



ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КРОВООБРАЩЕНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА МОЛОДЫХ ЛЮДЕЙ

И.Б. Исупов, А.А. Занкович, Е.Н. Кочубеева

Высокая встречаемость церебральной сосудистой патологии в развитых странах мира настоятельно требует применения новых подходов к проблеме оценки кровообращения головного мозга практически здоровых людей. Это необходимо для раннего, доклинического выявления отклонений механизмов регуляции регионарного кровотока, особенно нарушений регуляции тонуса мелких мозговых артерий сопротивления.

В связи с актуальностью проблемы уточнения нормативов мозгового кровотока в настоящих исследованиях предпринята попытка применения типологического подхода к оценке уровня церебрального кровотока. С учетом многоконтурности регуляции кровоснабжения мозга, типологическая характеристика регионарного кровотока не может быть одномерной, а должна содержать сведения как о тонусе сосудов микроциркуляторного звена, так и об общем пульсовом кровенаполнении головного мозга (церебральной волемии).

Методом тетраполярной реоэнцефалграфии в состоянии физиологического покоя обследовано двадцать шесть студентов ВГПУ, имеющих возраст $21,0 \pm 1,5$ год. С помощью автоматизированной системы сбора и анализа реографической информации (реограф Р4-02 в сочетании с микроЭВМ IBM PC AT 386) определяли следующие параметры мозгового кровообращения: максимальную скорость быстрого наполнения (МСБН, Ом/с) и среднюю скорость медленного наполнения мозговых сосудов (ССМН, Ом/с), характеризующие преимущественно тонус крупных мозговых артерий; реографический систолический индекс (РСИ, Ом), отражающий пульсовое кровенаполнение головного мозга; дикротический индекс (ДИ, %) и веноартериальное отношение (ВА, %) характеризующие тонус резистивных регионарных артерий и артериол,

уровень микроциркуляции в мозговой ткани; показатель условий оттока крови из церебрального бассейна (ВО; %) [10].

Для изучения влияний системного кровообращения на мозговой кровоток синхронно с регистрацией реоэнцефалограмм осуществлялась синхронная запись трансторакальных тетраполярных импедансных реоплетизмограмм (ТТИРПГ) по W.G. Kubicek (1966) [5]. По ТТИРПГ определяли: ударный объем крови (УОК, мл); минутный объем кровообращения (МОК, мл/мин); частоту сердечных сокращений (ЧСС, мин⁻¹); сердечный индекс СИ (мл/мин*м²); объемную скорость выброса крови левым желудочком (ОСВ, мл/с); общее периферическое сопротивление (ОПС, дин*см⁻⁵*с). Измерение артериального давления крови (АД) осуществляли по методу Н.С. Короткова. Определяли систолическое (АДС), диастолическое (АДД), пульсовое (ПД), среднее гемодинамическое давление (СГД). Статистическая обработка полученной информации, выполненная с использованием программного пакета «АРКАДА», включала в себя вычисление средних (M), ошибок выборки (m), средних квадратических отклонений (δ), корреляционный анализ. Проверка достоверности различий выборок осуществлялась с использованием t -критерия Стьюдента.

В связи со значительной индивидуальной вариабельностью пульсового кровенаполнения головного мозга были выделены три группы – типа обследованных в зависимости от уровня церебрального кровенаполнения. Критерием классификации являлся реографический систолический индекс (РСИ), по величинам которого методом сигмальных отклонений [3; 6] определены три типа церебрального кровенаполнения: гиповолемический (РСИ < 0,79 Ом), ($n = 12$); нормоволемический (РСИ = 0,79 – 0,97 Ом), ($n = 4$); гипervолемический (РСИ > 0,97 Ом), ($n = 10$).

Изучение типологических свойств мозгового кровообращения, обусловленных суммарным пульсовым кровенаполнением органа являлось первым этапом настоящей работы.

Численные значения показателей церебральной гемодинамики обследованных с различными типами церебральной волемии представлены в таблице 1.

Обследованные с нормоволемическим типом церебрального кровенаполнения имели средние значения МСБН, ССМН, РСИ, соответствующие нормативам, приводимым в литературе. Величины ДИ и ВА соответствуют нижней границе возрастной нормы. Обнаружены реографические признаки затруднений оттока крови из региона ($ВО = 42,8 \pm 7,9$ % при норме до 30 %).

По-видимому, склонность к функциональному регионарному венозному застою у лиц с данным типом обусловлена преимущественно причинами центрального генеза: для данного типа характерна склонность к тахикардии ($ЧСС = 88,5 \pm 5,1$). Величины УОК, МОК высоки (соответственно, $89,2 \pm 5,1$ мл и $7871,0 \pm 497,1$ мл/мин). ОПС невелико ($951,5 \pm 65,1$). При высокой ЧСС функциональный венозный застой может являться следствием укорочения диастолы сердечного цикла и, соответственно, периода диастолического опорожнения регионарных сосудов и, отчасти, следствием недостаточной констрикции регионарных артерий малого диаметра.

Для гиповолемического типа церебрального кровенаполнения характерны малые величины МСБН, ССМН, РСИ, которые достоверно ниже, чем в нормоволемическом типе

($p < 0,001$). Величины ДИ, ВА в гиповолемическом типе несколько выше, чем в нормоволемическом ($p > 0,05$); ВО достоверно ниже ($p < 0,04$). Таким образом, условия оттока крови из церебрального бассейна в гиповолемическом типе более благоприятны по сравнению с нормоволемическим типом, соответствуя, в целом, возрастным нормативам.

В значительной степени это обусловлено тем, что параметры системной гемодинамики в гиповолемическом типе имеют некоторые отличия от нормоволемического типа: ЧСС достоверно ниже ($p < 0,03$); УОК и МОК проявляют тенденцию к снижению ($p = 0,07$, $p = 0,06$); ОПС – тенденцию к повышению ($p = 0,07$). Параметры системного АД достоверных типологических различий не имеют.

Таким образом в гиповолемическом типе более благоприятные условия венозного оттока крови (по сравнению с нормоволемическим типом) обусловлены совместным действием центральных и органных механизмов регуляции гемодинамики: снижением хронотропной и, в меньшей степени, инотропной функции сердца, значительным повышением тонуса крупных и некоторым повышением тонуса мелких мозговых артерий – ограничением притока крови главным образом «на входе» в регион.

Гиперволемический тип церебрального кровенаполнения по сравнению с нормоволемическим имеет достоверно более высокие величины МСБН, ССМН, РСИ ($p < 0,001$). Тонус мелких артерий церебрального региона типологических различий не имеет. В гипер-

Таблица 1

Параметры кровообращения головного мозга у лиц с различными типами церебральной волемии ($M \pm m$, $n = 26$)

Тип церебральной волемии	Параметры церебрального кровообращения					
	МСБН, Ом/с	ССМН, Ом/с	РСИ, Ом	ДИ, %	ВА, %	ВО, %
Нормоволемический ($n = 4$)	$622,42 \pm 60,74$	$237,23 \pm 21,50$	$0,89 \pm 0,03$	$52,39 \pm 3,12$	$54,63 \pm 3,98$	$42,81 \pm 7,95$
Гиповолемический ($n = 12$)	$432,44 \pm 15,31$ *	$170,99 \pm 10,29$ *	$0,62 \pm 0,03$ *	$64,83 \pm 5,13$ #	$66,73 \pm 4,93$ #	$31,45 \pm 2,29$ *
Гиперволемический ($n = 10$)	$801,80 \pm 32,34$ *	$304,85 \pm 15,11$ *	$1,18 \pm 0,03$ *	$58,78 \pm 4,89$	$59,47 \pm 4,85$	$38,97 \pm 4,01$

Примечание. Знаком «*» отмечены достоверности различий с нормоволемическим типом ($p < 0,05$ и выше); знаком «#» – тенденции различий с нормоволемическим типом.

волемическом типе, как и в нормоволемическом, обнаружены признаки регионарного венозного застоя крови ($ВО = 39,0 \pm 4,0$).

Параметры системного кровообращения у обследованных с гипер- и нормоволемическим типами достоверных различий не имеют, за исключением АДП, которое в гипертоническом типе существенно выше ($p < 0,03$) и МОК, имеющий в гипертоническом типе достоверно меньшие величины ($p < 0,04$). В гипертоническом типе выявлены тенденции к снижению УОК и ЧСС, возрастанию ОПС (во всех случаях $p > 0,05$).

Таким образом, в гипертоническом типе (как и в нормоволемическом) обнаружены признаки функционального церебрального венозного застоя крови. Однако, по нашим наблюдениям, причины данного феномена здесь иные – преимущественно местные, органические: резкое снижение тонуса крупных мозговых артерий, дилатация церебральных сосудов распределения. По-видимому, даже при сравнительно малых величинах сердечного выброса и нормальных величинах ЧСС это приводит к переполнению церебрального региона кровью и формированию венозного застоя.

Исследование типов церебрального кровенаполнения позволяет уточнить характер взаимодействий системных и регионарных механизмов обеспечения притока крови в регион головного мозга, механизмов регуляции тонуса крупных органических артерий распределения, выявить ряд факторов, способствующих развитию функционального венозного

застоя крови в церебральном бассейне. Однако выявление типа мозгового кровенаполнения обследуемого не позволяет в полной мере выяснить соответствие механизмов регуляции тонуса мозговых сосудов сопротивления, сосудов микроциркуляторного звена условиям оттока крови из ткани головного мозга. Однако у обследованных выявлены значительные индивидуальные различия тонуса регионарных мелких артерий, не связанные с типом церебральной волеми.

В связи со значительной вариабельностью реографических показателей, отражающих тонус мелких мозговых артерий, условия органической микроциркуляции, на следующем этапе анализа первичной информации предпринята попытка изучения типов регионарной микроциркуляции.

Выборка обследованных ($n = 26$) была разделена на три типа в зависимости от уровня тонуса мелких резистивных артерий головного мозга. Критерием – классификатором выделения типов являлся показатель веноартериального (систолического) отношения (ВА). Методом сигмальных отклонений определены три типа церебральной микроциркуляции: гипотонический ($ВА < 57,4 \%$), ($n = 10$); нормотонический ($ВА = 57,4–66,8 \%$), ($n = 7$); гипертонический ($ВА > 66,8 \%$), ($n = 9$).

Величины показателей церебральной гемодинамики в типах микроциркуляции представлены в таблице 2.

У обследованных с нормотоническим типом церебральной микроциркуляции величины ДИ, ВА, МСБН, ССМН, РСИ соответствуют возрастным нормативам. Значения ВО

Таблица 2

Параметры кровообращения головного мозга у лиц с различными типами церебральной микроциркуляции ($M \pm m$, $n = 26$)

Тип церебральной микроциркуляции	Параметры церебрального кровообращения					
	МСБН, Ом/с	ССМН, Ом/с	РСИ, Ом	ДИ, %	ВА, %	ВО, %
Нормотонический ($n = 7$)	$583,85 \pm 75,00$	$231,15 \pm 25,97$	$0,86 \pm 0,09$	$57,90 \pm 1,39$	$61,11 \pm 1,04$	$28,02 \pm 4,09$
Гипотонический ($n = 10$)	$661,41 \pm 69,83$	$245,01 \pm 25,55$	$0,93 \pm 0,08$	$46,88 \pm 2,00 *$	$47,86 \pm 1,94 *$	$43,58 \pm 4,10 *$
Гипертонический ($n = 9$)	$555,10 \pm 50,37$	$220,12 \pm 25,80$	$0,84 \pm 0,11$	$77,91 \pm 4,09 *$	$78,62 \pm 4,08 *$	$34,05 \pm 1,42 \#$

Примечание. Знаком «*» отмечены достоверности различий с нормотоническим типом ($p < 0,05$ и выше); знаком «#» отмечены тенденции различий показателей с нормотоническим типом ($p > 0,05$).

равны $28,0 \pm 4,1$ %. Таким образом, в данном типе отсутствуют признаки регионарного венозного застоя крови.

Обследуемые с гипотоническим типом церебральной микроциркуляции, по сравнению с нормотоническим типом, имеют более низкие значения ДИ, ВА ($p < 0,001$). Одновременно с этим в гипотоническом типе величина ВО достоверно выше ($p < 0,01$), чем в нормотоническом. Таким образом, для гипотонического типа церебральной микроциркуляции характерен низкий тонус преимущественно мелких артерий головного мозга – пиальных и, по-видимому, радиальных. МСБН, ССМН, РСИ в гипотоническом типе несколько выше, однако различия показателей проявляются в виде незначительных тенденций. Можно предполагать, что регионарная гипотония в данном типе имеет селективный (избирательный) характер, обусловлена дилатацией преимущественно резистивных артерий и артериол.

Лица с гипотоническим типом имеют достоверно более высокий уровень ЧСС ($p < 0,02$), тенденцию к понижению УОК и ОПС и повышению СИ, МОК. (Повышение двух последних показателей обусловлено более высокими значениями ЧСС.) Параметры системного артериального давления выраженных типологических различий не имеют ($p > 0,05$). Следовательно, в гипотоническом типе поддержание необходимого для нормальной жизнедеятельности уровня системного АД осуществляется преимущественно за счет хронотропной функции сердца (ЧСС). Это неблагоприятный тип регуляции кровообращения. Повышенный в покое уровень ЧСС свидетельствует о низкой экономичности сердечной деятельности. Одновременно с этим рост ЧСС способствует сокращению диастолы сердечного цикла и способствует ухудшению условий оттока крови из региона головного мозга. Местные веноартериальные эффекты, которые должны противодействовать развитию функционального застоя крови, недостаточно эффективны. В замкнутом пространстве черепной коробки генерализованное расширение артерий и артериол способствует переполнению венозных коллекторов кровью, приводя к регионарному функциональному застою крови. О последнем свидетельствует высокий уровень значений ВО –

$43,6 \pm 4,1$ % (при норме не более 30 %) в гипотоническом типе.

Гипертонический тип характеризуется наиболее высоким уровнем ДИ, ВА, которые по сравнению с нормотоническим типом достоверно выше ($p < 0,001$). МСБН, ССМН, РСИ у лиц с гипертоническим типом имеют слабую тенденцию к понижению ($p > 0,05$). Таким образом, у обследованных данной группы выявлена констрикция регионарных артерий сопротивления, в сочетании с некоторым снижением пульсового кровенаполнения головного мозга в целом, без выраженного функционального венозного застоя крови в регионе ($ВО = 34,0 \pm 1,4$ %).

Анализ системной гемодинамики позволил выявить, что в гипертоническом типе УОК имеет тенденцию к снижению. ЧСС ниже, чем в нормотоническом типе ($p = 0,07$); вследствие чего значительно ниже МОК ($p < 0,05$). Несколько повышены АДС ($p < 0,04$) и ОПС ($p < 0,02$). Следовательно, пульсовое кровенаполнение головного мозга в гипертоническом типе осуществляется в условиях сниженной насосной функции сердца и высокого сопротивления сосудов большого круга кровообращения.

Для гипертонического типа характерна тенденция к формированию системной артериальной гипертензии. По-видимому, регионарная сосудистая констрикция обусловлена необходимостью лучшей экстракции кислорода крови для обеспечения нормального метаболизма нервной ткани в условиях недостаточной насосной функции миокарда. ВО в гипертоническом типе несколько выше нормы, что свидетельствует о недостаточной эффективности веноартериальных миогенных эндотелийзависимых реакций резистивных артерий мозга.

Завершающие исследования эффективности регуляции мозгового кровообращения и взаимосвязей параметров системной и церебральной гемодинамики осуществлялись с помощью метода парных линейных корреляций.

У лиц с нормотоническим типом выявлены слабые отрицательные корреляции МСБН – ВА ($r = 0,74$), АДС – ВО ($r = 0,78$), УОК – ВО ($r = 0,80$). Это свидетельствует об эффективности механизмов противодействия функциональному регионарному венозному за-

стою крови: регуляция тонуса крупных и мелких артерий взаимно согласована; повышение системного давления и ударного объема крови сопровождается снижением ВО, иначе говоря, возможность возникновения застоя крови в церебральном бассейне вследствие причин центрального характера минимальна.

У обследованных с гипотоническим типом выявлены положительные корреляции МСБН – ВО ($r = 0,86$), ОПС – ВА ($r = 0,84$), СИ – ВО ($r = 0,88$), слабая положительная взаимосвязь МОК – ВО ($r = 0,74$). Таким образом, при повышенных МОК и СИ механизмы саморегуляции мозгового кровотока имеют малую эффективность: в условиях физиологического покоя формируется функциональный церебральный венозный застой. Дальнейшее увеличение МОК во время активной деятельности (физической или умственной) может вызвать венозную гиперемии головного мозга.

У студентов с гипертоническим типом доминируют отрицательные корреляции МОК – ВО ($r = 0,80$), СИ – ВО ($r = 0,83$), мощность левого желудочка – ВО ($r = 0,79$). Контур регуляции тонуса артерий крупного и малого диаметра автономен, не связан с контуром регуляции системной гемодинамики. Данный способ противодействия ухудшению условий оттока крови из церебрального бассейна более эффективен, чем в гипотоническом типе, поскольку при увеличении насосной функции сердца компенсирует регионарный застой крови. Однако высокий тонус сосудов микроциркуляторного звена, наблюдаемый в условиях покоя, может ограничить эффективность местных веноартериальных механизмов компенсации венозного застоя крови в случае увеличения системного АД при нагрузках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Типы церебральной волеии и типы церебральной микроциркуляции не тождественны. Тип церебральной волеии целесообразно определять у обследуемого для изучения влияний различных факторов на тонус крупных церебральных артерий, а также для выявления влияний параметров системной гемодинамики на отток крови из церебрального

бассейна в различных условиях жизнедеятельности. Данные типы являются своеобразным «промежуточным звеном» между типами системной гемодинамики, определяемыми по методике Н.И. Аринчина (1978) (сосудистый, сердечный, смешанный) [1, с. 569–570], или по способу И.К. Шхвацабая, Е.Н. Константинова, И.А. Гундарова (1981) (гипокинетический, эукинетический, гиперкинетический) [9, с. 10–13], широко известными врачам-клиницистам и физиологам-теоретикам и, собственно, типами церебральной микроциркуляции.

Важно отметить, что нормоволемический тип, являясь оптимальным в отношении регуляции тонуса крупных мозговых артерий и пульсового кровенаполнения церебрального бассейна, не представляется оптимальным в отношении риска развития регионарного венозного застоя крови. Напротив, гиповолемический тип более благоприятен в отношении риска развития венозной гиперемии мозга, но это достигается дорогой «ценой» – снижением уровня кровоснабжения органа в целом.

Типы церебральной микроциркуляции, являясь математической абстракцией, позволяют уточнить эффективность преимущественно местных, органных механизмов регуляции кровообращения головного мозга и состоятельность миогенных эффектов ограничения притока крови в регион при затруднении ее оттока. Следовательно, оба типологических подхода дополняют друг друга.

По-видимому, типы регионарного кровообращения человека отражают фундаментальное правило физиологии – правило «исходного состояния», согласно которому конечный эффект регуляции определяется тем, насколько та или иная физиологическая функция проявляется в условиях покоя: если функция повышена в покое, дальнейшая ее стимуляция не вызывает эффекта, а в некоторых случаях приводит к противоположным результатам – ее снижению. В связи с этим, определение типа регионарной микроциркуляции конкретного лица позволяет уточнить диапазон физиологических изменений тонуса резистивных сосудов головного мозга, прогнозировать вероятность негативных изменений церебральной гемодинамики при нагрузках.

ВЫВОДЫ

1. Определение типов церебральной гемодинамики необходимо осуществлять на основе принципа многоконтурности регуляции кровообращения головного мозга. Целесообразно построение двухкомпонентной модели типологических характеристик мозгового кровообращения: типологии церебрального кровенаполнения – волемии и типологии церебральной микроциркуляции.

2. Типы церебрального кровообращения отражают условия притока крови в регион, соотношение системных и местных факторов, влияющих на эластотонические свойства регионарных артерий распределения.

3. Типы церебральной микроциркуляции характеризуют тонус мелких, резистивных артерий головного мозга и позволяют исследовать эффективность миогенных веноартериальных механизмов, обеспечивающих сбалансированность притока и оттока крови в церебральном бассейне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аринчин, Н. И. Экспресс-метод интегральной оценки и классификации кровообращения в норме и патологии / Н. И. Аринчин // Доклады АН БССР. – 1978. – Т. 22, № 6.

2. Волчанский, Е. И. Корреляция уровня артериального давления и физического развития детей и подростков / Е. И. Волчанский // Вопросы охраны материнства и детства. – 1984. – № 2.

3. Гавриков, Л. К. Типологические закономерности онтогенетического развития сердечной деятельности плода и новорожденного : автореф. дис. ... д-ра мед. наук / Л. К. Гавриков. – М. : Ин-т норм. физиологии им. П.К. Анохина РАМН, 1993. – 36 с.

4. Гогин, Е. Е. Гипертоническая болезнь / Е. Е. Гогин. – М. : Изд-во Мед. центра Упр. делами Президента РФ, 1997. – 400 с.

5. Импедансная реоплетизмография / М. И. Гуревич, А. И. Соловьев, Л. П. Литовченко, Л. Б. Долман. – Киев : Наук. думка, 1982. – 176 с.

6. Исупов, И. Б. Системный анализ церебрального кровообращения человека / И. Б. Исупов. – Волгоград : Перемена, 2001. – 139 с.

7. Мchedlishvili, G. I. Функция сосудистых механизмов головного мозга / Г. И. Мchedlishvili. – Л. : Наука, 1968. – 203 с.

8. Старшов, А. М. Реография для профессионалов. Методы исследования сосудистой системы / А. М. Старшов, И. В. Смирнов. – М. : Познание, кн. пресс, 2003. – 80 с.

9. Шхвацабая, И. К. О новом подходе к пониманию гемодинамической нормы / И. К. Шхвацабая, Е. Н. Константинов, И. А. Гундаров // Кардиология. – 1981. – Т. 21, № 3.

10. Яруллин, Х. Х. Клиническая реоэнцефалография / Х. Х. Яруллин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Медицина, 1983. – 272 с.