikasi kardiak pada pasien dengan cedera otak juga memiliki implikasi dalam manajemen unit perawatan intensif. Sebagaimana diketahui, pasien dengan TBI berat sering kali dirawat di ICU dengan dukungan ventilator mekanik, monitoring tekanan intrakranial, serta pemberian sedasi yang ketat. Dalam kondisi seperti ini, perubahan irama jantung yang abnormal sering kali dianggap sebagai efek samping obat atau respons terhadap nyeri, sehingga keberadaan SSS sebagai entitas klinis tersendiri menjadi sulit untuk dikenali. Dengan adanya pengetahuan yang lebih baik tentang kemungkinan komplikasi ini, tenaga medis dapat lebih waspada dalam mendeteksi dan mengatasi gangguan ritme jantung sejak dini.

Lebih lanjut, dari aspek fisiologis, hubungan antara otak dan jantung merupakan bidang studi yang menarik dalam ilmu kedokteran. Konsep "neurocardiology" telah berkembang sebagai cabang ilmu yang mempelajari interaksi kompleks antara sistem saraf pusat dan sistem kardiovaskular. Dalam konteks ini, cedera otak akut dapat memicu perubahan pada aktivitas otonom, melepaskan neurotransmitter tertentu, serta memengaruhi sirkulasi darah secara sistemik. Akibatnya, jantung menjadi target dari dampak sekunder cedera neurologis. Hal ini menunjukkan bahwa otak dan jantung bekerja dalam harmoni yang kompleks dan saling mempengaruhi, terutama dalam kondisi patologis seperti TBI. Maka dari itu, artikel ini akan menyajikan telaah menyeluruh mulai dari dasar fisiologi nodus SA, mekanisme terjadinya SSS pada pasien dengan cedera otak, manifestasi klinis yang perlu diwaspadai, hingga intervensi medis yang dapat dilakukan untuk mencegah komplikasi lebih lanjut. Harapannya, kajian ini tidak hanya memberikan kontribusi akademis, tetapi juga menjadi pedoman praktis bagi klinisi dalam menghadapi kasus-kasus serupa di lapangan. Dengan meningkatnya angka kejadian cedera kepala berat di Indonesia akibat tingginya angka kecelakaan lalu lintas dan kekerasan, maka urgensi dari penanganan komprehensif termasuk komplikasi kardiak seperti SSS menjadi semakin relevan. Kesadaran dan kompetensi tenaga medis dalam mendeteksi dan mengelola SSS sebagai bagian dari spektrum komplikasi TBI berat akan menjadi kunci dalam meningkatkan outcome pasien secara keseluruhan. Artikel ini bertujuan untuk mengeksplorasi fenomena ini secara lebih rinci, memberikan pemahaman tentang mekanisme, deteksi, dan penatalaksanaan SSS sebagai komplikasi dari cedera kepala berat, serta menekankan pentingnya monitoring kardiak yang ketat pada pasien-pasien dengan TBI berat.

METODE

Penelitian ini merupakan studi deskriptif retrospektif yang bertujuan untuk mengevaluasi keterkaitan antara cedera kepala berat dan terjadinya komplikasi Sick Sinus Syndrome (SSS). Desain penelitian ini dipilih untuk memungkinkan peneliti mengevaluasi data klinis yang telah tersedia dan melakukan penelaahan mendalam terhadap pola kejadian, faktor risiko, dan respons terhadap terapi pada pasien dengan TBI berat yang mengalami gangguan irama jantung.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di unit perawatan intensif (ICU) dan instalasi bedah saraf di Rumah Sakit Umum Pusat Nasional selama periode Januari 2021 hingga Desember 2023. Rumah sakit ini dipilih karena merupakan salah satu pusat rujukan trauma dan bedah saraf terbesar di wilayah tersebut, sehingga memberikan peluang besar untuk memperoleh data kasus cedera kepala berat dengan komplikasi sistemik.

Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh pasien dengan diagnosis cedera kepala berat yang dirawat di ICU dan memiliki rekam medis lengkap selama periode penelitian. Kriteria inklusi meliputi:

1. Pasien dewasa (usia ≥ 18 tahun).
2. Diagnosis cedera kepala berat berdasarkan GCS ≤ 8 saat masuk rumah sakit.
3. Terdapat rekam EKG selama perawatan.
4. Teridentifikasi gangguan irama jantung yang mengarah pada SSS.

Kriteria eksklusi mencakup:

1. Pasien dengan riwayat penyakit jantung kronis sebelum kejadian trauma.
2. Pasien dengan data medis yang tidak lengkap.

Sampel diambil dengan metode purposive sampling berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi tersebut. Total terdapat 35 pasien yang memenuhi kriteria dan dianalisis dalam penelitian ini.

Prosedur Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui telaah rekam medis pasien, yang mencakup:

- Identitas pasien (usia, jenis kelamin).
- Riwayat kejadian trauma dan mekanisme cedera.
- Nilai GCS saat masuk rumah sakit.
- Hasil pencitraan kepala (CT scan/MRI).
- Hasil rekaman EKG harian.
- Tekanan intrakranial (jika tersedia).
- Riwayat penggunaan obat-obatan sedatif dan neuroprotektif.
- Tindakan medis seperti dekompresi kraniektomi dan penggunaan ventilator.
- Waktu munculnya gangguan irama jantung dan jenis aritmia.
- Penanganan terhadap gangguan irama (termasuk pacemaker).
- Luaran klinis pasien (lama rawat inap, status akhir: hidup/mati).

Instrumen Penelitian

Instrumen utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah formulir pengumpulan data (data extraction sheet) yang telah divalidasi oleh dua dokter spesialis bedah saraf dan seorang ahli jantung. Validitas instrumen diuji menggunakan validasi isi (content validity) melalui proses review ahli. Untuk memastikan reliabilitas data, dilakukan triangulasi data antar peneliti melalui diskusi berkala.

Analisis Data

Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Variabel-variabel numerik seperti usia, waktu kemunculan aritmia, dan tekanan intrakranial dirangkum dalam bentuk rerata dan standar deviasi. Variabel kategorik seperti jenis aritmia, jenis tindakan, dan luaran pasien disajikan dalam bentuk persentase dan frekuensi. Analisis bivariat menggunakan uji chi-square dan t-test dilakukan untuk melihat hubungan antara variabel independen (misalnya tekanan intrakranial, penggunaan sedatif) dan variabel dependen (kemunculan SSS). Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak statistik SPSS versi 26.

Etika Penelitian

Penelitian ini telah memperoleh persetujuan dari Komite Etik Penelitian Kesehatan Rumah Sakit Umum Pusat Nasional dengan nomor surat keputusan: 02.KEPK/RUPN/2024. Seluruh data pasien yang digunakan telah

dianonimkan untuk menjaga kerahasiaan identitas. Karena penelitian ini bersifat retrospektif dan tidak melibatkan intervensi langsung terhadap pasien, maka tidak diperlukan informed consent secara individu.

Keterbatasan Penelitian

Sebagai penelitian retrospektif, studi ini memiliki keterbatasan dalam hal kontrol terhadap variabel luar dan kelengkapan data. Beberapa pasien mungkin tidak memiliki rekaman EKG lengkap atau pemantauan tekanan intrakranial yang kontinu. Selain itu, jumlah sampel yang relatif kecil membatasi generalisasi hasil penelitian ini. Kendati demikian, studi ini tetap memberikan wawasan awal yang penting tentang fenomena SSS pada pasien dengan TBI berat, dan dapat menjadi dasar untuk penelitian prospektif yang lebih besar di masa depan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Pasien

Sebanyak 35 pasien dengan cedera kepala berat yang memenuhi kriteria inklusi dianalisis dalam penelitian ini. Dari jumlah tersebut, 22 pasien (62,9%) adalah laki-laki dan 13 pasien (37,1%) perempuan. Rerata usia pasien adalah 42,8 tahun (SD $\pm$ 13,4 tahun), dengan rentang usia antara 19 hingga 68 tahun. Sebagian besar pasien mengalami cedera akibat kecelakaan lalu lintas (74,3%), diikuti oleh jatuh dari ketinggian (17,1%) dan kekerasan fisik (8,6%). Rata-rata nilai Glasgow Coma Scale (GCS) saat masuk adalah 6 (SD $\pm$ 1,2), menunjukkan derajat cedera kepala berat. Sebanyak 28 pasien (80%) mengalami peningkatan tekanan intrakranial (ICP) selama perawatan dan 19 pasien (54,3%) menjalani tindakan dekompresi kraniektomi.

Insiden dan Jenis Gangguan Irama

Dari 35 pasien, 14 pasien (40%) mengalami gangguan irama jantung yang diidentifikasi sebagai bagian dari spektrum Sick Sinus Syndrome. Gangguan yang paling sering dijumpai adalah:

- Bradikardia sinus berat (8 pasien)
- Sinus arrest (3 pasien)
- Episode bradikardia-takikardia (2 pasien)
- Asistol periodik (1 pasien)

Gangguan irama mulai muncul rata-rata pada hari ke-3 setelah trauma (rentang 1-7 hari), terutama setelah fase peningkatan tekanan intrakranial atau pasca-operasi kraniektomi. EKG harian menunjukkan dinamika irama yang fluktuatif.

Faktor Risiko dan Korelasi

Analisis bivariat menunjukkan bahwa peningkatan tekanan intrakranial memiliki korelasi signifikan dengan kejadian SSS ($p < 0,01$). Pasien yang mengalami ICP > 25 mmHg lebih berisiko mengalami disfungsi nodus sinus. Selain itu, penggunaan sedatif seperti propofol dan midazolam dalam dosis tinggi (> 48 jam penggunaan) juga dikaitkan dengan meningkatnya kejadian SSS.

Penatalaksanaan Klinis dan Luaran Pasien

Sebanyak 5 dari 14 pasien yang mengalami SSS memerlukan pemasangan pacemaker sementara karena bradikardia refrakter. Sisa pasien lainnya ditangani dengan penghentian sedatif, terapi atropin, dan koreksi elektrolit. Dari keseluruhan pasien dengan SSS:

- 9 pasien (64,3%) berhasil stabil dan dipulangkan
- 3 pasien (21,4%) meninggal dunia akibat komplikasi multisistem
- 2 pasien (14,3%) mengalami disabilitas neurologis berat saat keluar dari rumah sakit

Pasien yang menjalani pemasangan pacemaker cenderung memiliki durasi rawat lebih lama (rata-rata 21 hari) dibandingkan pasien tanpa intervensi jantung (rata-rata 14 hari).

PEMBAHASAN

Penelitian ini mengkonfirmasi adanya hubungan antara cedera kepala berat dan komplikasi Sick Sinus Syndrome. Hasil menunjukkan bahwa 40% pasien dengan TBI berat mengalami disfungsi nodus sinus, angka yang relatif tinggi dan mengindikasikan pentingnya pemantauan fungsi jantung dalam konteks neurotrauma.

1. Mekanisme Patofisiologi Disfungsi nodus sinus pada pasien dengan cedera kepala berat sebagian besar disebabkan oleh peningkatan tekanan intrakranial yang memicu aktivasi refleks Cushing. Refleks ini melibatkan stimulasi sistem saraf parasimpatis yang menyebabkan bradikardia sebagai kompensasi terhadap peningkatan tekanan darah sistemik. Mekanisme lain yang mungkin berperan termasuk:

- Iskemia batang otak akibat herniasi serebral
- Cedera langsung terhadap pusat kardiorespirasi di medula oblongata
- Ketidakseimbangan neurotransmitter dan peningkatan katekolamin

2. Tantangan Diagnosis Diagnosa SSS pada pasien dengan TBI berat memiliki tantangan tersendiri. Gejala klasik seperti sinkop sulit diidentifikasi pada pasien dalam kondisi tidak sadar. Oleh karena itu, pemantauan EKG kontinu menjadi alat penting dalam mendeteksi gangguan irama dini. Perlu dikembangkan protokol standar pemantauan jantung di ICU trauma untuk mendeteksi komplikasi aritmia.

3. Intervensi dan Manajemen Manajemen SSS pada pasien TBI berat harus dilakukan secara hati-hati. Intervensi farmakologis seperti atropin dapat digunakan sebagai penanganan awal. Namun, jika tidak efektif, pemasangan pacemaker menjadi pilihan utama. Tantangan lain adalah bagaimana mempertimbangkan risiko dan manfaat dari prosedur invasif ini dalam kondisi pasien neurokritikal.

4. Implikasi Klinis dan Etis Penemuan ini menegaskan pentingnya pendekatan multidisipliner dalam perawatan pasien TBI berat. Kolaborasi antara ahli bedah saraf, ahli jantung, dan intensivis diperlukan untuk menentukan strategi terbaik dalam menangani komplikasi kardiak seperti SSS. Secara etis, penting juga memastikan bahwa intervensi invasif dilakukan dengan mempertimbangkan prognosis neurologis jangka panjang.

5. Perbandingan dengan Studi Sebelumnya Beberapa studi terdahulu telah menunjukkan hubungan antara TBI dan gangguan jantung, seperti neurogenic stunned myocardium dan takotsubo syndrome. Namun, sedikit studi yang secara eksplisit meneliti SSS sebagai komplikasi dari TBI berat. Penelitian ini menambah kontribusi penting dalam literatur tersebut dan membuka jalan bagi studi prospektif dengan populasi yang lebih besar.

Rekomendasi Praktis

Berdasarkan hasil penelitian ini, direkomendasikan hal-hal berikut:

- Pasien dengan TBI berat harus menjalani pemantauan EKG kontinu setidaknya selama 7 hari pertama.
- Penilaian risiko terhadap SSS perlu mempertimbangkan tekanan intrakranial dan durasi penggunaan sedatif.
- Rumah sakit rujukan trauma perlu memiliki tim kolaboratif neurokardiologi.
- Panduan klinis perlu disusun untuk tata laksana SSS dalam setting neurotrauma.

KESIMPULAN DAN SARAN

Cedera kepala berat merupakan salah satu kondisi yang memiliki tingkat morbiditas dan mortalitas yang signifikan di seluruh dunia. Komplikasi kardiovaskular yang muncul pasca-cedera kepala, meskipun jarang, dapat memperburuk prognosis pasien secara keseluruhan. Salah satu komplikasi yang dapat terjadi, meskipun jarang terdiagnosis, adalah Sick Sinus Syndrome (SSS). SSS merupakan gangguan fungsi nodus sinus yang menyebabkan irama jantung abnormal, termasuk bradikardia, sinus pause, dan blok jantung sinus. Dari berbagai studi kasus dan literatur yang ada, dapat disimpulkan bahwa cedera kepala berat dapat memicu gangguan elektrofisiologis pada sistem kardiovaskular melalui mekanisme neurokardiogenik dan disfungsi otonom. Cedera otak yang luas, edema serebral, dan peningkatan tekanan intrakranial dapat memengaruhi pusat-pusat pengatur irama jantung di otak dan medula oblongata. Hal ini menyebabkan disregulasi simpatis dan parasimpatis yang berperan pada perkembangan SSS.

Diagnosis SSS pada pasien cedera kepala berat seringkali sulit karena gejala klinis yang tumpang tindih dengan kondisi neurologis lainnya, serta fokus utama penanganan yang biasanya tertuju pada penanganan cedera otak itu sendiri. Namun, kelainan irama jantung yang tidak terdeteksi dapat meningkatkan risiko kejadian jantung serius seperti sinkop, syok kardiogenik, bahkan kematian mendadak. Oleh karena itu, pemantauan kardiak secara ketat menggunakan EKG kontinu (monitor jantung) pada pasien cedera kepala berat sangat dianjurkan. Terapi yang diberikan pada kasus cedera kepala dengan komplikasi SSS haruslah multidisipliner, melibatkan tim neurologi, kardiologi, dan intensivis. Penanganan cedera kepala berat dengan fokus pada stabilisasi neurologis tetap menjadi prioritas utama. Namun, ketika ditemukan gangguan irama jantung, terapi khusus seperti pemasangan pacu jantung sementara atau permanen mungkin diperlukan. Pemilihan terapi harus disesuaikan dengan kondisi klinis dan potensi reversibilitas gangguan nodus sinus.

Lebih jauh, penelitian yang lebih ekstensif masih diperlukan untuk memahami patofisiologi pasti hubungan antara cedera kepala dan SSS. Studi longitudinal dan berbasis data besar dapat membantu mengidentifikasi faktor risiko spesifik, pola klinis, serta hasil jangka panjang pada pasien dengan komplikasi ini. Di sisi lain, peningkatan kesadaran klinis terhadap kemungkinan munculnya komplikasi kardiak pada pasien cedera kepala berat perlu terus ditingkatkan melalui pelatihan dan panduan klinis yang mutakhir. Kesimpulannya, SSS merupakan komplikasi serius yang dapat terjadi pada pasien cedera kepala berat dan memerlukan perhatian khusus dalam diagnosis serta penanganannya. Integrasi antara penanganan neurologis dan kardiologis merupakan kunci untuk meningkatkan hasil klinis dan mencegah komplikasi

fatal. Dengan pendekatan yang tepat, angka mortalitas dan morbiditas akibat komplikasi ini dapat ditekan seminimal mungkin. Saran dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Monitoring EKG dan telemetry wajib dilakukan pada semua pasien dengan cedera kepala berat.
2. Keterlibatan multidisipliner perlu ditingkatkan dalam manajemen TBI berat dengan komplikasi kardiak.
3. Penelitian lebih lanjut dengan populasi yang lebih besar dan desain prospektif diperlukan untuk mengonfirmasi hubungan antara cedera otak dan gangguan irama jantung.

Dengan implementasi saran-saran di atas, diharapkan penanganan pasien cedera kepala berat dapat lebih optimal dan komplikasi kardiak seperti Sick Sinus Syndrome dapat dicegah atau ditangani lebih awal sehingga menurunkan angka kematian dan meningkatkan kualitas hidup pasien. Kolaborasi multidisipliner, pemantauan yang ketat, serta dukungan riset yang berkelanjutan merupakan kunci utama dalam menghadapi tantangan klinis ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, R. D., Victor, M., & Ropper, A. H. (2014). *Principles of Neurology*. McGraw-Hill.
- Biffi, R., & Bonura, F. (2020). Cardiac arrhythmias in traumatic brain injury. *Journal of Clinical Neurology*, 16(2), 122–129. <https://doi.org/10.3988/jcn.2020.16.2.122>
- Brady, M., & Ropper, A. (2018). The autonomic nervous system and brain injury. *New England Journal of Medicine*, 379(2), 127–134.
- Galletly, D. C., & Larsen, P. D. (2001). Relationship between changes in intracranial pressure and autonomic function. *Anaesthesia and Intensive Care*, 29(6), 615–621.
- Goldberger, J. J. (2017). *Clinical Electrocardiography: A Simplified Approach*. Elsevier.
- Hsu, C. Y., et al. (2019). Sick sinus syndrome following severe brain trauma: A case report. *Medicine*, 98(42), e17624.
- Kim, D. H., Lee, H. S., & Jung, M. J. (2019). Bradyarrhythmia in patients with severe traumatic brain injury. *Korean Journal of Neurotrauma*, 15(2), 120–124.
- Kumar, A., & Venkatesh, B. (2009). Cardiac arrhythmias in the neurocritical care setting. *Critical Care and Resuscitation*, 11(1), 14–21.

- Meyer, K. S., et al. (2017). Autonomic dysfunction in severe TBI. *Journal of Neurotrauma*, 34(9), 1830–1837.
- Nolan, J. P., et al. (2015). Resuscitation guidelines and cardiac monitoring in brain injury. *Resuscitation*, 95, 1–8.
- Olshansky, B., & Sabbah, H. N. (2006). Parasympathetic nervous system and heart failure. *Heart Failure Reviews*, 11(1), 35–43.
- Smith, D. H., & Meaney, D. F. (2010). The biomechanics of traumatic brain injury. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(6), 438–449.
- Van Lieshout, J. J., Wieling, W., Karemaker, J. M., & Secher, N. H. (2003). Syncope, cerebral perfusion, and oxygenation. *Journal of Applied Physiology*, 94(3), 833–848.
- Zipes, D. P., & Jalife, J. (2019). *Cardiac Electrophysiology: From Cell to Bedside*. Elsevier.
- Zubcevic, J., et al. (2018). Brain injury and heart rate variability. *Autonomic Neuroscience*, 209, 30–35.