

УДК. 612.76:616.133:33:616.831—005.1

БИОФИЗИКА

М. А. Саркисян, С. Э. Акопов, Б. Г. Балаян

Исследование биомеханических свойств среднемозговых артерий человека и их особенностей при инфаркте мозга

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Э. С. Габриеляном 29/IX 1986)

Исследование механизмов регуляции мозгового кровообращения и патогенеза его расстройств требует детального изучения закономерностей функциональной организации церебральной сосудистой сети. Целью данной работы явился сравнительный анализ биомеханических свойств сосудов в зоне инфаркта мозга и контрлатеральном полушарии и выявление параметров, наиболее чувствительных к патологическим изменениям.

Исследования проведены на сегментах среднемозговой артерии человека, полученных при аутопсии 10 умерших от инфаркта мозга в возрасте 50—65 лет, в течение 2—6 ч после смерти. Анатомически строго определенные участки среднемозговой артерии получали по общепринятой методике (^{1,2}). Продольное растяжение сосуда устанавливали по его исходной величине. Исследования биомеханических и сократительных свойств сосудистого сегмента проводили на установке, описанной Хаяши (¹). Наружный диаметр сосуда контролировался инфракрасной аппаратурой, модель 275К (ФРГ). Исходную толщину стенки сосуда определяли микрометрически, а ее изменения в процессе нагружения рассчитывали исходя из условия несжимаемости материала стенки сосуда и постоянства его длины (³).

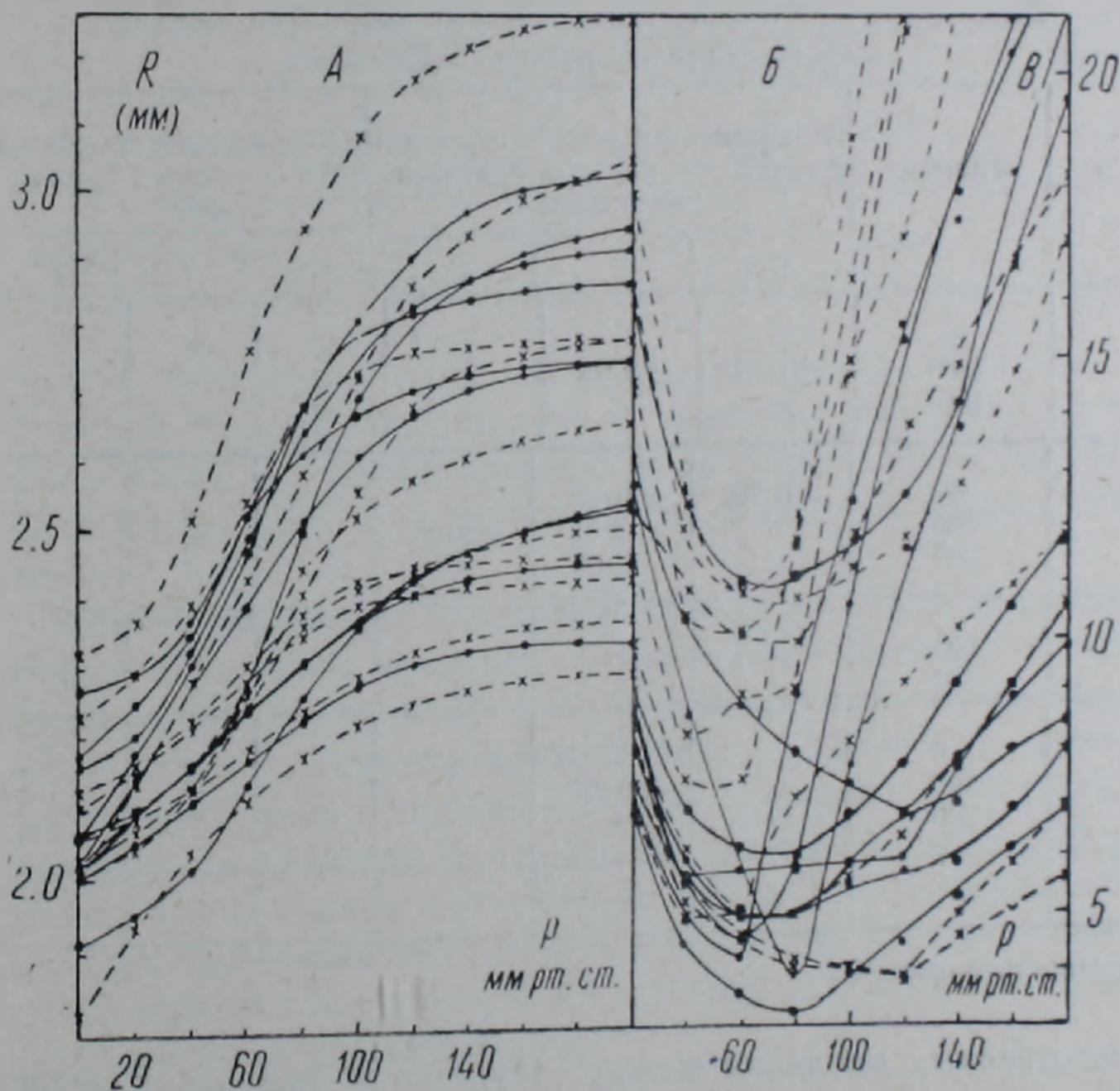
Структурная сложность исследуемого объекта, приводящая к анизотропии (⁴), а точнее, цилиндрической ортотропии (⁵), упругих свойств материала стенки и нелинейной зависимости напряжение—деформация (⁶), относительно большие деформации даже в пределах физиологических нагрузок (⁷) исключают возможность применения теории механики сплошных сред без определенных модельных допущений. Это определяет отсутствие универсального методического подхода в изучении биомеханических свойств сосуда. Нами рассчитывались следующие параметры, определяющие эластические свойства сосудов: 1) конструктивная жесткость сосуда K , определяющая его жесткость как конструкции без учета свойств материала стенки (⁸); 2) дифференциальный модуль упругости Юнга E в окружном направлении, рассчитываемый для сосуда, не меняющего длину и имеющего однородный, анизотропный, несжимаемый материал стенки (⁹); 3) плотность энергии деформации W , характеризующая накопленную в процессе деформации энергию и рассчитанная для сосуда, не меняющего длину, с однородным и изотропным материалом стенки (²); 4) параметр жесткости B , характеризующий (в отличие от модуля Юнга) кажущуюся жесткость сосуда, зависящую как от его геометрических параметров, так и от характеристик материала стенки сосуда (¹).

Исследования сосудорасширяющего эффекта простаглицина (PGI_2) (10^{-10} — $10^{-7}M$) проводили методом накопления кривых с расчетом ED_{50} (¹⁰). Данное исследование проводили при внутрисосудистом давлении $P=100$ мм рт. ст. После расчета ED_{50} оценивали относительное увеличение диаметра сосуда под действием PGI_2 в этой дозе, причем для этого исследования проводили индивидуальную оценку средней эффективной дозы для каждого из использованных препаратов среднемозговой артерии.

Статическую значимость различий между выборками определяли критерием зна-

ков (КЗ) и парным критерием Вилкоксона (Γ), принимая выборки связанными, или критерием Вилкоксона—Манна—Уитни (U), принимая их независимыми.

На рисунке показаны зависимости наружного радиуса сосудов от внутрисосудистого давления. Видно, что в поведении сосудов в области низких, средних и высоких давлений нет однозначного соответствия, что обусловлено различиями состояния их инфраструктуры, определяющими соответствующие участки кривой растяжимости (²). При этом исследованная популяция сосудов больных с цереброваскулярными заболеваниями оказалась по своим характеристикам давление—радиус весьма полиморфной, что свидетельствует о значительной вариабельности биомеханических свойств. Анализ исходных геометрических характеристик показал, что при внутрисосудистом давлении 100 мм рт. ст. наблюдается определенная группировка сосудов по их наружно-



Зависимости наружного радиуса R (А) и параметра B (Б) от внутрисосудистого давления P .—х— сосуд из зоны инфаркта мозга; — сосуд из контрлатерального полушария

му диаметру. Однако значения конструктивной жесткости сосуда и дифференциального модуля упругости в окружном направлении характеризовались значительным разбросом и отсутствием совпадений в распределениях. Это значит, что изменения биомеханических свойств сосудов могут быть связаны как с особенностями их геометрических характеристик, так и с вариациями свойств материала сосудистой стенки. Поэтому целесообразно проводить анализ изменений биомеханических свойств с использованием параметра жесткости B , отражающего как свойства материала, так и геометрические характеристики сосуда.

Исследования зависимости этого параметра от внутрисосудистого давления показали, что величина B также меняется при различных значениях P , отражая различия в поведении сосудов при низких и высоких величинах внутрисосудистого давления (рисунок, B). При этом, как видно из рисунка, по характеру этой зависимости сосуды гораздо четче подразделялись минимум на две группы, резко отличающиеся по своим биомеханическим свойствам.

С целью выявления возможной роли изменений биомеханических свойств сосудов в развитии инфаркта мозга было проведено их сравнение для отрезков среднемозговой артерии, извлеченных из зоны инфаркта мозга и из контрлатерального полушария. Из табл. 1 видно,

Таблица 1

Вероятности отсутствия различий между выборками сосудов, определяемые различными критериями

Параметр	Давление	Выборки сосудов из зоны инфаркта и контрлатерального полушария			Выборки сосудов из правого и левого полушарий		
		КЗ	T	U	КЗ	T	U
E	60	×	×	×	×	×	×
	100	<0,05	<0,01	×	×	×	×
	160	×	×	×	×	×	×
B	60	<0,05	<0,05	×	×	×	×
	100	×	<0,01	<0,05	×	×	×
	160	×	0,05	×	×	×	×
W	100	×	×	×	×	×	×
	220	×	×	×	×	×	×
R	0	×	×	×	×	×	×
	100	×	<0,05	×	×	×	×
	200	×	×	×	×	×	×
K	0	×	×	×	×	×	×

×—вероятность больше 0,05

что существенных различий между сосудами из правого и левого полушария по биомеханическим свойствам не наблюдалось. По биомеханическим свойствам сосудов из зоны инфаркта мозга и из контрлатерального полушария достоверные отличия, в основном, оказались при $P=100$ мм рт. ст., причем для параметра B они были существенней, что связано с большей широтой охвата параметром B свойств сосуда. При этом оказалось, что сосуды на стороне инфаркта характеризуются большей жесткостью, потерей эластичности, а это, как известно, является одним из факторов риска развития дисциркуляторных растройств (1).

Однако необходимо указать, что не существовало абсолютной закономерности между жесткостью сосуда и его нахождением в зоне инфаркта. В некоторых случаях сосуды из обоих полушарий были сравнимы по своим биомеханическим свойствам или даже более жестким

был сосуд в контрлатеральном полушарии. По-видимому, это связано с тем, что эти свойства являются не единственным фактором, определяющим поведение сосуда и его возможное участие в патогенезе дисциркуляции. Другим фактором такого рода может быть состояние гладкой мускулатуры сосуда, ее способность к расслаблению и развитию расширения сосуда. Анализ этих свойств показал, что на стороне инфаркта чувствительность гладкой мускулатуры сосуда к воздействию вазодилататора—простациклина ниже, чем в здоровом полушарии (табл. 2). При этом величина относительного увеличения диаметра со-

Таблица 2

Биомеханические характеристики и степень расширения сосудов под действием ПГІ₂

	ЕД ₅₀ , 10 ⁻⁹ м	В	Е × 10 ⁶ , дин/см ²	W ₁₀₀ × 10 ⁸ , дин/см ²	W ₂₀₀ × 10 ⁸ , дин/см ²	ΔД/Д
На стороне инфаркта	9,7	10,4	5,1	11,2	18,7	0,11
На контрлатеральной стороне	3,5	8,1	3,9	13,0	21,5	0,13

суда под действием ПГІ₂ в дозе ЕД₅₀ на стороне инфаркта также более низка. Анализ показал, что в некоторых случаях на стороне инфаркта сосуд с хорошей эластичностью может почти полностью утрачивать способность к расширению под действием простациклина и наоборот.

Можно заключить, что функциональное состояние среднемозговой артерии на стороне инфаркта мозга характеризуется существенными нарушениями, связанными либо с изменениями ее биомеханических свойств, либо с нарушениями функционального состояния гладкой мускулатуры, либо с сочетанием обоих факторов. Эти данные раскрывают один из механизмов нарушений мозгового кровообращения и показывают, что оценка биомеханических свойств сосуда в не меньшей мере, чем изменения его гладкой мускулатуры, может позволить выявить те причины его дисфункции, которые определяют сосудистый компонент развития дисциркуляций.

Ереванский государственный медицинский институт

Մ. Ա. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ս. Է. ՀԱԿՈՐԱՎ, Բ. Գ. ԲԱՎԱՅԱՆ

Մառդու միջին ուղեղային զարկերակների բիոմեխանիկական հատկությունների հետազոտությունը և առանձնահատկությունները ուղեղի ինֆարկտի դեպքում

Ցույց է տրված, որ ուղեղի աջ և ձախ կիսագնդերի անոթների ուսումնասիրվող հատկությունների միջև էական տարբերությունների բացակայության դեպքում տեղի ունեն ինֆարկտի օջախից վերցված անոթների բիոմեխանիկական հատկությունների որոշակի փոփոխություններ:

Ամենաստույգ փոփոխությունը ստացվել է կոշտության պարամետրի(В)

համար, որի արժեքը մեծանում է: Բայց այնուամենայնիվ առանձին դեպքերում օրինաչափությունը իրախտվում է, որն ըստ երևույթին պայմանավորված է հարթ մկանների վիճակով: Ստացված արդյունքները վկայում են, որ հարթ մկանների հետ մեկտեղ, զարկերակների բիոմեխանիկական հատկությունների փոփոխությունը զգալի դեր է կատարում արյան հոսքի խանգարումների զարգացմանը:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ K. Hayashi, S. Nagasawa, Y. Naruo e. a. Biorheology, v. 17, №3 (1980).
² A. Hudetz, Kiserl. Orvostud., v. 31, №2 (1980). ³ D. J. Patell, J. S. Janicki, Circulation Res., v. 27, №2 (1970). ⁴ W. O. Fenn, in: Tissue elasticity, Ed. by J. W. Remington, Washington, 1957. ⁵ D. J. Patell, D. L. Fry, Circulation Res., v. 24, №1 (1969). ⁶ R. N. Vaishav, J. T. Yong, J. S. Janicki e. a. Biophys. J., v. 8, №8 (1972). ⁷ J. C. Greenfield, D. J. Patel, Circulation Res., v. 10, №5 (1962). ⁸ С. М. Шендеров, А. Н. Рогоза, в кн.: Физиология человека и животных. т. 23, Изд-во ВИНТИ, М., 1979. ⁹ D. H. Bergel, J. Physiol., v. 156, №3 (1961). ¹⁰ J. M. Rossum, Arch. int. Pharmacol., v. 143, №3 (1963).