

В физиологии часто используется пальцевая фотоплетизмография. Исследуемая фаланга пальца просвечивается обычным светом, и сигнал поступает на датчик. В результате реконструируются волны первого порядка (пульсовые) и медленные волны (рис. 5.1). Отметим, что на данном рисунке даже визуально хорошо различимы 3 временных масштаба, то есть можно выделить и проводить исследование трех характерных ритмов.

Некоторые характеристики пульсовой волны

Пульсовая кривая включает в себя две основные части (рис. 5.2):

- A_1 – подъем кривой (анакротический зубец);
- A_2 – спад кривой (дикротический зубец).

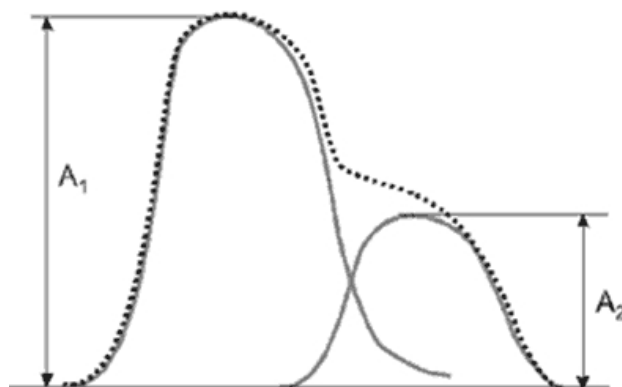


Рис. 5.2. Типичный контур пульсовой кривой.

Контур объемной пульсовой волны формируется в результате взаимодействия между левым желудочком и сосудами большого круга кровообращения. Пальцевая фотоплетизмограмма отражает слияние двух объемных пульсовых волн (зубцов).

Первый зубец образуется за счет систолической, прямой волны, имеющей амплитуду A_1 и формируемой потоком крови в систолу, передающимся напрямую от левого желудочка к пальцам верхних конечностей.

Второй зубец образуется за счет отраженной волны с амплитудой A_2 , которая возникает из-за отражения потока крови от

периферии к сердцу – передающегося по аорте и крупным магистральным артериям к нижним конечностям, и направляющегося обратно в восходящий отдел аорты и далее к пальцам верхних конечностей.

Форма пульсовой волны меняется с возрастом. Характерные изменения проиллюстрированы на рисунке 5.3.

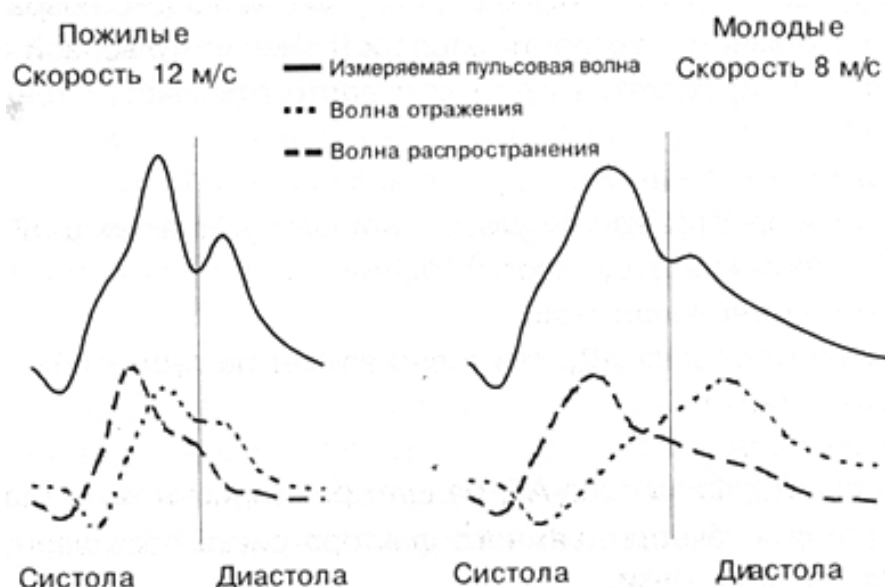


Рис. 5.3. Возрастные изменения пульсовой кривой.

Чтобы охарактеризовать контур пульсовой волны, рассматривают несколько моментов времени (рис. 5.4):

- V_1 – начало систолического периода (поток крови направляется в систолу);
- V_2 – максимальное расширение сосуда;
- V_3 – продиастолический период;
- V_4 – начало диастолы;
- V_5 – окончание диастолы, завершение сердечного цикла.

Основными количественными показателями в рамках фотоплетизмографии являются:

- амплитуда пульсовой волны;
- время наполнения (интервал между точками V_1 и V_2);
- продолжительность систолической (диастолической) фазы сердечного цикла;

- частота сердечных сокращений.

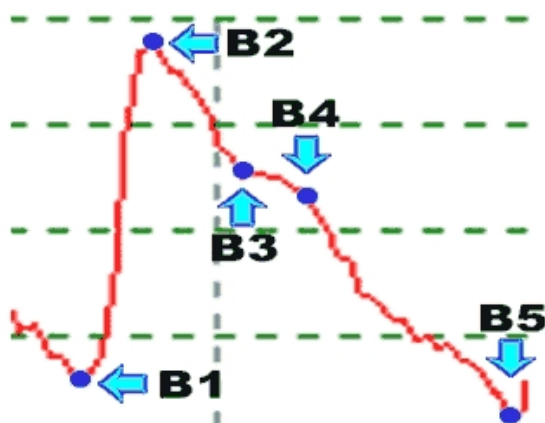


Рис. 5.4. Моменты времени, которые характеризуют форму пульсовой кривой.

В зависимости от возраста ряд характеристик пульсовой волны может изменяться. Например, частота сердечных сокращений у детей в возрасте от 1 до 3 лет составляет $120-105 \text{ мин}^{-1}$, а затем постепенно снижается, достигая к 8-10 годам $90-85 \text{ мин}^{-1}$, к 40-50 годам – $68-72 \text{ мин}^{-1}$, а далее медленно повышается к 80-90 годам до $82-85 \text{ мин}^{-1}$. Это приводит к соответствующим изменениям длительности пульсовой волны (таблица 5.1).

Возраст, лет	Длительность пульсовой волны, с.
0-1	0.43-0.50
1-3	0.50-0.57
3-5	0.57-0.60
5-8	0.60-0.67
8-10	0.67-0.70
10-20	0.70-1.00
20-30	1.00-0.92
30-30	0.92-0.88
40-50	0.88-0.83
50-60	0.83-0.75
60-70	0.75-0.71
80-90	0.73-0.70

Таблица 5.1. Зависимость длительности пульсовой волны от возраста.

Амплитуда пульсовой волны возрастает в период с 8 до 18 лет, с 19 до 30 лет стабилизируется, а после 50 лет – повышается. Для детей характерен более крутой подъем пульсовых волн. На скорость распространения пульсовой волны влияют следующие факторы:

- *Уровень артериального давления.* Чем выше артериальное давление, тем больше скорость распространения пульсовой волны.
- *Возраст.* Как видно из рисунка 5.3, скорость распространения пульсовой волны с возрастом увеличивается, при этом уменьшается длительность систолы и диастолы. У молодых людей скорость распространения пульсовой волны относительно низкая вследствие хорошей растяжимости стенок артерий. Волна отражения регистрируется только во время диастолы. С возрастом по мере снижения растяжимости артерий скорость распространения пульсовой волны увеличивается.
- *Пол.* У женщин скорость распространения пульсовой волны в верхних и нижних конечностях меньше, чем у мужчин соответствующего возраста. В аорте существенных отличий не наблюдается.
- *Дыхание.* Скорость распространения пульсовой волны несколько выше на выдохе, чем на вдохе.
- *Прием пищи.* Непосредственно после приема пищи увеличивается скорость распространения пульсовой волны в периферических артериях, тогда как в аорте отмечается тенденция к ее снижению.

Отметим, что величина пульса не зависит от времени года, но при колебаниях температуры возникают колебания периферического капиллярного кровообращения.

По форме пульсовой волны можно делать выводы о различных нарушениях нормального функционирования организма. Например, при атеросклерозе увеличивается интервал времени между точками B_1 и B_2 , вершина смещается к концу систолы (рис.

5.5а), при сахарном диабете исчезает дикротический зубец (рис. 5.5б) и т.д.

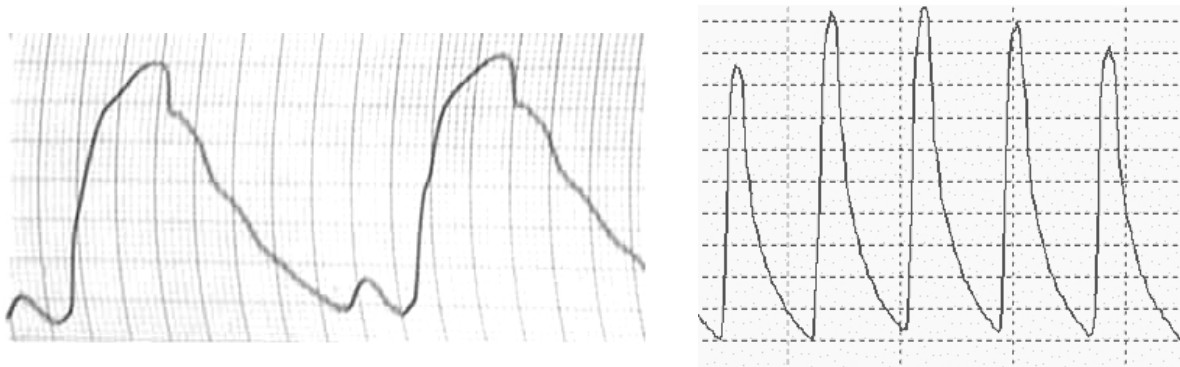


Рис. 5.5. Изменения формы пульсовой волны, свидетельствующие о различных нарушениях нормального функционирования организма.

Регистрация и анализ с помощью комплекса МР100

Измерительный комплекс МР100 содержит модуль для регистрации фотоплетизмограмм РРГ100С. Этот модуль представляет собой одноканальный усилитель, предназначенный для непосредственного измерения плотности кровеносного давления. РРГ100С используется для:

- общего определения скорости пульса;
- изучения физиологических упражнений;
- анализа кровеносного давления;
- психофизиологических исследований.

Модуль РРГ100С соединяют с фотоплетизмографическим датчиком TSD200 (рис. 5.6).



Рис. 5.6. Фотоплетизмографический датчик TSD200.

Датчик TSD200 состоит из инфракрасного излучателя (эмиттера) и фотодиода, который передает изменения в плотности кровотока (вызванные вариацией кровеносного давления) при различных положениях тела. Когда TSD200 присоединяется к коже, инфракрасный свет модулируется пульсированием крови в тканях. Модулированный, отраженный свет приводит к малым изменениям в сопротивлении фоторезистора, которое становится пропорциональным изменениям выходного напряжения.

Запись фотоплетизмограмм предполагает следующую последовательность действий:

1) Подсоединить датчик TSD200 следующим образом:

- манжета закрепляется на палец (рис. 5.6);
- красный провод → +VSUP;
- черный провод → GND;
- синий провод → INPUT.

Датчик TSD200 не требует калибровки.

- 2) Запустить программу AcqKnowledge, выбрать папку Samples, тип файлов *GTL и затем открыть файл “Q17 Plethysmography BP”. В результате появится новое окно.
- 3) Указать канал для записи аналогового сигнала, выбрав MP100 → Set Up Channels → Analog. В появившемся окне установить номер канала, например, A1 (необходимо проверить, какой канал задан на модуле PPG100C).
- 4) В том же самом окне установить Calc и выбрать Pulse Rate (для определения частоты сердечных сокращений). Заходя в Setup, можно установить требуемые параметры или оставить те, которые были заданы по умолчанию.
- 5) Задать длительность экспериментальной записи в MP100 → Set Up Acquisition. В появившемся окне также устанавливается частота дискретизации сигнала и варианты хранения данных (в оперативной памяти или запись в файл).
- 6) Нажать “Start” для начала записи данных. Для удобства визуального контроля регистрируемого сигнала предусмотрены возможности установки автоматического выбора масштаба переменных, выводимых на экран. Пример

полученной экспериментальной записи фотоплетизмограммы изображен на рисунке 5.7.

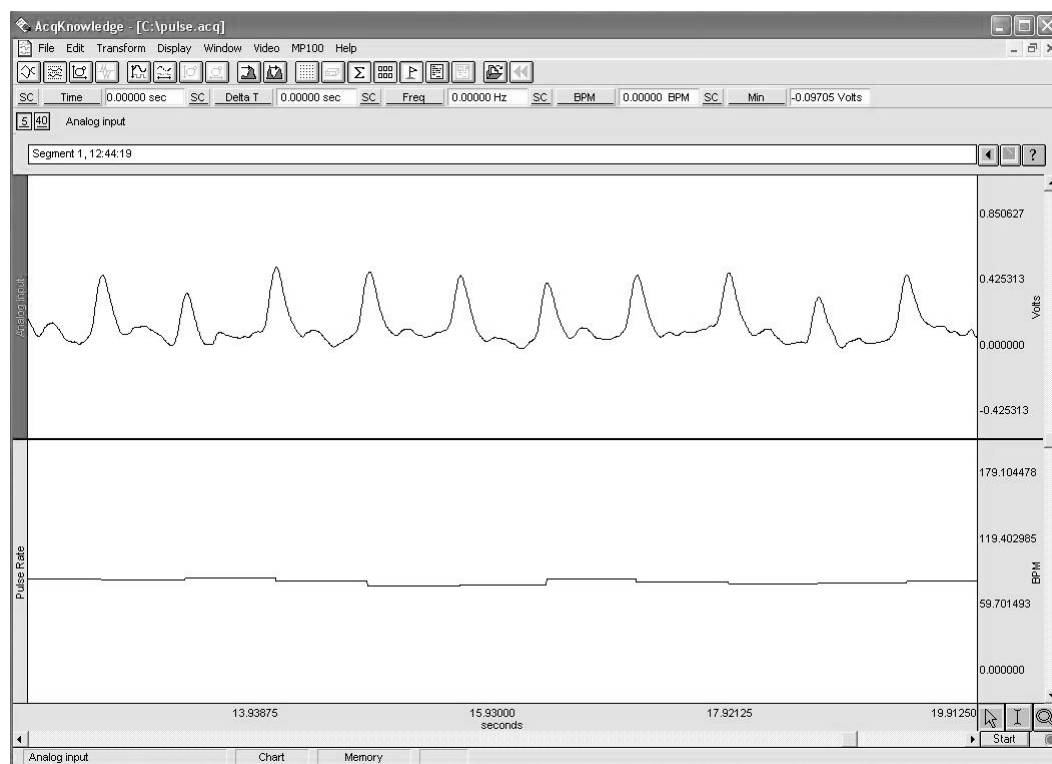


Рис. 5.7. Фрагмент записи фотоплетизмограммы и частоты пульса.

При одновременной регистрации электрокардиограммы и фотоплетизмограммы существует возможность визуально сопоставлять характерные особенности пульсовой волны с зубцами ЭКГ (рис. 5.8).

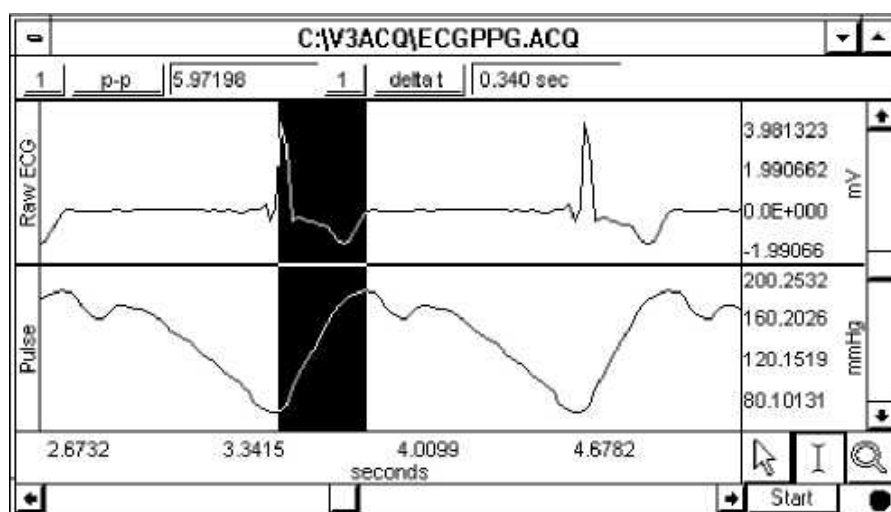


Рис. 5.8. Электрокардиограмма (верхний канал) и фотоплетизмограмма (нижний канал).

Анализ фотоплетизмограмм с помощью программы AcqKnowledge включает методы статистической обработки (по аналогии с исследованием вариабельности сердечного ритма в рамках электрокардиографии), спектрального анализа, методов нелинейной динамики. В частности, реконструкция фазового портрета по сигналу, зарегистрированному в рамках фотоплетизмографии, позволяет судить о сложности динамики (о степени “хаотичности” процесса). Пример фазового портрета представлен на рисунке 5.9.

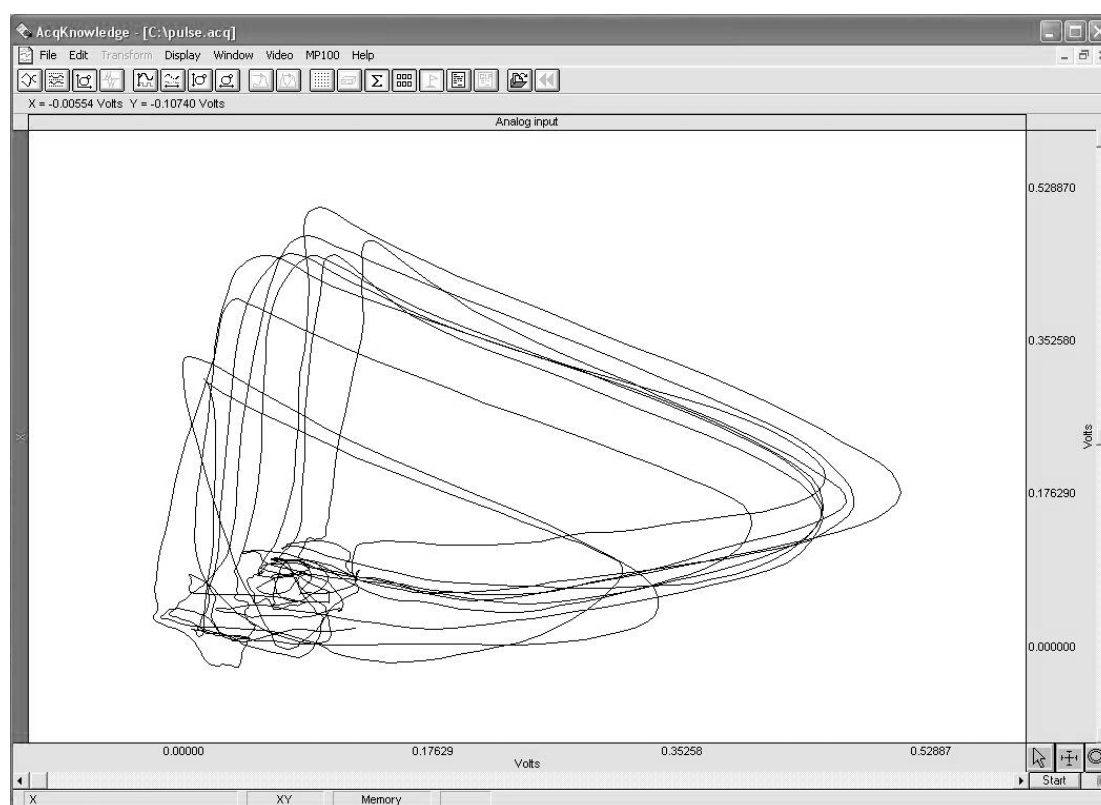


Рис. 5.9. Фазовый портрет, реконструированный по фотоплетизмограмме.

Для переключения в режим фазового портрета нужно воспользоваться кнопкой “XY Mode”, расположенной на верхней панели. На этой же панели расположены кнопки, позволяющие подстраивать масштаб по обеим осям.

Программа AcqKnowledge позволяет проводить предварительный спектральный анализ (без усреднений и использования оконных функций). Для более качественного и детального исследования структуры регистрируемых данных представляется целе-

сообразным записывать сигналы в текстовом формате и далее применять более специализированные пакеты прикладных программ.

Контрольные вопросы

- 1) Какие физиологические механизмы приводят к появлению пульсовой волны?
- 2) В результате каких процессов образуются анакротический и диакротический зубцы пульсовой волны?
- 3) Назовите количественные показатели пульса.
- 4) В каких случаях характеристики пульсовой волны могут изменяться?
- 5) Какую информацию несет форма пульсовой волны?