

© В.С. Бунов, Н.И. Гордиевских, 2000

Определение тенденций изменений пульсового кровенаполнения по реограммам

В.С. Бунов, Н.И. Гордиевских

Determination of tendencies to changes of pulse blood filling by rheograms

V.S. Bunov, N.I. Gordiyevskikh

Государственное учреждение науки

Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова, г. Курган (генеральный директор — заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАМН, д.м.н., профессор В.И. Шевцов)

Установлено, что изменения кровотока в задней группе мышц животных с удлинением голени, выявленные с помощью определения площади пульсовой волны под анакротой реограмм, соответствуют результатам клинических наблюдений, гистологических и радионуклидных исследований. Применение планиметрии позволило выявить не только тенденции изменений пульсового кровенаполнения, но и причины, их вызывающие. Простота вычисления интегрального показателя и его высокая зависимость от амплитудных и временных характеристик позволила избежать погрешностей, связанных с графической экстраполяцией элементов реограммы, и применять калиброванные показатели, что повысило достоверность результатов.

Ключевые слова: реография, дистракционный остеосинтез.

It is established, that blood flow changes in the posterior muscular group of animals with leg lengthening, revealed by evaluation of pulse wave area under rheogram anacrotia, conform to the results of clinical observations, histological and radionuclide studies. Planimetry use gave the possibility to reveal not only the tendencies to changes of pulse blood filling, but the causes, leading to those changes. Simplicity of calculation of integral index and its high dependence on amplitude and time characteristics allowed to avoid errors, connected with graphic extrapolation of rheogram elements, and to use calibrated indices, thereby improving reliability of results.

Keywords: rheography, distraction osteosynthesis.

Известно, что приток крови к области артериальной недостаточности осуществляется по коллатеральным сосудам, количество и расположение которых индивидуальны. Так как выявить все пути окольного кровотока практически невозможно, суждение о дефиците притока крови необходимо основывать на проводимых непосредственно в зоне недостаточности кровообращения исследованиях.

Изучение методов интегральной оценки кровообращения в органах и их участках показало, что наиболее информативным и безопасным из них является реография. В клинике для выявления тенденций изменений кровотока ограничиваются определением базового импеданса, формы, координат точек начала и максимального отклонения "характерной" пульсовой волны. По величине базового импеданса судят о кровенаполнении. На основании координат экстремальных точек вычисляют реографический индекс, реографический коэффициент и индекс периферического сопротивления, характеризующих, соответственно, максимальное кровенаполнение участка сосудистого

русла, сопротивление стенок артерий пульсовым колебаниям кровенаполнения и периферическое сопротивление току крови [5, 8].

Биофизические исследования последних десятилетий показали, что электрический импеданс биологического объекта определяют количество, состав, направление и объёмная скорость движения электролита. Ошибка измерения одной характеристики при постоянстве других составляет доли процента, поэтому реографию можно использовать для количественного и качественного анализов [11]. Удельное электрическое сопротивление крови относительно постоянно, по J. Nyboer (1962) составляет 150 Ом · см. При частоте тока от 30 до 100 кГц величину базового импеданса определяет "невозмущённый" объём крови между электродами во время диастолы сердца [8]. Дрейф изолинии связан с экскурсией грудной клетки, приводящей к медленным колебаниям импеданса не более, чем на 3%. Пульсовые изменения кровенаполнения служат причиной появления переменной составляющей, не превышающей 1% импеданса, величины которой определяют пульсовые колебания ма-

гистральных артерий изучаемого участка органа с совпадающим по направлению током крови. Зависимость сигнала от линейной скорости кровотока в 10 раз меньше, чем от изменений кровенаполнения [8, 9, 12].

Кроме указанного, на величину электрического импеданса оказывают влияние способность тканевых элементов к ионизации и поляризации, степень гидратации, объёмная скорость кровотока по сосудам, не совпадающим с осевыми артериями и так далее. В результате был сделан вывод о том, что учесть все факторы влияния на электрический импеданс невозможно и необходимо отойти от пересчёта параметров пульсовой волны в гемодинамические эквиваленты и перейти к регистрации изменений импеданса отдельных объектов в динамике [1].

На совокупные изменения амплитудных и временных параметров кровотока первым обратил внимание J. Nyboer (1959) и доказал, что площадь пульсовой волны под анакротой пропорциональна изменениям кровенаполнения в аорте в течение сердечного цикла [10]. Работая над повышением точности метода, он в 1960 году предложил методику экстраполяции элементов реограммы. W.G. Kubicek (1966) усовершенствовал методику экстраполяции до появления более высокой корреляции ($r = 0,91$) между вычисляемой и определяемой по разведению красителя величиной ударного объёма крови, вследствие чего анализ на основании данных планиметрии стали применять относительно редко [4, 6].

Однако экстраполяция элементов реограммы предложена для получения эквивалента с ударным объёмом крови, определяемым методом

разведения красителя, имеющим свою погрешность. Кроме того, построение касательной к элементам реограммы приводит к ошибкам субъективного характера. В результате Г.И. Сидоренко с соавт. (1978) пришли к выводу о том, что ошибка вычислений составляет от 8 до 16%, и предложили оригинальную методику вычисления ударного объёма крови на определении координат точек, расположенных на пульсовой кривой [6].

Проведенные в РНЦ "ВТО" имени Г.А. Илизарова экспериментальные исследования при моделировании артериальной недостаточности конечности и её компенсации с помощью дистракционного остеосинтеза показали, что изменения амплитуды и продолжительности подъёма пульсовой волны взаимосвязаны [2]. В результате был сделан вывод о необходимости применения обобщающего амплитудные и временные параметры показателя с отражением вклада составляющих. Так как расположение точек на пульсовой волне определяют в системе координат, наиболее информативным и просто вычисляемым интегральным показателем является площадь пульсовой волны, в частности, под анакротой.

Сведения о высокой степени корреляции площади пульсовой волны под анакротой с величиной объёмного кровотока ($r=0,87$) нам удалось выявить в публикациях А.Д. Валтнериса и Т.А. Волхонской [3]. Для подтверждения информативности определения планиметрических показателей были сопоставлены результаты изучения пульсового кровотока, полученные на основании вычислений координат экстремальных точек пульсовой волны и в совокупности с данными планиметрии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Изучены реовазограммы 23-х собак с длиной большеберцовой кости от 14 до 17 см. Всем животным на голень накладывали аппарат Илизарова, осуществляли поперечную остеотомию в средней трети диафиза большеберцовой кости и производили удлинение сегмента конечности в течение 28 дней методом монолокального компрессионно-дистракционного остеосинтеза. Период фиксации составлял 30 суток. Для исследований пульсового кровотока применяли игольчатые электроды, которые вводили в заднюю группу мышц голени на уровне нижнего края бугристости большеберцовой кости и на расстоянии 3-х см в области диафиза. Регистрацию осуществляли с помощью прибора "Мингограф-82" при движении ленты со скоростью 100 мм/сек. Проводили контрольные исследования до начала эксперимента, на 5 сутки после операции, через каждые 7 дней дистракции, 30 суток фиксации.

Регистрировали базовый импеданс, координаты

точек начала, максимального отклонения и окончания пульсовой волны. Площадь пульсовой волны под анакротой вычисляли с помощью построения прямоугольного треугольника и путём прямых измерений с применением цитофотометра "МОР-videoplan". Для построения прямоугольного треугольника точку максимального отклонения соединяли с началом пульсовой волны, затем опускали из неё перпендикуляр к изолинии. В рамках публикации для удобства анализа вместо длины отрезков в формулу ввели калиброванные показатели, выраженные в Омах и секундах.

Из полученных количественных данных составляли невзвешанные вариационные ряды, показатели сравнивали попарно по срокам. Данные выражали в процентах относительно контрольных значений. Анализ проводили с помощью программы "Exel 7,0". Определяли средние, их достоверность, ошибку, коэффициенты корреляции и достоверность различий показателей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ реограмм показал, что относительно гипотенузы построенного прямоугольного треугольника анакрота описывает волну, которая уменьшает площадь треугольника в нижней половине гипотенузы и увеличивает в верхней. Разница в площади периодов волны служит причиной несовпадения вычисляемой площади прямоугольного треугольника с измеряемой площадью пульсовой волны под анакротой. Для определения ошибки сравнение указанных площадей проведено без учёта калибровочного сигнала (таблица 1).

Оперативное вмешательство и дистракция в течение 7 суток служили причиной уменьшения площади пульсовой волны под анакротой до 53-65% ($p < 0,05$). К 14 суткам эксперимента площадь возросла и в конце периода наблюдений составляла 120-182%.

При сопоставлении средних различий между определяемой и вычисляемой площадями пульсовой волны под анакротой не выявлено. В абсолютных величинах разница средних по срокам не превышала 5 мм^2 , что составляло не более 6% по отношению к площади треугольника. Так как при прогнозировании результатов оперативного вмешательства и экспресс-определении тенденций изменений получаемая погрешность допустима, приходим к заключению, что в клинике возможна замена измерения площади пульсовой волны под анакротой на её вычисление с помощью построения прямоугольного треугольника.

Оперативное вмешательство и дистракция в течение 7 суток служили причиной уменьшения величины базового импеданса на 28-34% ($p < 0,05$). К 14 суткам дистракции величина показателя возросла, но до конца наблюдения оставалась меньше значений в контроле на 8 - 18 % (таблица 2). Так как величина импеданса обратно пропорциональна содержанию электролитов, следовательно, оперативное вмешательство приводило к увеличению количества жидкой среды, содержание которой уменьшалось к 14 суткам дистракции, но оставалось более высоким относительно контроля до конца эксперимента.

Изучение времени подъёма пульсовой волны в динамике показало, что оно достоверно увеличилось к 14 суткам дистракции и до конца периода наблюдений менялось в пределах 116-136% ($p < 0,05$).

Амплитуда реограмм после оперативного вмешательства уменьшилась на 59-65% ($p < 0,05$). К 14 суткам дистракции она компенсаторно возросла, но не достигла контрольных значений и до конца эксперимента была меньше на 20-32 %.

На основании изменений координат экстремальных точек пульсовой волны приходим к выводу о том, что оперативное вмешательство и начальный период дистракции служили причиной снижения пульсового кровенаполнения в сосудах задней группы мышц голени, которое не восстановилось до конца наблюдений.

Таблица 1.

Площадь пульсовой волны под анакротой реограмм

Периоды эксперимента	Срок	С помощью построения треугольника		С помощью прямых измерений		Разница	
		мм ²	%	мм ²	%	мм ²	%
До операции	-	89±5,7	100	86±5,0	100	3	3
До дистракции	-	49±9,3	55	46±8,2	53	3	6
Дистракция	7	57±8,5	65	55±6,5	64	2	5
Дистракция	14	132±6,1	148	135±6,9	157	3	2
Дистракция	21	90±8,9	101	85±5,7	99	5	6
Дистракция	28	107±6,4	120	103±6,2	120	4	3
Фиксация	30	152±9,1	171	157±9,8	182	5	3

Средние достоверны на уровне 95 %. Различия между вычисляемой и определяемой площадью по срокам недостоверны. Коэффициенты корреляции 0,96-0,98.

Таблица 2.

Изменения параметров пульсовой волны в динамике

Эксперимент		Базовый импеданс		Время подъёма волны		Амплитуда реограмм		Площадь под анакротой	
Название	дни	Ом	%	с	%	Ом	%	(Ом · с) ²	%
До операции	-	263±13	100	0,064±0,02	100	1,47±0,15	100	0,047±0,08	100
До дистракции	-	173±19	66	0,062±0,05	96	0,51±0,18	35	0,017±0,06	36
Дистракция	7	190±21	72	0,061±0,04	95	0,60±0,12	41	0,020±0,05	42
Дистракция	14	253±19	96	0,087±0,09	136	1,18±0,17	80	0,051±0,09	108
Дистракция	21	215±18	82	0,074±0,04	116	1,10±0,16	75	0,043±0,05	91
Дистракция	28	234±11	89	0,083±0,07	129	1,00±0,15	68	0,043±0,08	91
Фиксация	30	243±10	92	0,090±0,06	140	1,18±0,12	80	0,053±0,07	113

Средние достоверны на уровне 95 %.

Увеличение времени подъёма пульсовой волны к 14 суткам distraction свидетельствует о появлении дополнительного сопротивления пульсовым колебаниям кровенаполнения, а повышенное содержание жидкой среды указывает на наличие отёка. Следовательно, оперативное вмешательство и distractionный остеосинтез приводили к ухудшению кровоснабжения мышц удлиняемого сегмента конечности.

Анализ изменений площади пульсовой волны под анакротой обосновывает другое заключение (таблица 2). Оперативное вмешательство и distractionный остеосинтез в течение 7 суток служили причиной снижения пульсового кровенаполнения сосудов изучаемого участка мышц на 58-64 % ($p < 0,05$). К 14 суткам distraction пульсовое кровенаполнение восстановилось и в последующем менялось в диапазоне от 91 до 113% относительно начального уровня при отсутствии достоверных отличий от значений в контроле.

Различий в направленности изменений площади пульсовой волны под анакротой, определяемой на основании калиброванных и некалиброванных показателей, не выявлено (таблицы 1 и 2). Однако применение калиброванных показателей указывает на то, что произошло восстановление пульсового кровенаполнения.

Анализ изменений площади пульсовой волны под анакротой с отражением вклада составляющих позволяет более полно охарактеризо-

вать процесс. Оперативное вмешательство и начальный период distractionного остеосинтеза, по данным планиметрии, стали причиной увеличения содержания электролита в тканях на 34-28%, снижения пульсового кровенаполнения на 58-64% вследствие ограничения притока крови к изучаемому участку мышц, что подтверждается уменьшением амплитуды пульсового кровенаполнения на соответствующую величину – 59-65%.

К 14 суткам distraction пульсовое кровенаполнение сосудов восстановилось и далее не отличалось от контрольных значений. Восстановление сопровождалось уменьшением количества электролита в тканях, вероятно, из-за исчезновения послеоперационного отёка. Сохранившееся до конца периода наблюдений повышенное содержание электролита на 8-18% указывает на увеличение ёмкости сосудистого русла, вероятно, вследствие функции дополнительного количества капилляров.

Соответственно увеличению периферического сосудистого бассейна снизилось сопротивление тока крови, вследствие чего энергия пульсовой волны стала меньше расходоваться на пульсовые колебания стенок артерий. Об этом свидетельствует сочетание восстановления объёма пульсового кровенаполнения с сохранившимся снижением амплитуды колебаний на 20-32 % при увеличении продолжительности периода кровенаполнения на 16-40%.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В РНЦ "ВТО" имени академика Г.А. Илизарова при обосновании способов лечения артериальной недостаточности конечности было установлено, что результат определяет новообразование капилляров, обеспечивающих увеличение ёмкости сосудистого русла, появление новых сосудистых взаимосвязей и реваскуляризацию очагов ишемии. Положительный эффект лечения зависит от достаточности кровотока для сохранения жизнеспособности периферических отделов конечности после нанесения операционной травмы и в процессе стимулируемого образования регенерата.

Изучение реограмм в динамике показало, что заключение, сделанное на основе изменений координат экстремальных точек пульсовой волны, не согласуется с результатами наблюдений за животными и их исследований. По данным клинических наблюдений, оперированная конечность была всегда теплее контралатеральной, послеоперационный отёк исчезал к 7-10 суткам distraction. В диастазе между костными отломками, по данным гистологических исследований, прогрессировал синтез капилляров с включением их в кровообращение, что, на основании

радионуклидных исследований, сопровождалось увеличением кровенаполнения тканей и интенсификацией кровообращения [7].

Заключение, основанное на определении площади пульсовой волны под анакротой, позволило достаточно полно охарактеризовать наблюдаемые изменения. Достоверность заключения подтверждена его соответствием результатам гистологических и радионуклидных исследований. Установлено, что после операции изменения кровотока были связаны с его перераспределением, направленным на усиление кровоснабжения зоны регенерации кости. К 14 суткам distraction изменения в сосудистой системе конечности приводили к восстановлению притока крови к мягким тканям сегмента конечности.

Таким образом, суждения об изменениях пульсового кровотока на основании определения площади пульсовой волны под анакротой пришли в соответствие с результатами, полученными с помощью других методов исследований. Сопоставление планиметрических показателей с динамикой составляющих расширяет возможности анализа и позволяет раскрыть

причины наблюдаемых изменений. Простота вычисления интегрального показателя при высокой зависимости от составляющих, амплитудных и временных характеристик пульсового

кровотока позволяют рекомендовать планиметрические исследования для определения тенденций изменений пульсового кровенаполнения и отражения причин наблюдаемых изменений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астахов А.А. Физиологические основы биоимпедансного мониторинга гемодинамики в анестезиологии (с помощью системы "Кентавр") // Учебное пособие для врачей анестезиологов. В 2-х томах. - Челябинск, 1996. - Т.1. - С.19.
2. Бунов В.С. Замещение дефекта трубчатой кости по Илизарову в условиях артериальной недостаточности конечности (экспериментальное исследование): Дис... канд. мед. наук. - Пермь, 1994. - 221 с.
3. Волхонская Т.А. Применение метода реографии для оценки ударного объема сердца. - Каунас: Кардиология, 1972. - С.250-251.
4. Каевицер И.М. Реокардиография. - Большая медицинская энциклопедия: 3-е изд. - М.: Советская энциклопедия. - 1984, Т 22. - С. 191-193.
5. Козлов В.А. и др. Реография поджелудочной железы / В.А. Козлов, Л.А. Хоменко, В.П. Кондратьев. - Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 1990. - 88 с.
6. Сидоренко Г.И. и др. Реография, импедансная плетизмография / Г.И.Сидоренко, Н.Е.Савченко, Л.З.Полонецкий и др. - Минск: Беларусь. - 1978. - 159 с.
7. Системный анализ механизма костеобразования при удлинении голени по Илизарову: Отчёт о НИР (заключит.) / МЗ СССР. РНЦ "ВТО" им. Г.А. Илизарова. - Руководитель В.И.Шевцов; № ГР. 01.89.0082284; Инв. № 029.20.005743. - Курган, 1990. - 47 с.
8. Соколова И.В., Яруллин Х.Х. Информативность метода двухкомпонентного анализа реограммы // Клиническая медицина. - 1983. - № 7. - С. 94-102.
9. Фишкин В.И. и др. Регионарная гемодинамика при переломах костей / В.И. Фишкин, Львов С.Е., Удальцов В.Е.. - М.: Медицина, 1981. - 24 с.
10. Nyboer J. Electrical impedance plethysmography. - Springfield, 1959. - 164p.
11. The contribution of vessel volume change and blood resistivity change to the electrical impedance pulse / T.M. Shankar, Ravi, J. G. Webster, Shao Shu -Yong // "IEEE Trans. Biomed. Eng.". - 1985. - Vol.32, N 3. - P.192 - 198.
12. Wheeler H.B. Impedance plethysmography: theoretical and experimental basis // Noninvasive diagnostic techniques in vascular disease. - Saint Louis: C.V. Mosby Company, 1978. - P.112 - 125.

Рукопись поступила 01.12.99.

Вышли из печати



В.И. Шевцов, В.Д. Макушин, Л.М. Куфтырев

Дефекты костей нижней конечности

Курган: Зауралье, 1996. - 504 с., ил. 413, библиогр. назв. 536.
ISBN 5-87247-072-X. Тв. пер-т. Ф. 29х19,5 см.

В книге с позиций современного управляемого чрескостного остеосинтеза аппаратом Илизарова обосновывается этиопатогенез данных патологий, описывается технология остеосинтеза в зависимости от анатомо-функциональной семиотики и патологии, характеризуются возможные тактико-технические и лечебные ошибки и осложнения, способы их предупреждения и устранения, рекомендуется комплекс интенсификации лечебно-реабилитационных мероприятий.