

Анализ ЭКГ сигнала

[Исходные данные](#)

[Валидность анализа](#)

[Работа анализатора](#)

[Методика первичного анализа ЭКГ-сигнала](#)

[Анализ R-R интервалов](#)

[Расчет ширины комплекса](#)

[Определение смещения ST-сегмента](#)

[Определение морфологии QRS-комплекса](#)

[Тестирование анализатора](#)

[Перечень детектируемых нарушений](#)

[Перечень нарушений ритма, не изменяющих морфологию QRS-комплекса](#)

[Предсердная экстрасистола \(A\) +](#)

[Предсердная групповая экстрасистола \(AG\) +](#)

[Пример парной СВЭ](#)

[Предсердная бигимения \(AB\), предсердная аллоритмия +](#)

[Синусовая брадикардия \(SBR\) +](#)

[Желудочковая тахикардия +](#)

[Выпадения QRS-комплекса \(x\), асистолия +](#)

[Суправентрикулярная тахикардия \(SVTA\) +](#)

[Трепетание предсердий \(AFL\), Фибрилляция \(мерцание\) предсердий \(AFIB\) +](#)

[Atrial escape beat +](#)

[Перечень нарушений, требующих анализа P-сегмента](#)

[Supraventricular premature beat !](#)

[Суправентрикулярная тахикардия \(SVTA\) с nodal \(junctional\) premature beat \(J\) !](#)

[2° heart block \(BII\) +](#)

[Узловой атриовентрикулярных ритм \(NOD\) !](#)

[Перечень нарушений ритма, изменяющих морфологию QRS-комплекса](#)

[Желудочковая экстрасистолия \(V\) +](#)

[Групповая желудочковая экстрасистола \(VG\) +](#)

[Полиморфная желудочковая экстрасистолия \(VP\) +](#)

[Бигимения](#)

[Тригимения \(T\) +](#)

[Fusion of ventricular and normal beat +](#)

[Aberrated atrial premature beat, R-on-T premature ventricular contraction +](#)

[Перечень неритмических нарушений, изменяющих морфологию QRS-комплекса](#)

[Удары при блокаде левой ножки Гиса \(LBB\) +](#)

[Удары при блокаде правой ножки Гиса \(RBB\) +](#)

[Синдром Вольфа-Паркинсона-Уайта +](#)

[Идиовентрикулярный ритм](#)

[Мерцание/трепетание желудочков +](#)

[Общий алгоритм анализа](#)

Исходные данные

1. ЭКГ-сигнал в трех отведениях.

Последовательность 16-битных отсчетов (65536 уровней квантования) с частотой дискретизации 250 Гц. Опорный уровень 0.17 вольт.

Первое отведение (Dorsalis).

Второе отведение (Anterior).

Третье отведение (Inferior).

Данные передаются в интерфейс оболочки через массив указателей на входные буферы, содержащие отсчёты ЭКГ (по числу используемых каналов ЭКГ).

```
ecg_shell:: i16 **in;  
:: short int **am;
```

Размер входного и выходного буфера (от 1 до 40 отсчетов).

```
ecg_shell:: i16 number_of_samples;  
:: short int nm;
```

Входной сигнал, пропущенный через цифровые фильтры сетевой помехи и нижних частот (задержка 6 отсчётов) можно получить через массив указателей на выходные буферы, содержащие (по числу используемых каналов ЭКГ).

```
ecg_shell:: i16 **out;  
:: short int **amf;
```

2. Признак отключенных электродов

Признак определяется путем подачи тока 18 нА между электродами и определения межэлектродного сопротивления. В нормальном режиме сопротивление составляет порядка 400 кОм. При отключенных электродах сопротивление > 50 МОм.

Валидность анализа

1. Признак помехи

1.1. Низкая амплитуда сигнала; (1 байт)

Сигнал появляется при размахе R-зубца от порядка 0.05 (предел срабатывания детектора R-зубца) до 0.1 мВ

1.2. Высокий уровень помех; (1 байт)

1.3. Признак наличия помехи для каждого из каналов (1 байт/отведение = 3 байта)

Сигналы появляются при выходе значений сигнала за пределы динамического диапазона АЦП, а также при превышении порога показателем относительного содержания высокочастотных составляющих в сигнале. Этот показатель вычисляется как скользящее среднее модулей отсчетов с выхода фильтра верхних частот (пропускающего сигнал в полосе выше примерно 50 Гц).

```
ecg_shell:: bool alarm_low_signal; // низкая амплитуда сигнала;  
ecg_shell:: bool alarm_big_noise; // высокий уровень помех;  
ecg_shell:: bool noise_in_channel[3]; // наличие помехи для каждого из каналов  
  
:: short int *alarm; // [2 – низкая амплитуда сигнала, 4 – высокий уровень помех]
```

На основе признаков помехи и признака отключенных электродов может работать механизм разрешения формирования ДЗС:

1. При отключении электродов происходит переоткрытие сессии со сбросом всех счетчиков и фильтров
2. При возникновении сигналов низкой амплитуды или высокого уровня помех результаты анализа не являются достоверными и должны быть игнорированы, также должна производиться блокировка формирования событий, счетчики и фильтры «замораживаются»

Работа анализатора

Входные отсчеты обрабатываются фильтром нижних частот, после чего производится поиск R-зубца. Относительно найденной точки ведется дальнейший анализ:

1. Определяется ширина комплекса
2. Определяется морфология и происходит обнаружение QRS-комплексов с нарушениями, соответствующими желудочковой экстрасистолии (ЖЭ, V).
3. Определяется опорная точка и вычисляется R-R интервал.
4. Производится поиск смещения сегмента ST.

Если в результате анализа текущего фрагмента входного сигнала обнаруживается очередной QRS-комплекс, то данные о результатах классификации формы, положении его опорной точки и границ передаются на выход подпрограммы. Если на текущий момент обнаружения QRS не происходит, эти параметры обнуляются. Анализатор формирует на выходе описание QRS-комплексов.

```
void ecg ( short **am, short **amf, short nm, short *alarm, short *artef, short *mtqrs_3, char *minut, char *mclass_2, char *marit_2, short *nqrs, unsigned char *mdiag)
```

1. Флаг присутствия QRS-комплекса (1 байт)

```
ecg_shell:: bool qrs_detected;  
:: short int *mtqrs_3[0];
```

2. Тип неопределенности

В начале записи анализатор производит накопление данных. При этом выдается сигнал «0 — недостаточно событий». Далее нормальные комплексы помечаются как «1 — норма», искаженные помечаются как «2 — удаленность от нормы и измененная ширина». Если форма комплекса долговременно меняется, возможно появление события «3 — не похож на норму, но таких комплексов много».

```
ecg_shell:: u8 qrs_type;  
:: char mclass_2[1];
```

3. Сведения о результатах распознавания отдельных нарушений ритма передаются через массив "marit_2" с задержкой на два комплекса по отношению к моменту обнаружения соответствующего QRS-комплекса. Сводка выявленных аритмий формируется раз в минуту.

- 3.1. Тип аритмии (1)

```
ecg_shell:: u8 arrhythmia;
```

```
:: char marit_2[0];
```

```
:: unsigned char *mdiag;
```

```
1 - предсердная экстрасистола;  
[0] - предсердные экстрасистолы;  
  
2 - желудочковая экстрасистола;  
[1] - желудочковые экстрасистолы;  
  
3 - ранняя желудочковая экстрасистола (R на T);  
[2] - ранние желудочковые экстрасистолы (R на T);  
  
4 - групповая желудочковая экстрасистола;  
[3] - групповые желудочковые экстрасистолы;  
[8] - парные желудочковые экстрасистолы;  
  
[9] - полиморфные желудочковые экстрасистолы;  
  
5 - желудочковая бигеминия;  
[4] - желудочковая бигеминия;  
  
6 - желудочковая тригеминия;  
[5] - желудочковая тригеминия;  
  
7 - выпадение QRS-комплекса;  
[6] - выпадения QRS-комплекса;  
[10] - эпизоды асистолии желудочков;  
  
8 - пароксизм желудочковой тахикардии;  
[7] - пароксизмы желудочковой тахикардии;  
  
[11] - пароксизмы мерцательной аритмии;
```

Методика первичного анализа ЭКГ-сигнала

Анализ R-R интервалов

1. Опорная точка QRS-комплекса

Метка времени опорной точки QRS-комплекса, не всегда совпадает с R-зубцом (отсчитывается от 1 января 1970 года) в микросекундах. 64-разрядный знаковый integer.

Для расчёта опорной точки используется сумма модулей сигналов по всем анализируемым отведениям после прохождения сигналами полосовой фильтрации (от 5 до 30 Гц). Упрощённо процедуру можно описать так:

Опорная точка рассчитывается как середина площади образовавшейся фигуры в окрестности точки срабатывания порогового обнаружителя R-зубца (использование площади позволяет обеспечить помехоустойчивость)

2. R-R интервал (2 байта)

Разница меток времени в отчетах между текущим и предыдущим значением.

Норма $\pm 10\%$ между двумя соседними интервалами

```
ecg_shell:: i16 RR_interval;  
:: short int mtqrs_3[0];
```

Расчет ширины комплекса

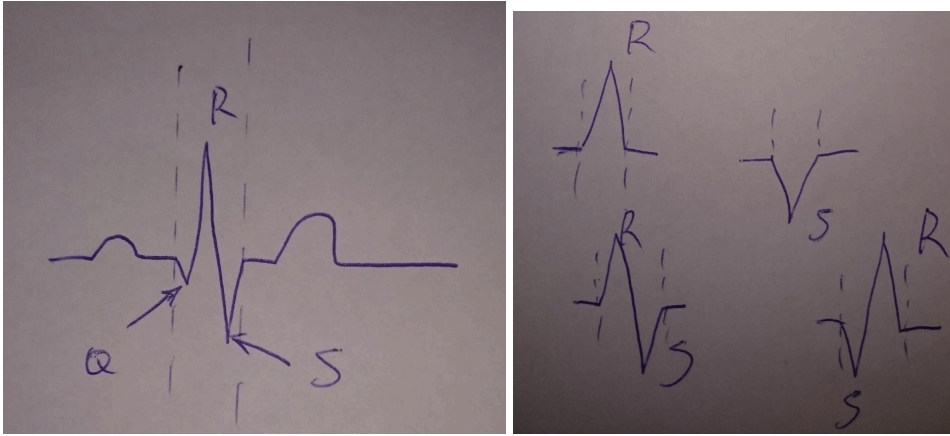
Библиотека определяет следующие показатели для каждого комплекса:

1. Интервал от начала QRS до его опорной точки (2)

2. Длительность QRS-комплекса (2)

Границы определяются путём поиска «площадок» длительностью не менее 50 мс слева и справа от найденной опорной точки.

Расстояние от начала зубца Q до конца зубца S, если есть Q и S. Если комплекс только из зубца R, то от начала до конца зубца R, если есть R и S, то от начала R до конца S.



Норма не более 100 мс у взрослых, дети 5-14 лет не более 60 — 90 мс, дети менее 5 лет — не более 80 мс. Может меняться от пациента к пациенту.

```
ecg_shell:: ???;
:: short int mtqrs_3[2];
```

3. Амплитуда R-зубца

Анализ на данный момент не производится. На основе изменения амплитуды R-зубца может происходить определение частоты дыхания.

Норма 800 — 2500 мкВ (8—25 мм) на максимальном отведении (в anterior). Может меняться от пациента к пациенту.

Определение смещения ST-сегмента

Считается по Anterior

Измеряется величина отведения относительно нулевого уровня ЭКГ, измеренная в точке, отстоящей на 40 мс от точки «J» (точки окончания зубца S ЭКГ). Выполняется только для комплексов фонового ритма («нормальных» комплексов).

Снижение не превышает 0.5 мм (50 мкВ)

Подъем 1.5 — 2 мм (150 — 200 мкВ)

Нижний и верхний предел может меняться от пациента к пациенту.

Величина смещения ST-сегмента (в мкВ)

```
ecg_shell:: i8 ST_shift[3];
:: char marit_2[2];char marit_2[3];char marit_2[4];
```

Определение морфологии QRS-комплекса

Библиотека определяет номер класса формы (группы, в которую определен комплекс в результате проведения корреляции). По порогу корреляции комплексы разделяются на группы.

```
ecgk_shell:: ???;  
:: char mclass_2[0];
```


Тестирование анализатора

В качестве тестовых записей были взяты записи библиотеки MIT BIN (mitdb arythmia database). Преимущество этих записей в том, что они снабжены верифицированными аннотациями. Все аннотации делятся на аннотации ударов и аннотации ритма. Ниже приведен список аннотаций и вариант перевода

Таблица 1.

Аннотации ударов		
· or N	Normal beat	Нормальный удар
L	Left bundle branch block beat	Удар при блокаде левой ножки Гиса
R	Right bundle branch block beat	Удар при блокаде правой ножки Гиса
A	Atrial premature beat	Предсердная экстрасистола
a	Aberrated atrial premature beat	Аберрированная (?) предсердная экстрасистола
J	Nodal (junctional) premature beat	Узловая экстрасистола
S	Supraventricular premature beat	Суправентрикулярная (эктопическая) экстрасистола
V	Premature ventricular contraction	Желудочковая экстрасистола
r	R-on-T premature ventricular contraction	Экстрасистолия R-на-T
F	Fusion of ventricular and normal beat	Слияние ЖЭ и нормального удара
[Start of ventricular flutter/fibrillation	Начало трепетания/фибрилляции желудочков
!	Ventricular flutter wave	Трепетание желудочков
]	End of ventricular flutter/fibrillation	Конец трепетания/фибрилляции желудочков
e	Atrial escape beat	Предсердное запаздывающее сокращение желудочков
j	Nodal (junctional) escape beat	Узловое запаздывающее сокращение желудочков
E	Ventricular escape beat	Желудочковое запаздывающее сокращение желудочков
/	Paced beat	Стимулированный удар
f	Fusion of paced and normal beat	Слияние стимулированного и нормального удара
x	Non-conducted P-wave (blocked APB)	Атриовентрикулярная блокада
Q	Unclassifiable beat	Неклассифицируемый удар
	Isolated QRS-like artifact	Отдельный артефакт, имеющий форму QRS
Аннотации ритма		

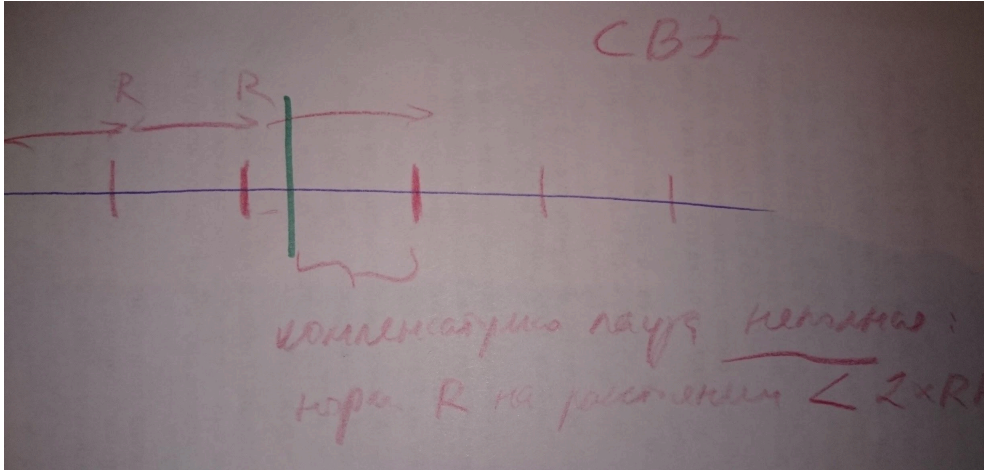
(AB	Atrial bigeminy	Предсердная бигинемия
(AFIB	Atrial fibrillation	Мерцание предсердий
(AFL	Atrial flutter	Трепетание предсердий
(B	Ventricular bigeminy	Желудочковая бигимения
(BII	2° heart block	АВ блокада
(IVR	Idioventricular rhythm	Идиовентрикулярный ритм
(N	Normal sinus rhythm	Синусовый ритм
(NOD	Nodal (A-V junctional) rhythm	АВ ритм
(P	Paced rhythm	Стимулированный ритм
(PREX	Pre-excitation (WPW)	Синдром Вольфа-Паркинсона-Уайта
(SBR	Sinus bradycardia	Синусовая брадикардия
(SVTA	Supraventricular tachyarrhythmia	Предсердная тахикардия
(T	Ventricular trigeminy	Желудочковая тригеминия
(VFL	Ventricular flutter	Трепетание желудочков
(VT	Ventricular tachycardia	Синусовая тахикардия
Прочее		
М (or MISSB)	Пропущенный удар	
Р (or PSE)	Пауза	
Т (or TS)	Проскальзывание ленты	

Перечень детектируемых нарушений

Перечень нарушений ритма, не изменяющих морфологию QRS-комплекса

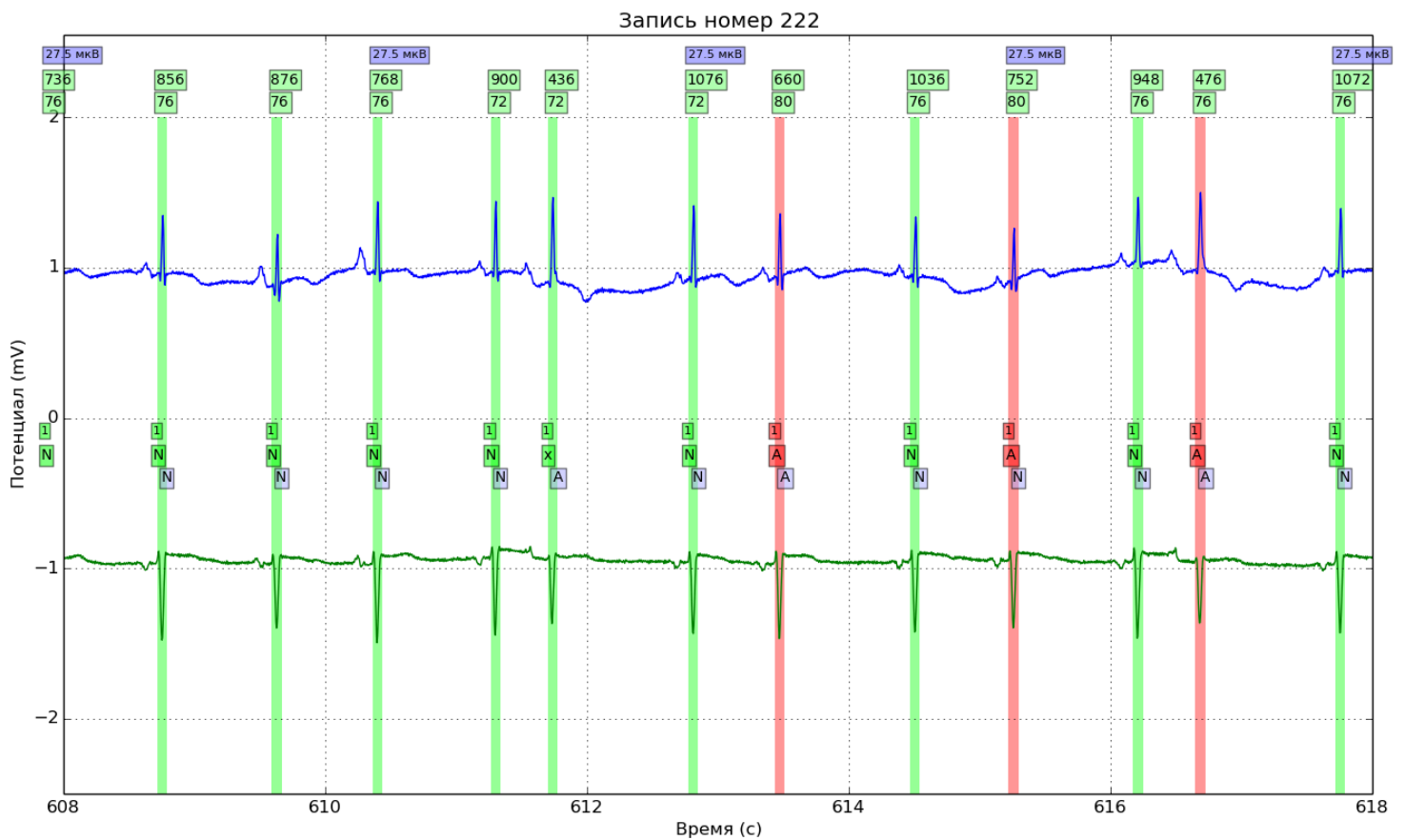
Предсердная экстрасистола (A) +

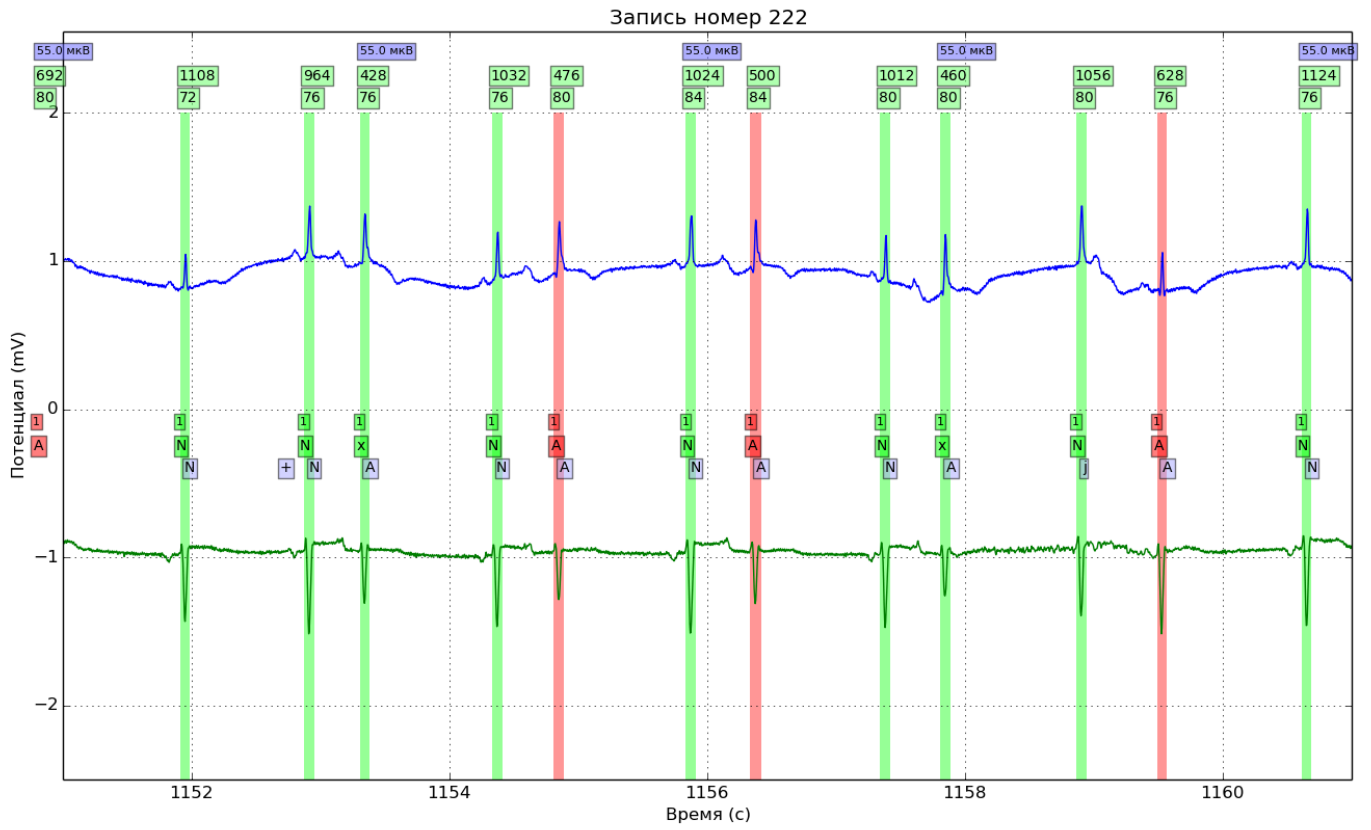
Atrial premature beat.



Все комплексы относятся к классу «норма» и на фоне более или менее равномерного ритма имеется укороченный интервал со следующей далее компенсаторной паузой.

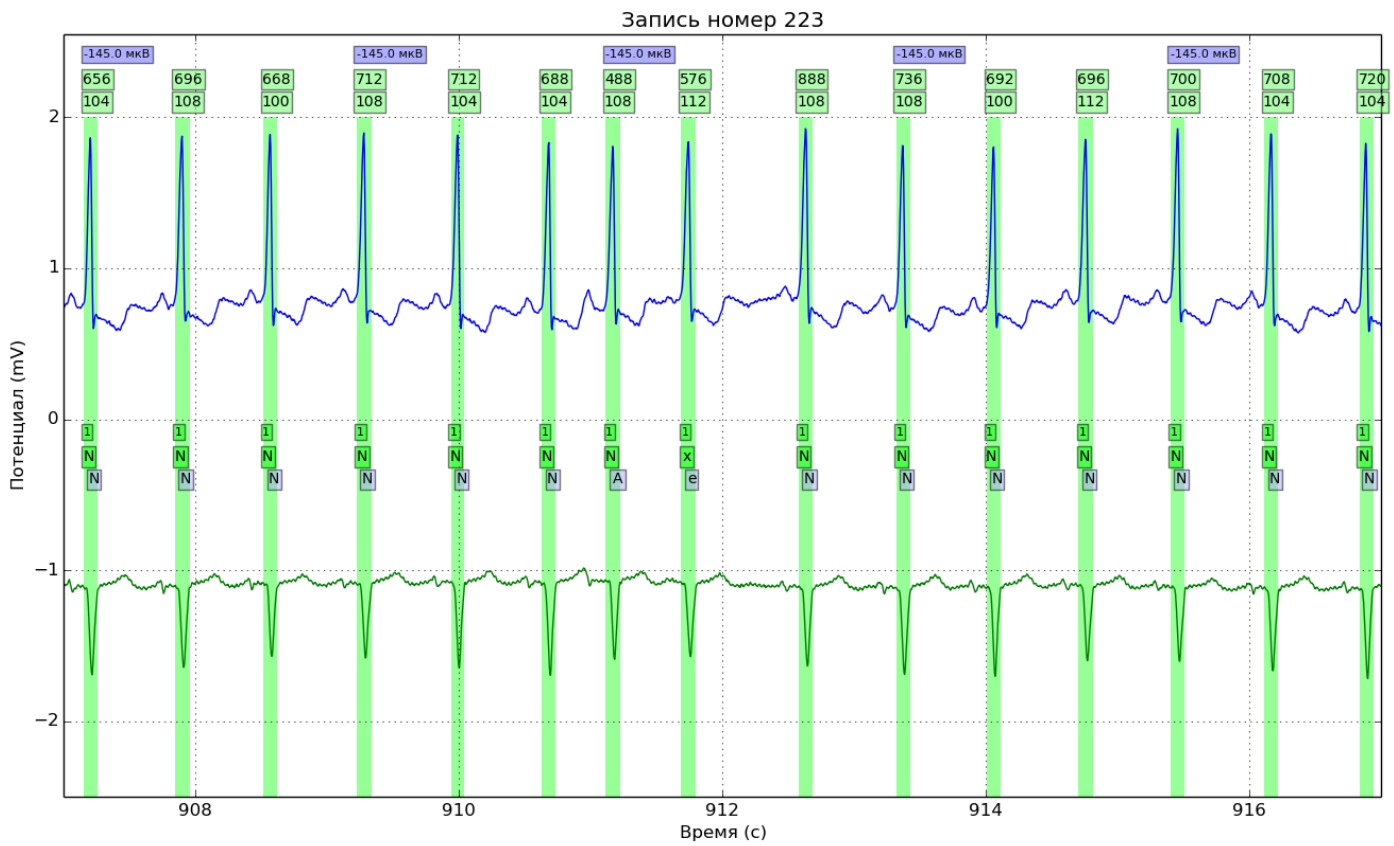
Распознаются достаточно устойчиво





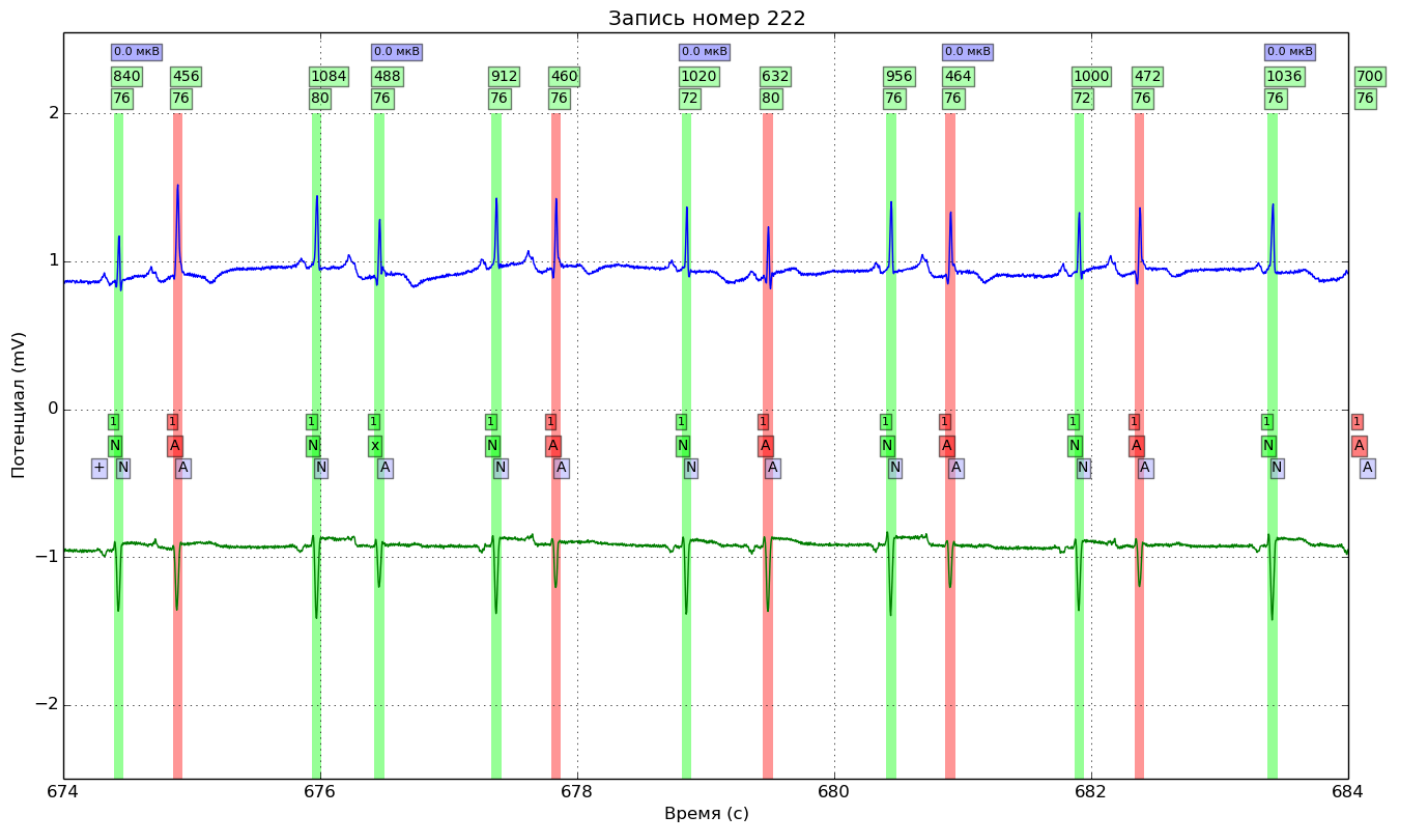
Предсердная групповая экстрасистола (AG) +

Пример парной СВЭ



Предсердная бигимения (AB), предсердная аллоритмия +

Atrial bigeminy. Каждое второе сокращение экстрасистолическое. не анализирует АВ.



Синусовая брадикардия (SBR) +

Единственная запись с SBR содержит, скорее, приступы асистолии

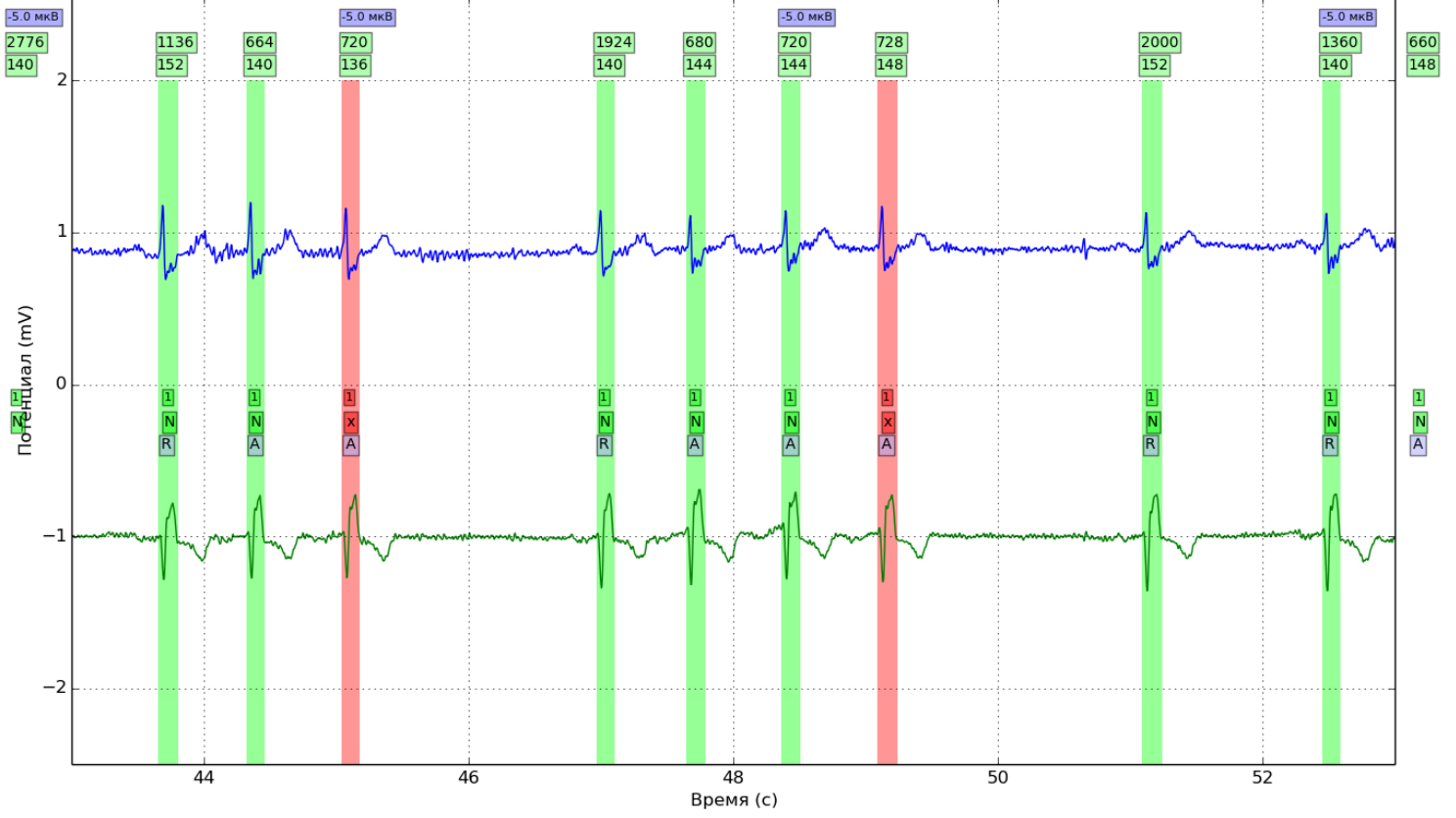
Желудочковая тахикардия +

Ventricular tachycardia

Выпадения QRS-комплекса (x), асистолия +

Выпадением считается пауза между двумя последовательными «нормальными» комплексами длительностью примерно от 1,5 до 2,5 от текущего среднего значения RR-интервалов.

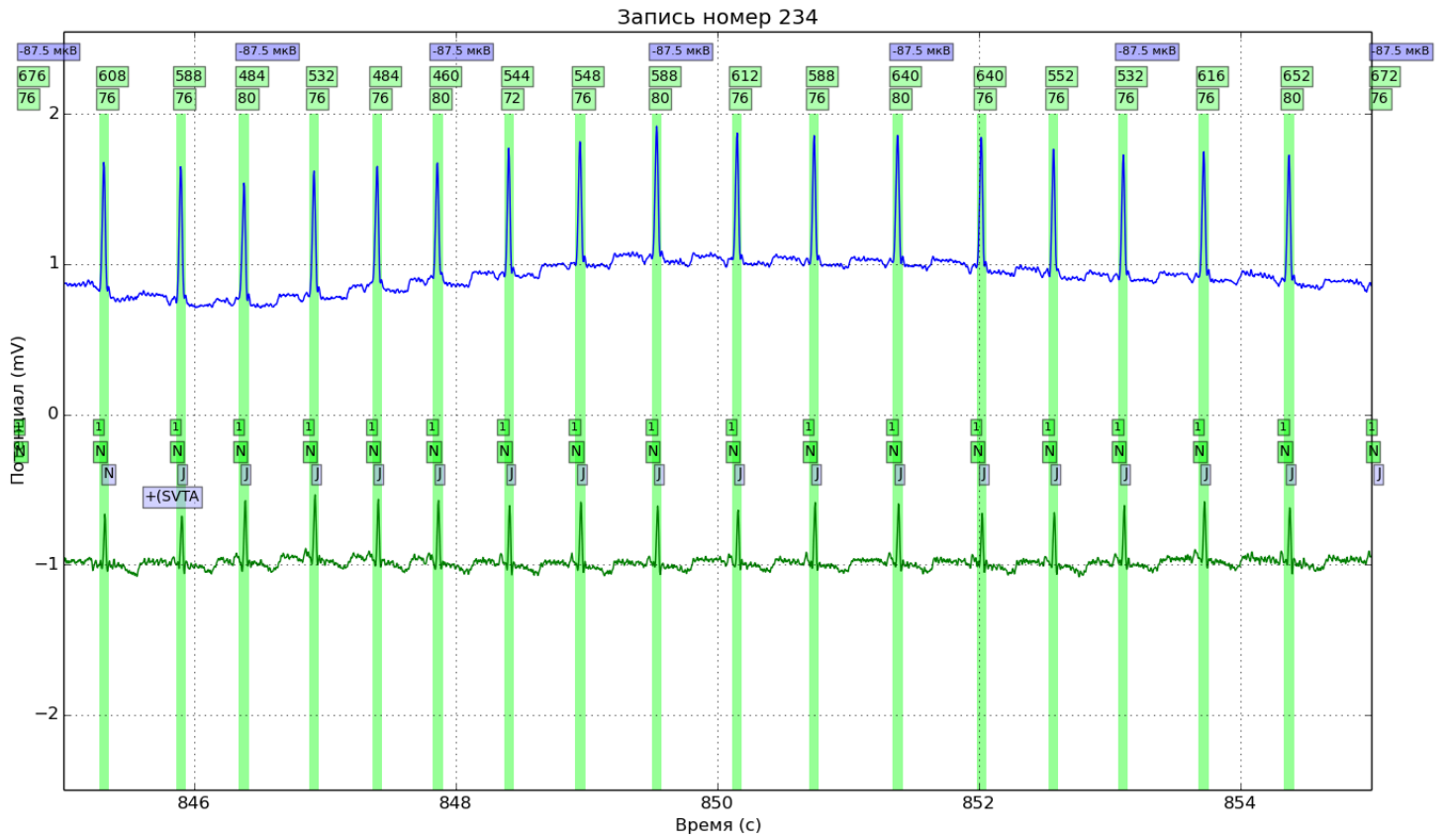
Запись номер 232



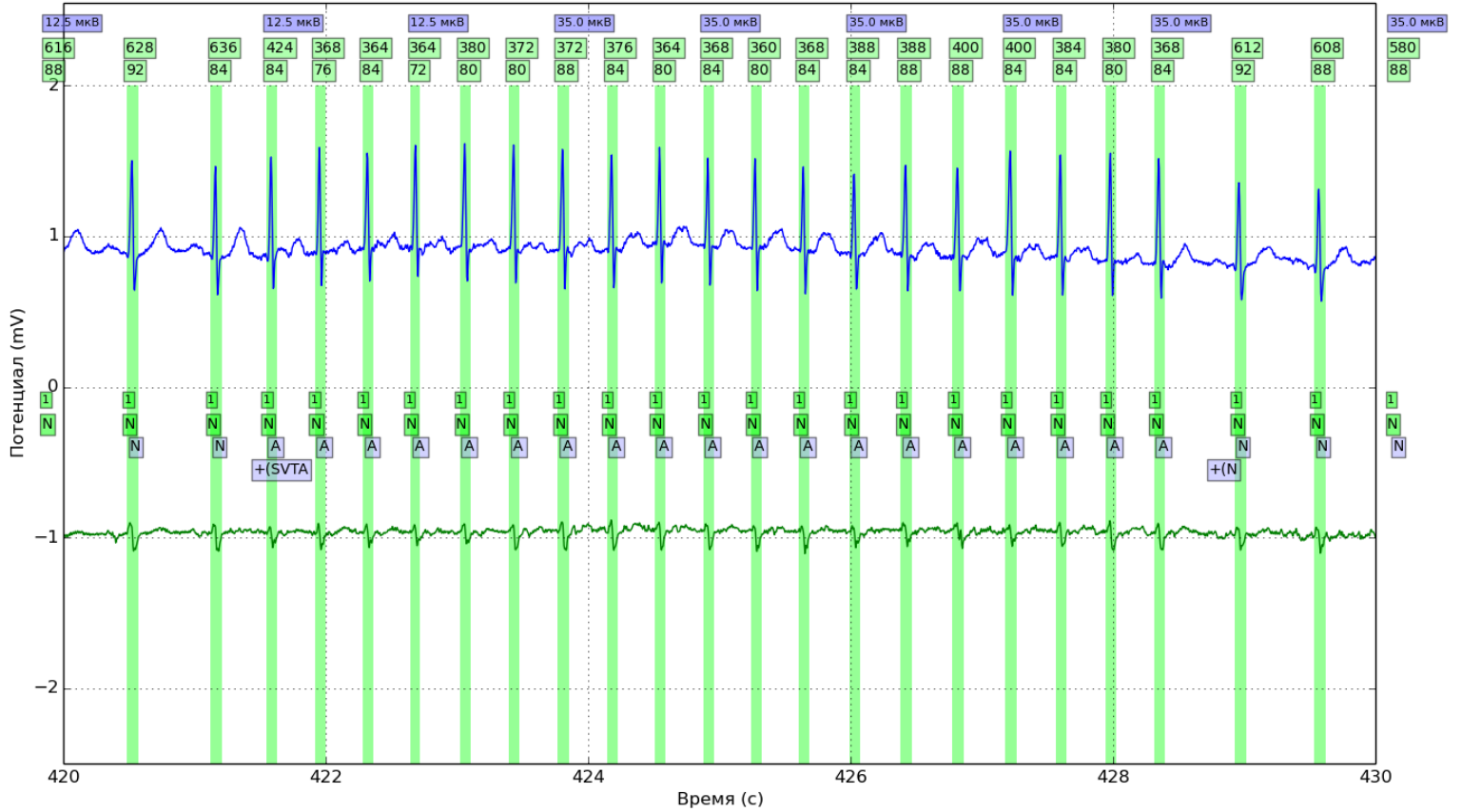
Суправентрикулярная тахикардия (SVTA) +

Supraventricular tachyarrhythmia. Распознается как последовательность нормальных комплексов с повышенной ЧСС (до 140 уд/мин). Узловые экстрасистолы (**nodal (junctional) premature beat (J)**) не детектируются.

Распознавать по порогу ЧСС



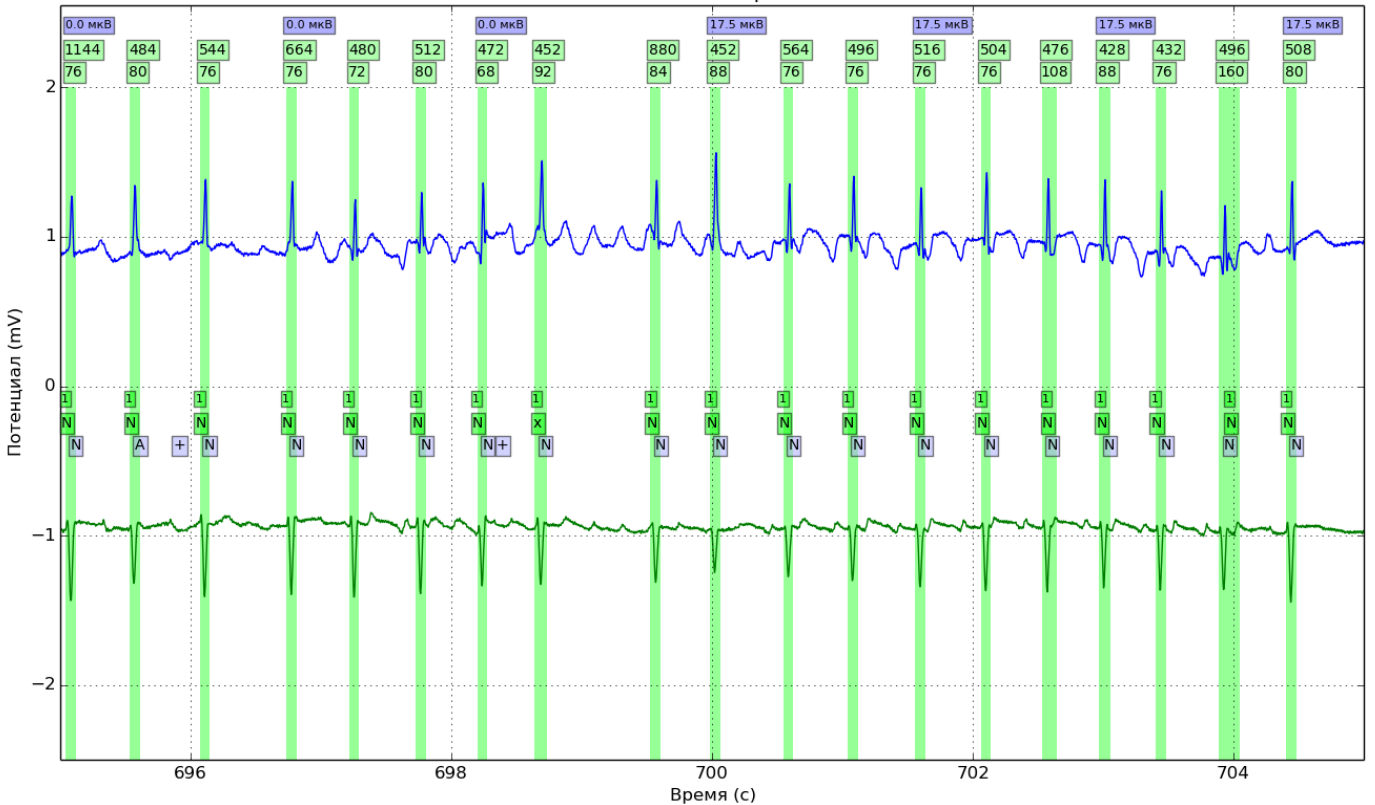
Запись номер 209



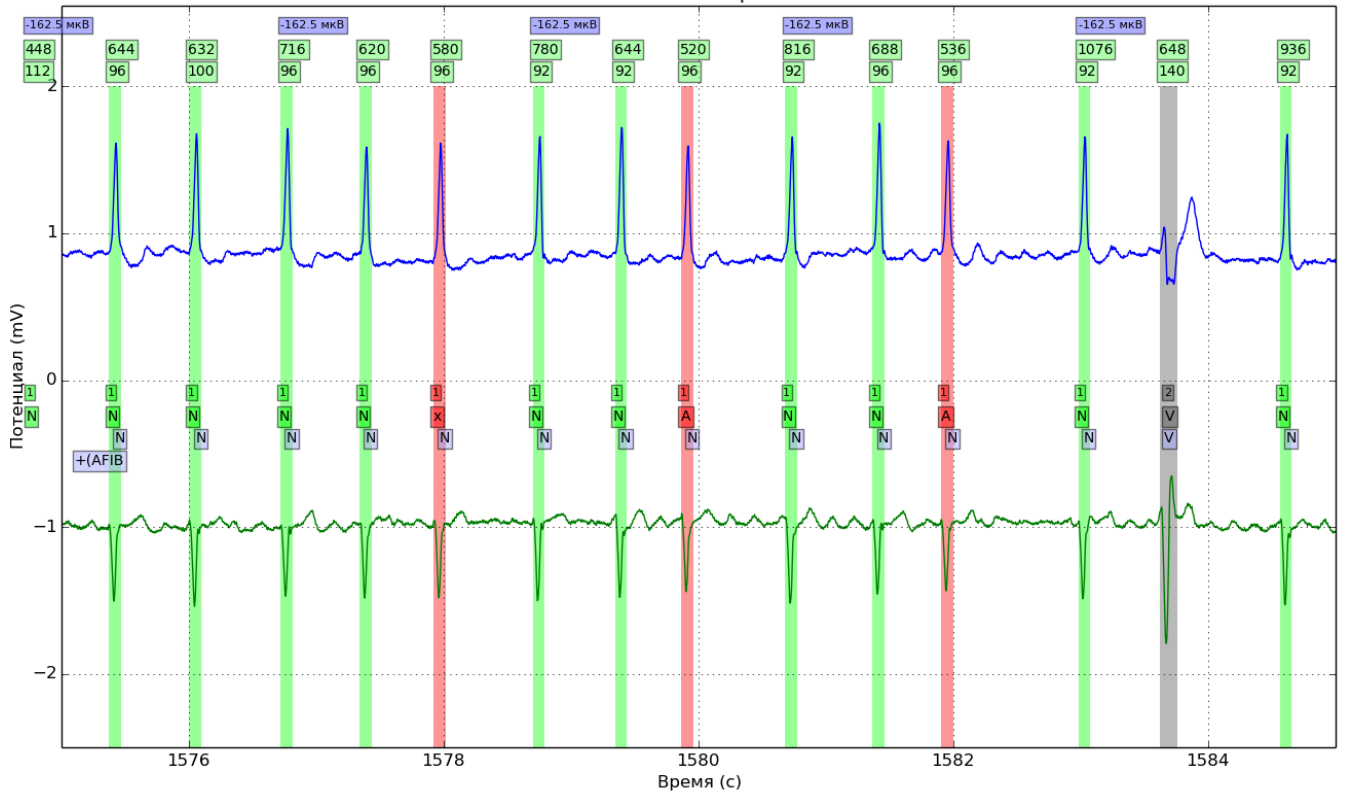
Трепетание предсердий (AFL), Фибрилляция (мерцание) предсердий (AFIB) +

Atrial flutter, Atrial fibrillation. Наблюдается сильная дисперсия R-R интервалов, детектируются выпадения комплексов и СВЭ. ЧСС повышенный (140 уд/мин). При AFIB наблюдаются F-волны, при AFL высокочастотные низкоамплитудные волны.

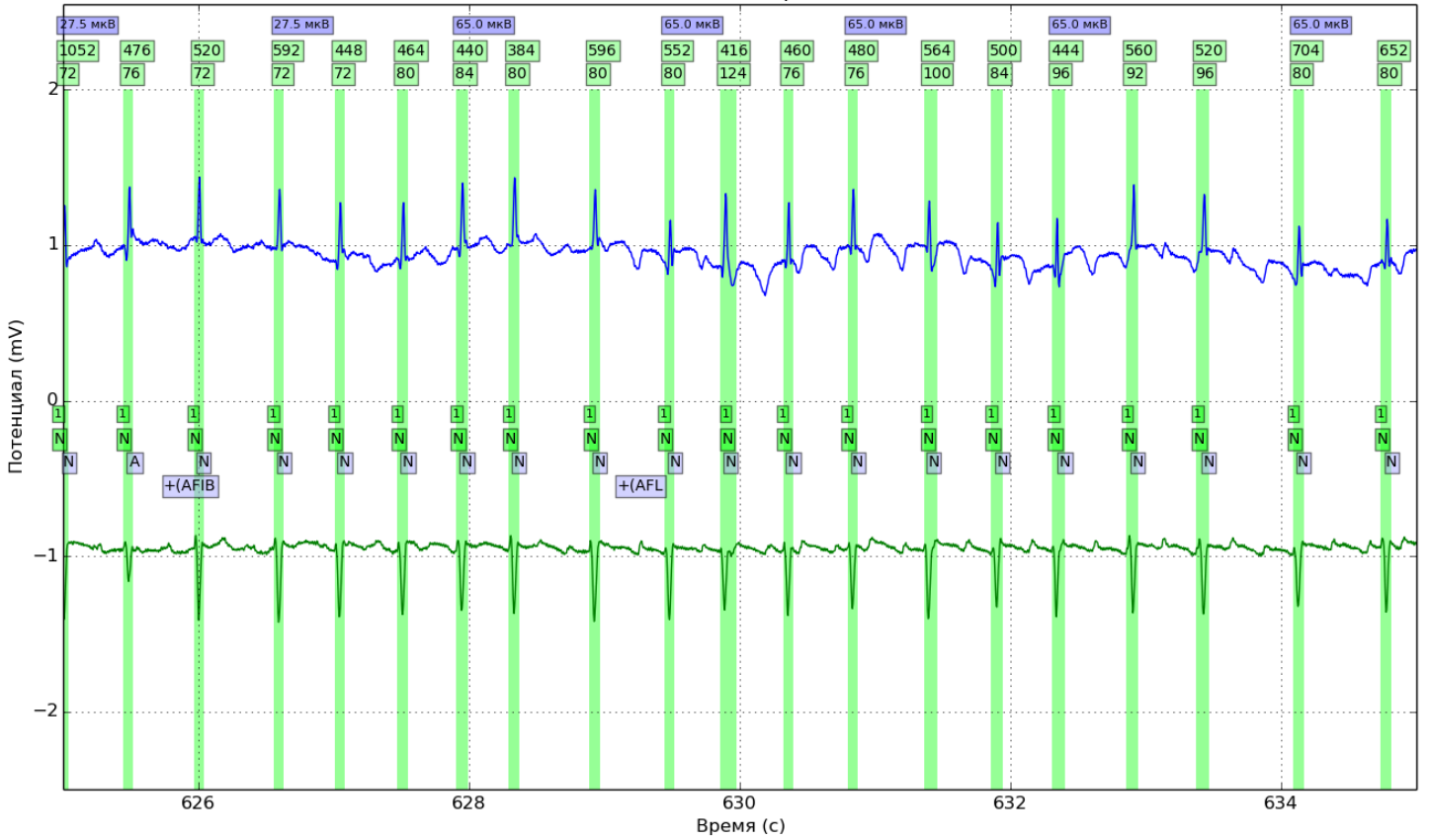
Запись номер 222



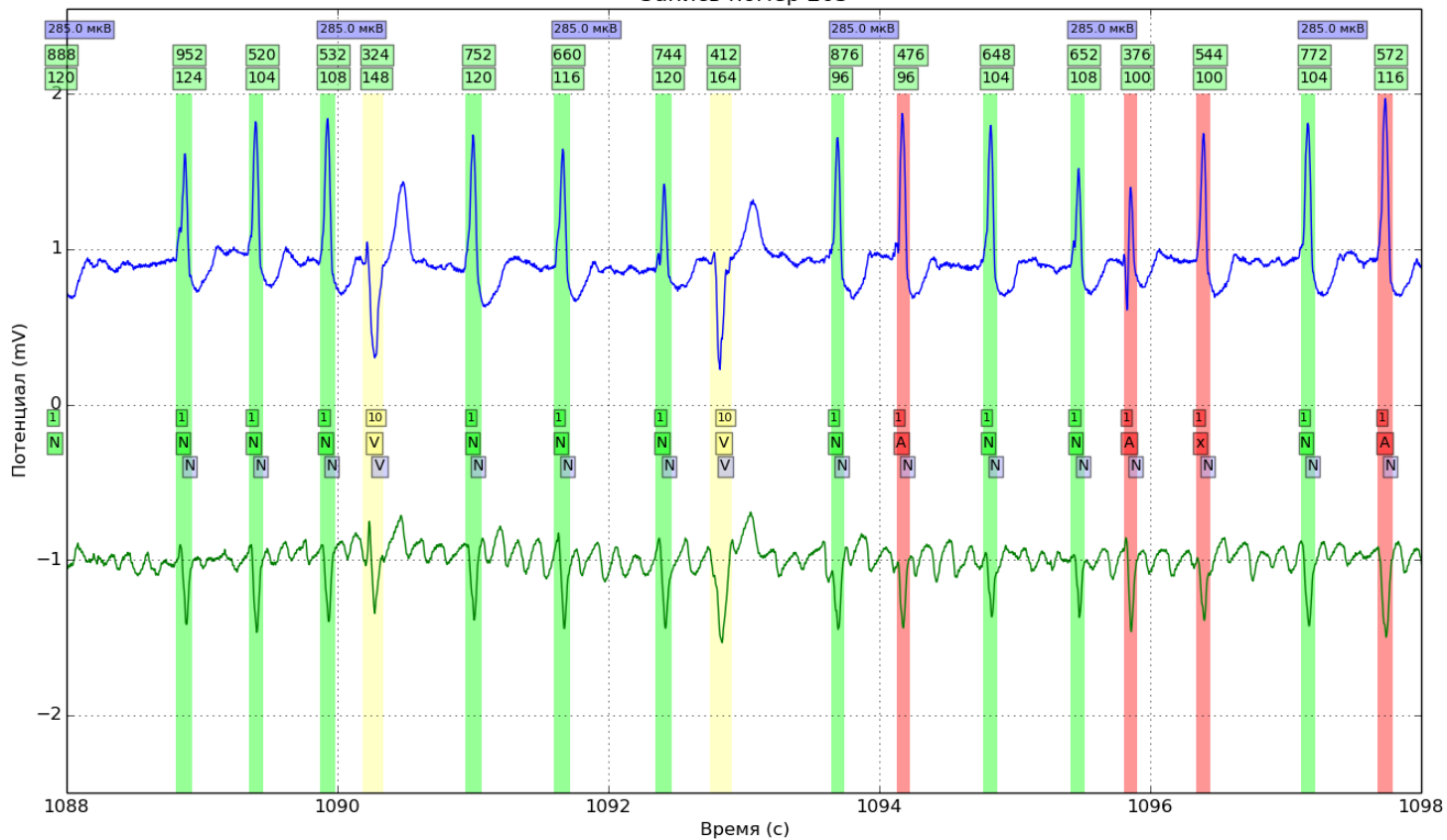
Запись номер 202



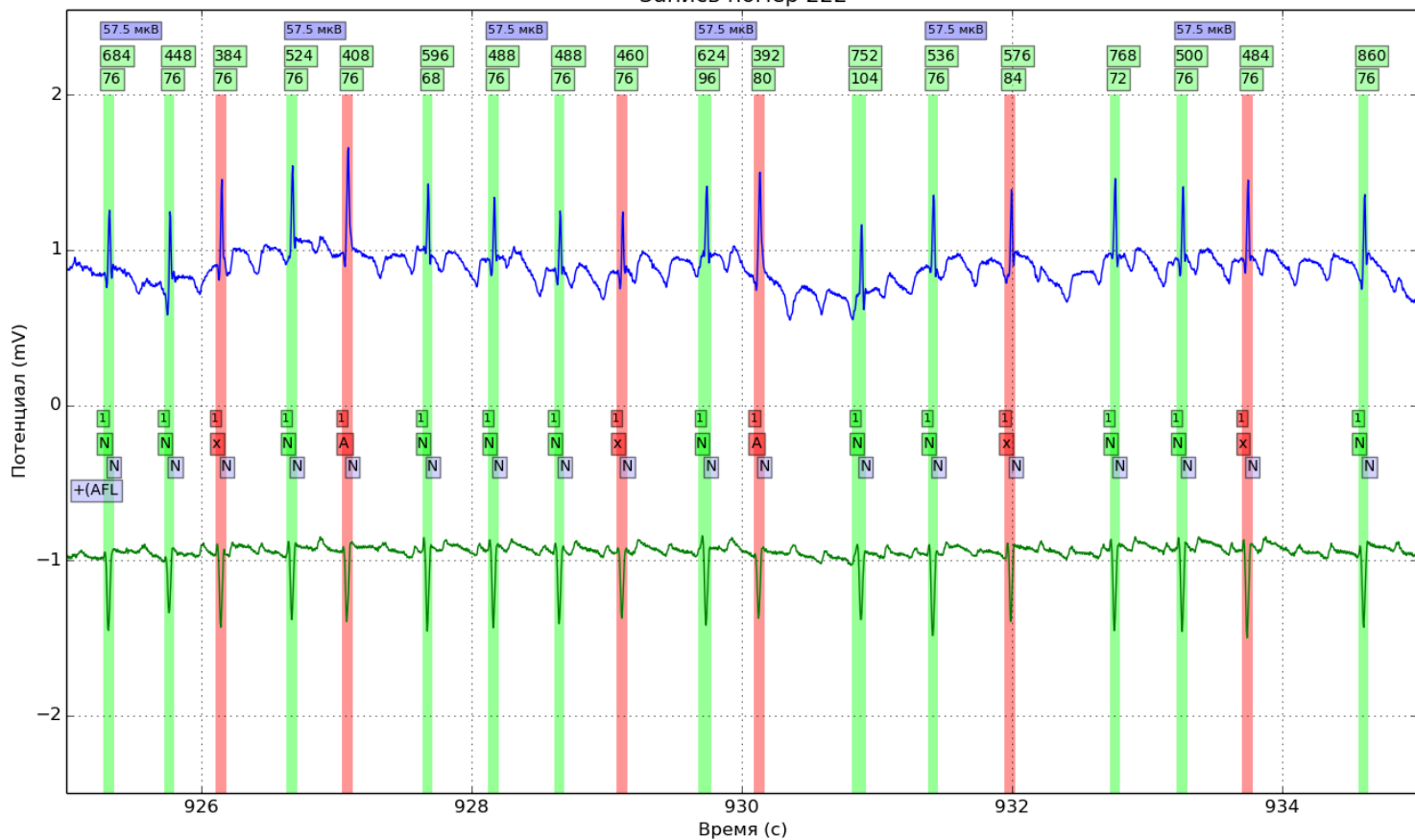
Запись номер 222



Запись номер 203

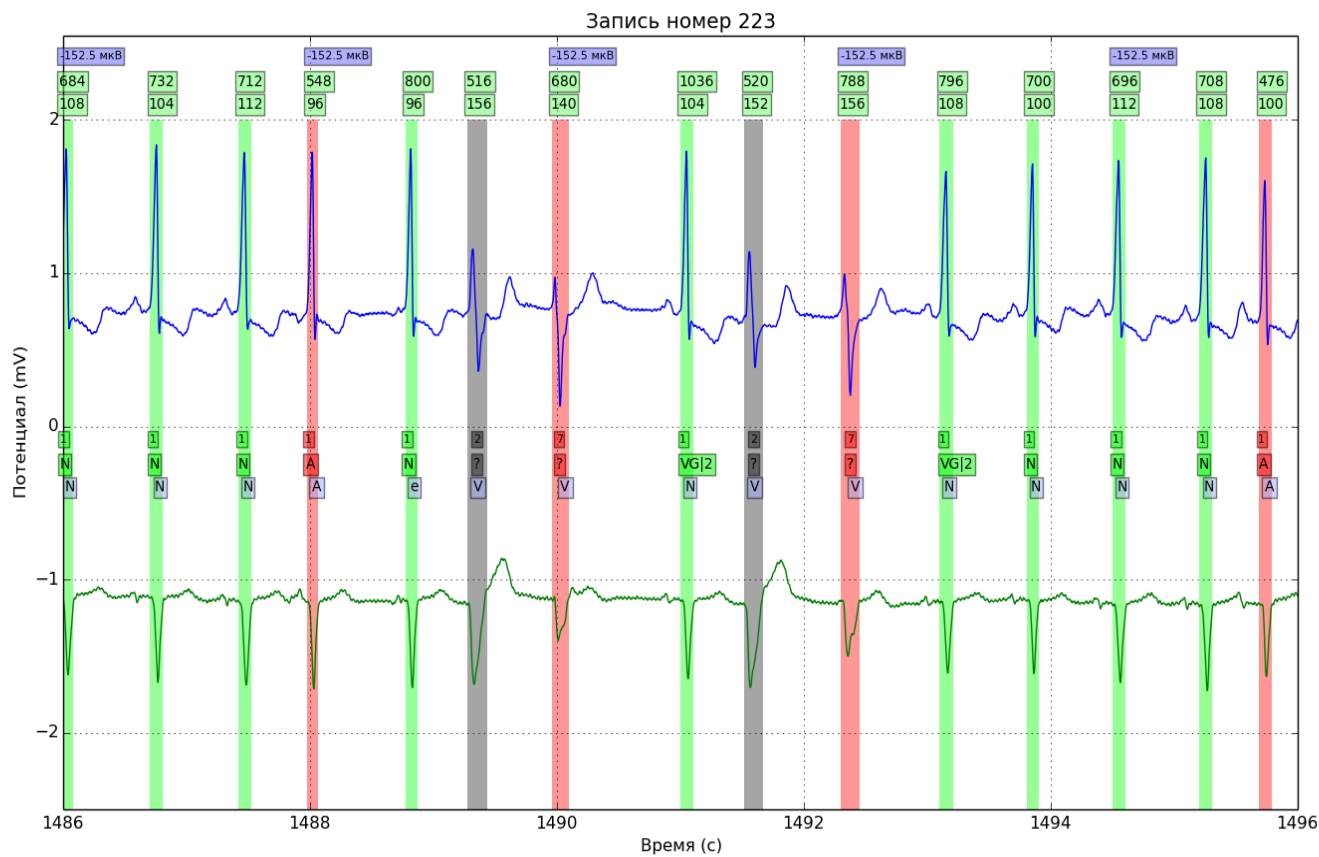


Запись номер 222



Atrial escape beat +

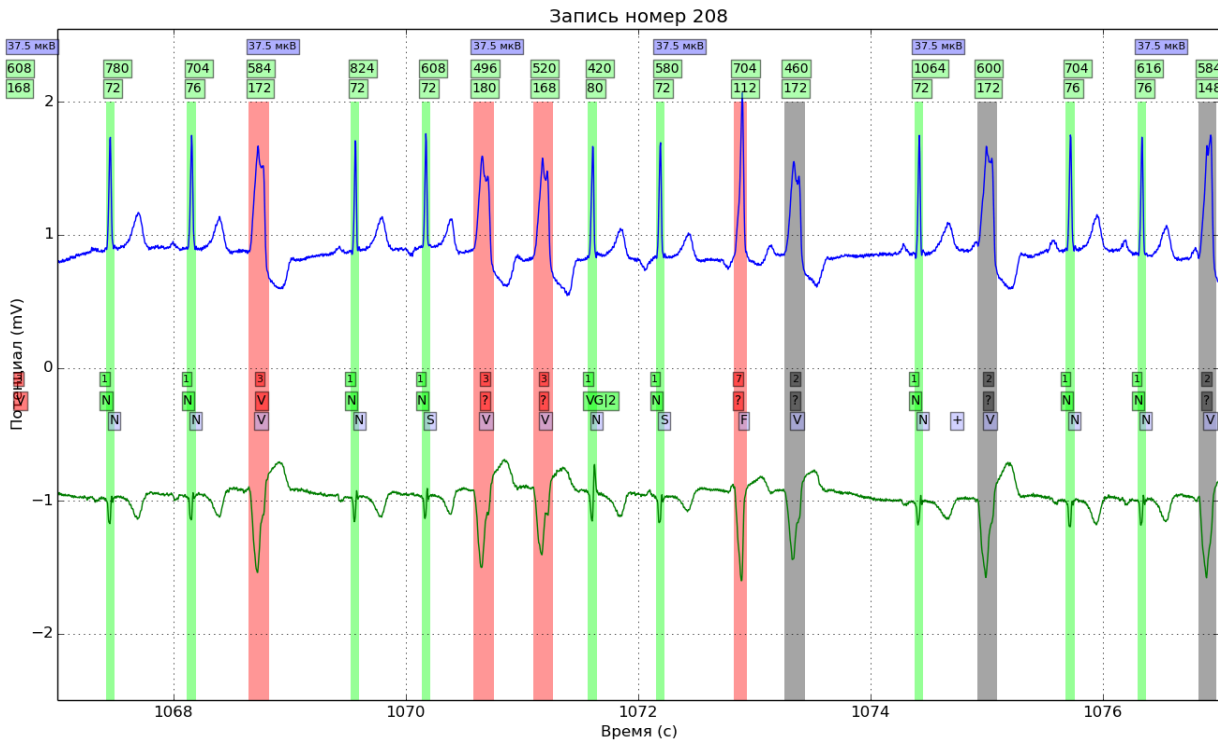
Записей мало (только 223). Распознавать как СВЭ.



Перечень нарушений, требующих анализа Р-сегмента

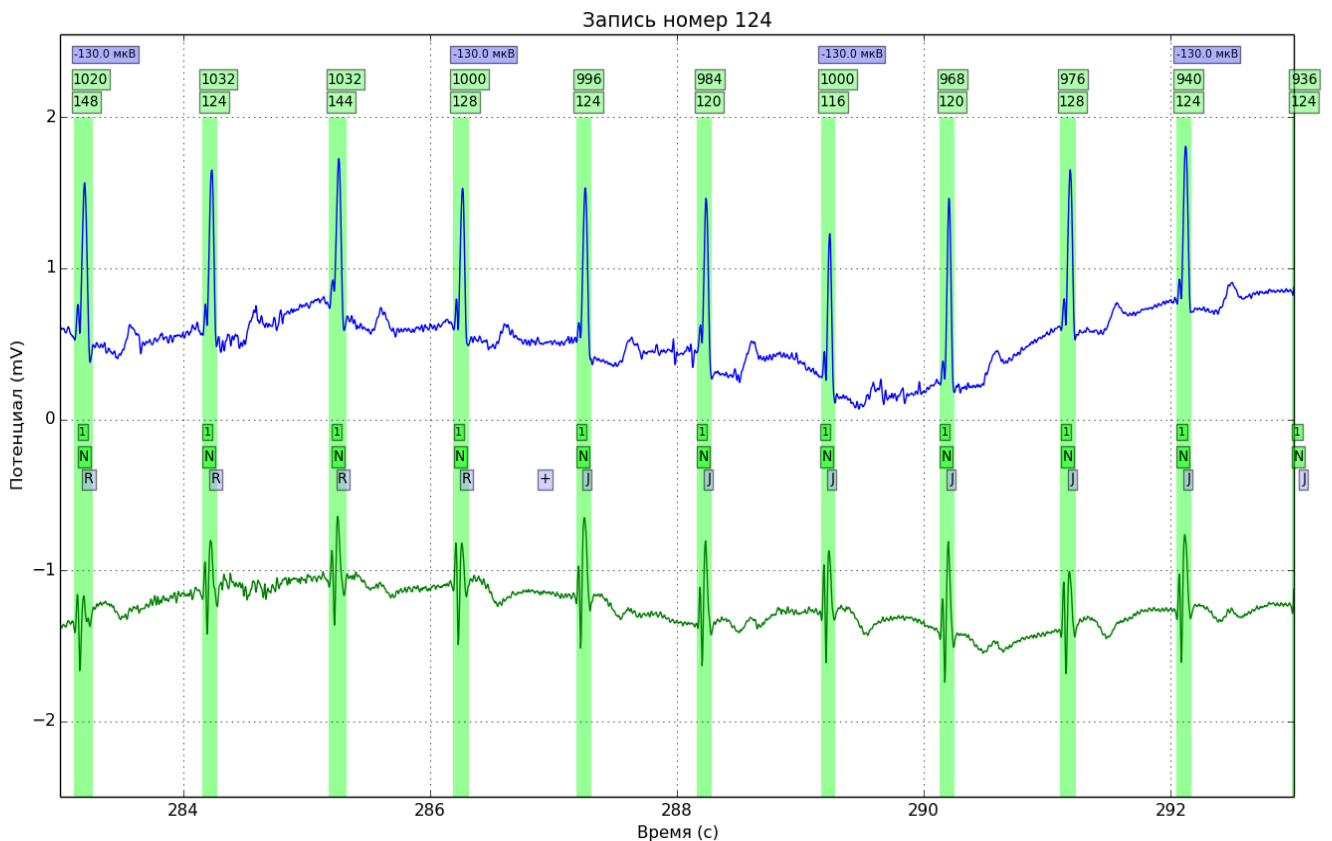
Supraventricular premature beat !

208—17:50, во всей базе их две штуки, отрицательный Р-зубец. Может быть детектирована как СВЭ.



Суправентрикулярная тахикардия (SVTA) с nodal (junctional) premature beat (J) !

Иногда nodal (junctional) premature beat распознается как норма. Без анализа Р-зубца невозможно диагностировать.

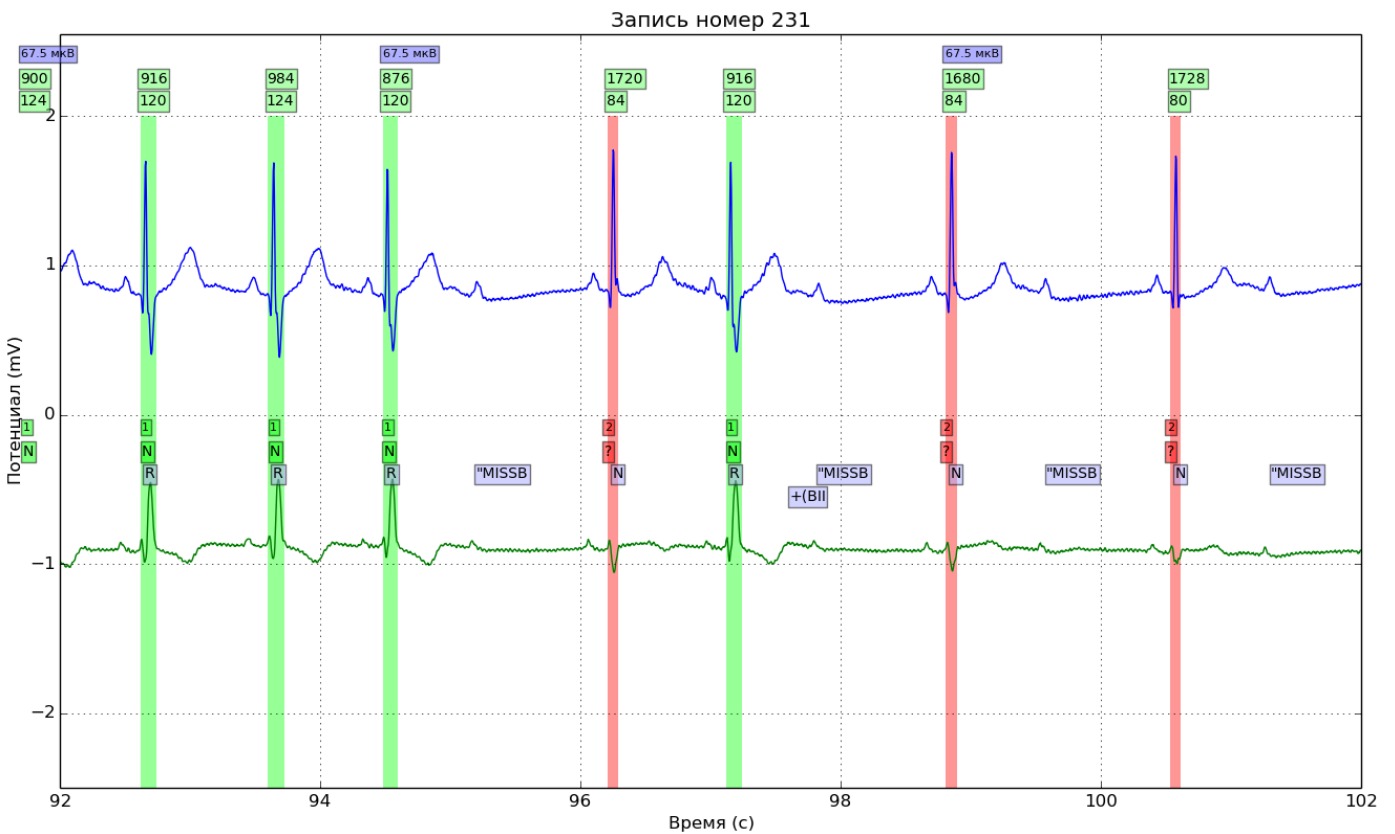
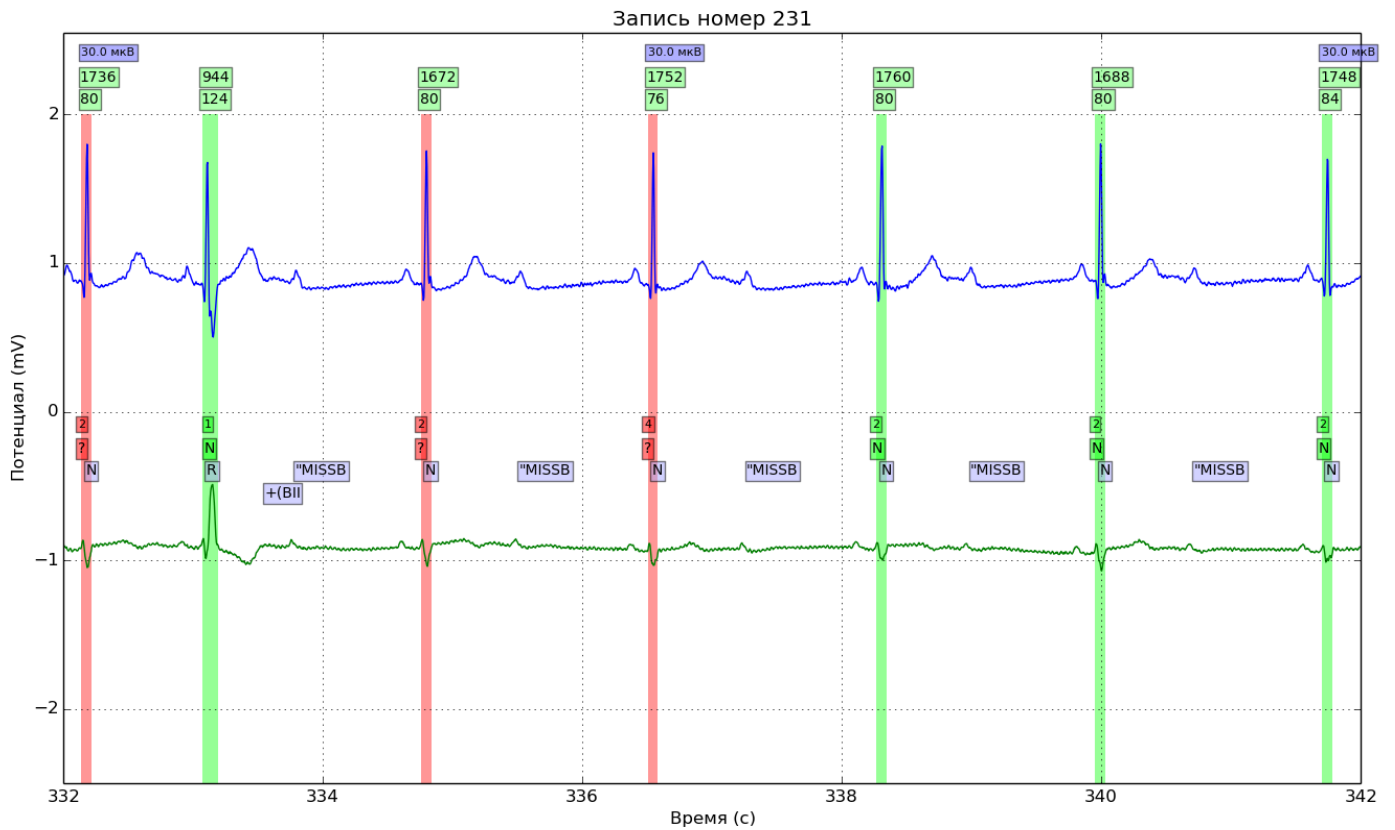


2° heart block (BII) +

Изменяется морфология комплекса, уменьшается ЧСС (40-50 уд/мин). Без детектирования

P-сегмента сложно получить надежное определение. В ВП наблюдаются удары типа **non-conducted**

P-wave (blocked APB) (MISSB)



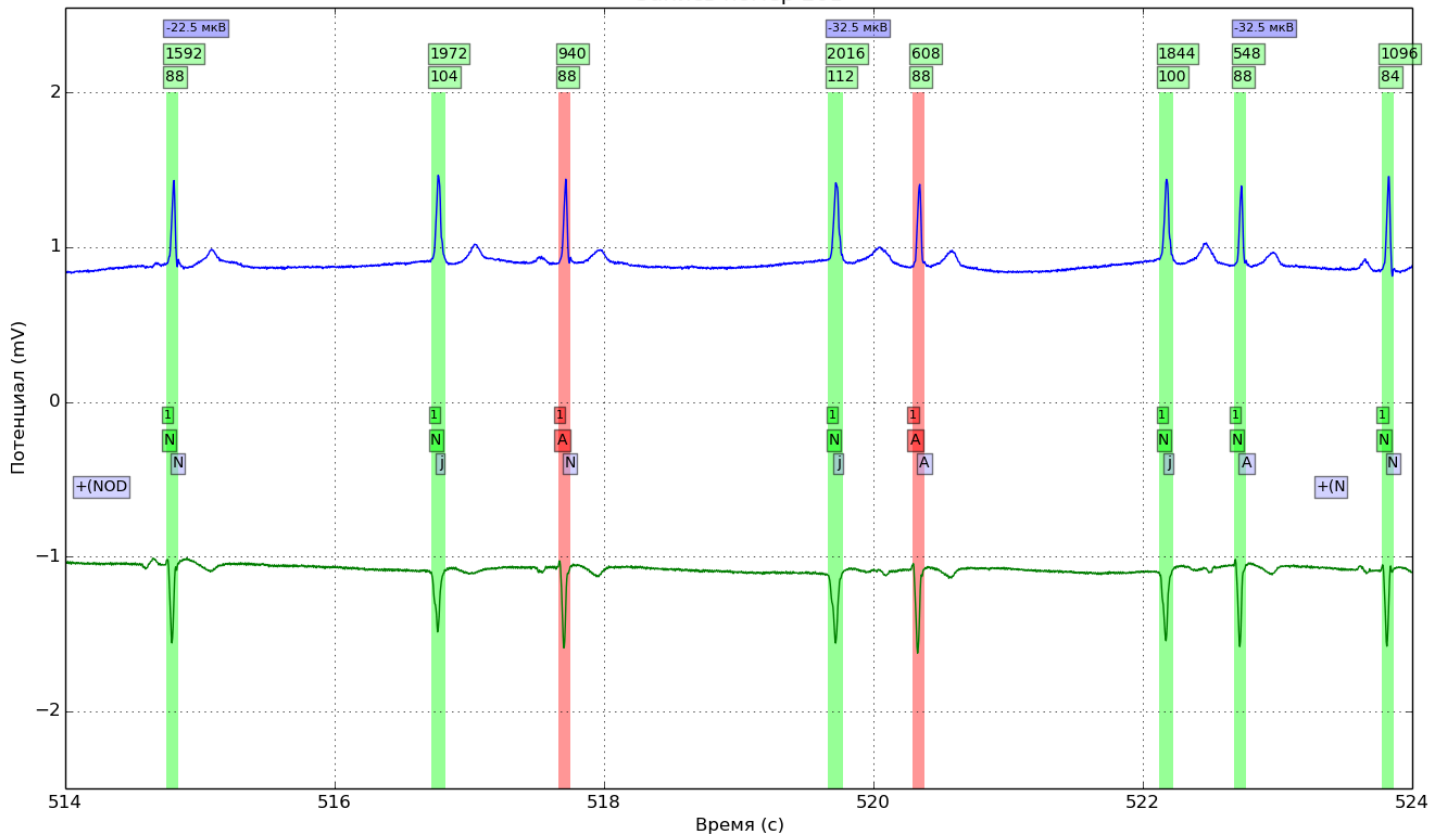
При атриовентрикулярной блокаде может сохраняться нормальная ЧСС.

Узловой атриовентрикулярных ритм (NOD) !

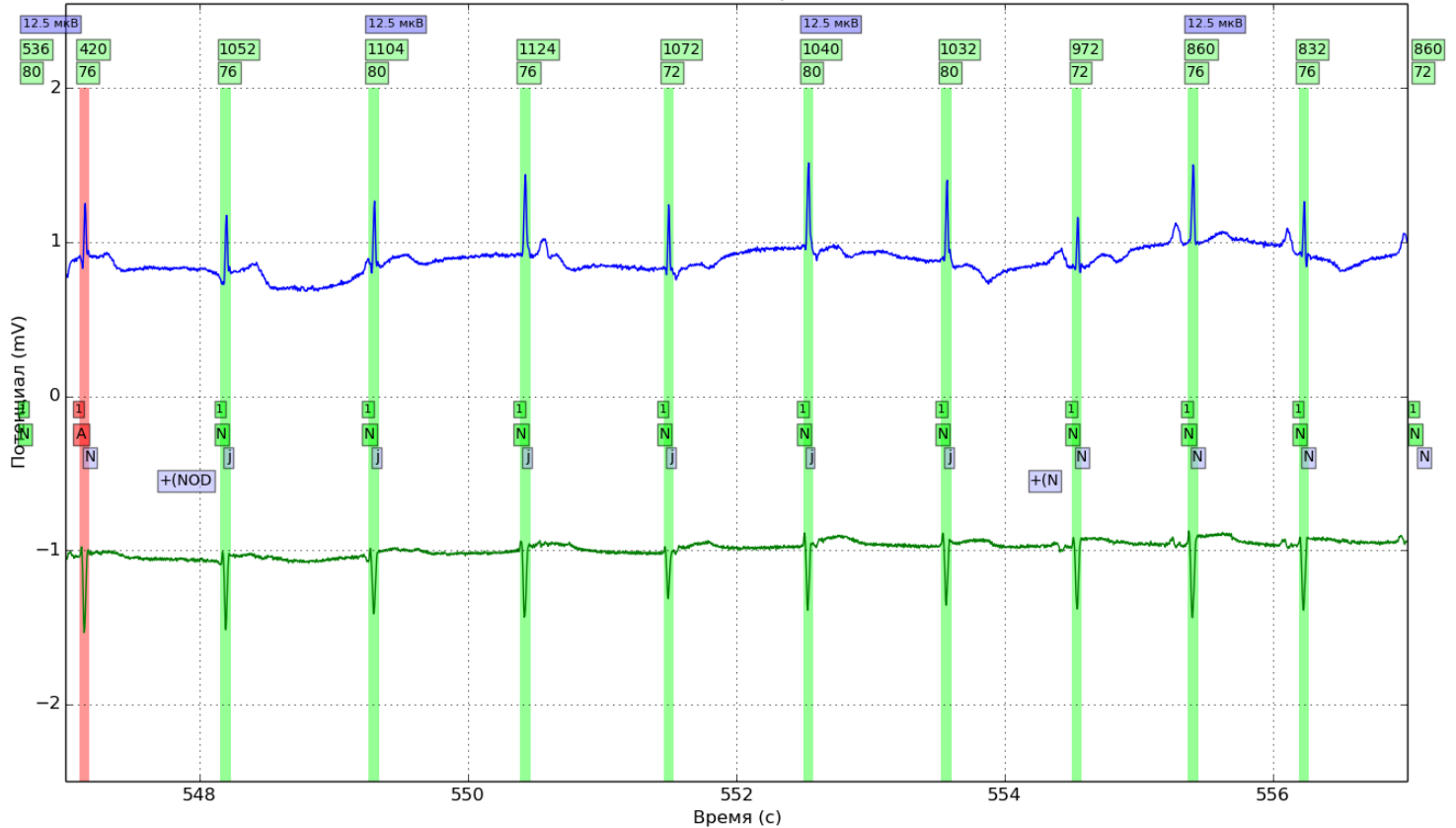
Nodal (A-V junctional) rhythm. Без детектирования Р-сегмента сложно получить надежное

определение. Иногда наблюдаются приступы асистолии, но ЧСС может сохраняться нормальной

Запись номер 201

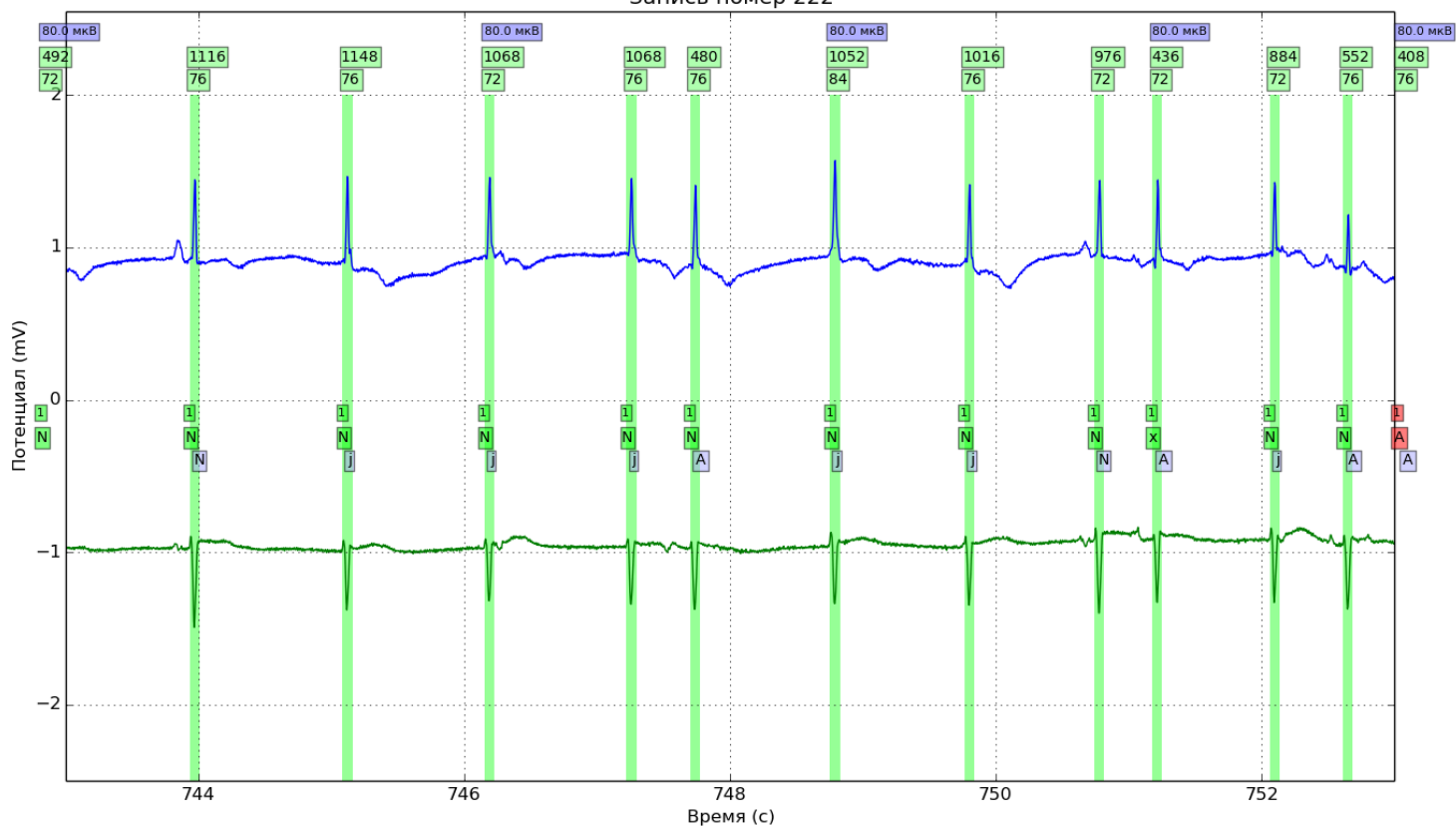


Запись номер 222



При узловом ритме возникают удары типа **nodal (junctional) escape beat (J)**
Похожа на СВЭ.

Запись номер 222

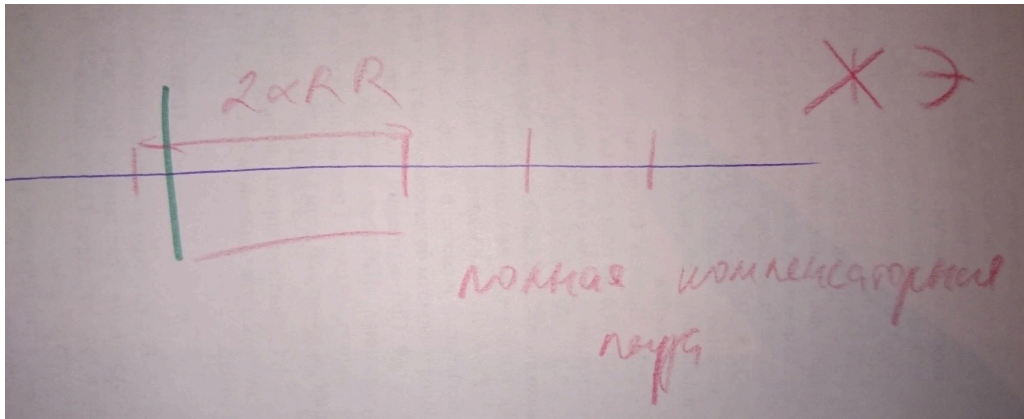


Перечень нарушений ритма, изменяющих морфологию QRS-комплекса

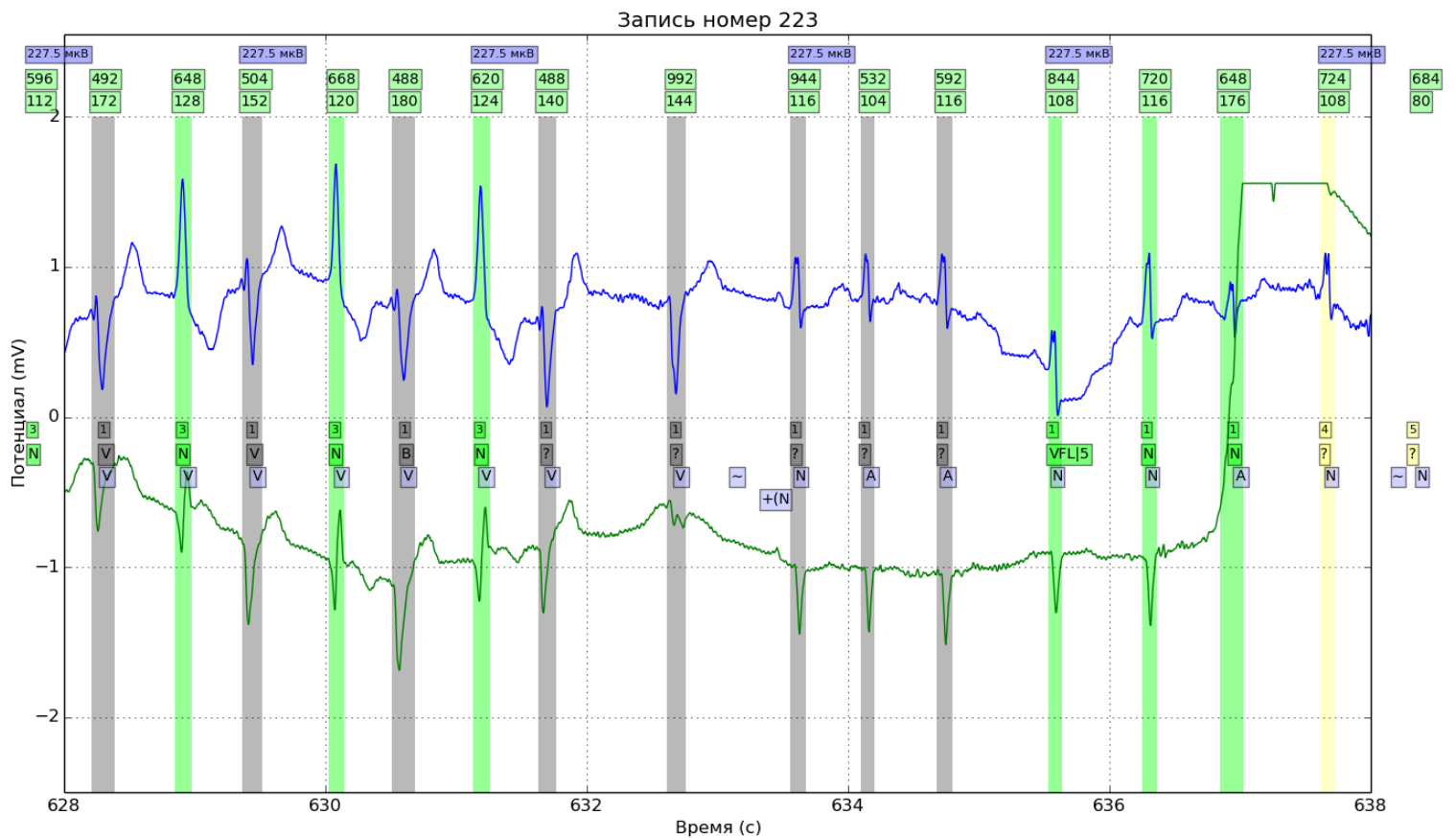
Желудочковая экстрасистолия (V) +

В MIT DB термином Ventricular tachycardia обозначены любые сложные желудочковые нарушения (ЖЭ).

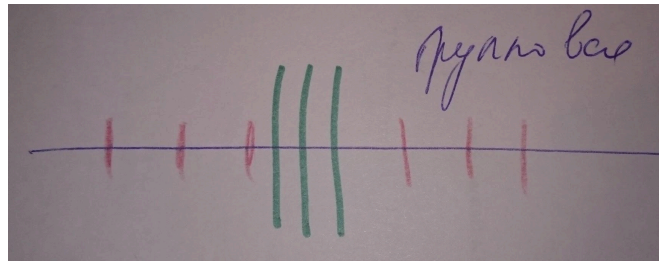
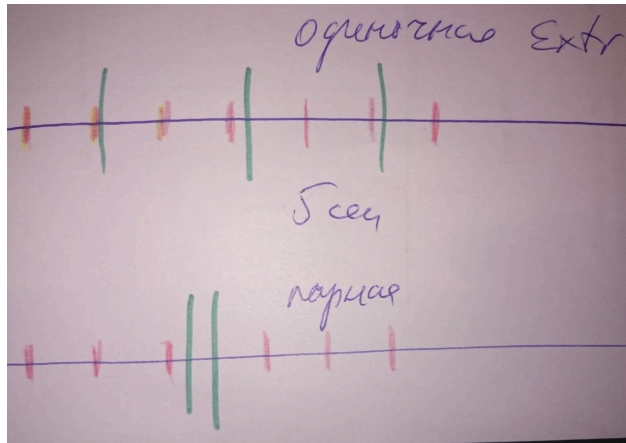
На фоне последовательности «нормальных» комплексов появляется «патологический». По соотношениям RR-интервалов предусмотрены следующие варианты экстрасистол:



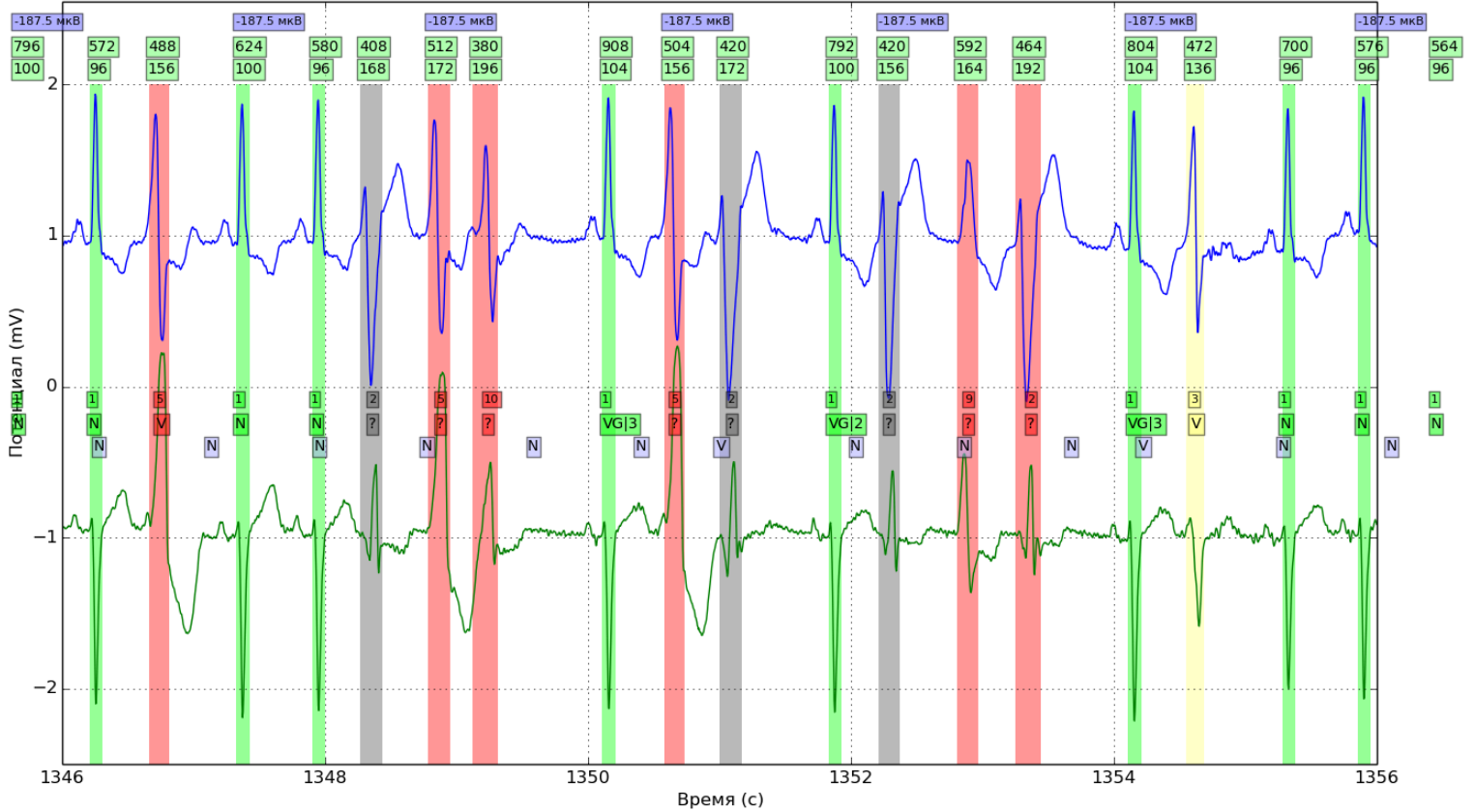
- «обычные» с компенсаторной паузой
- ранние с компенсаторной паузой
- интерполированные (без компенсаторной паузы)



Групповая желудочковая экстрасистола (VG) +

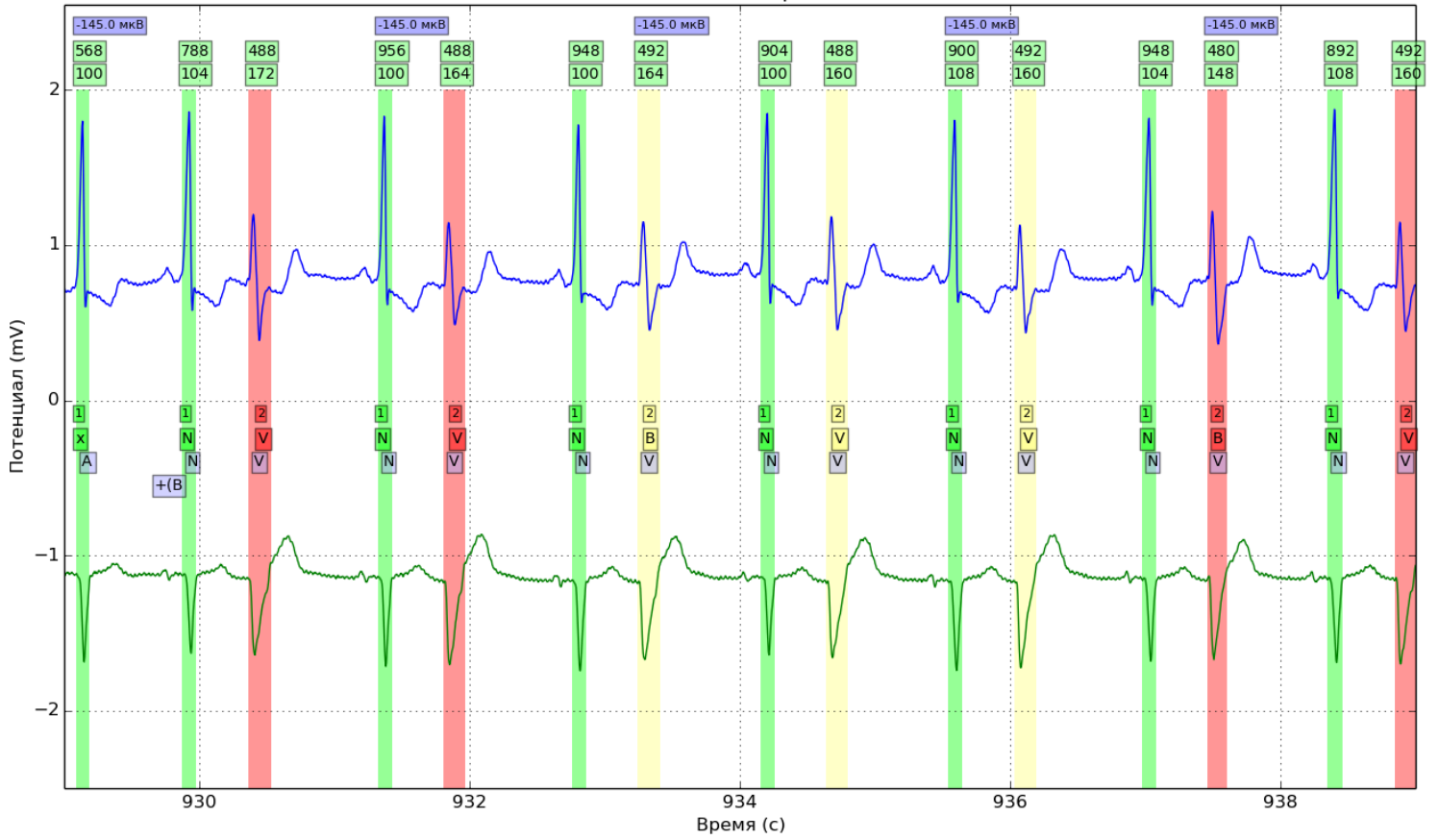


Запись номер 233



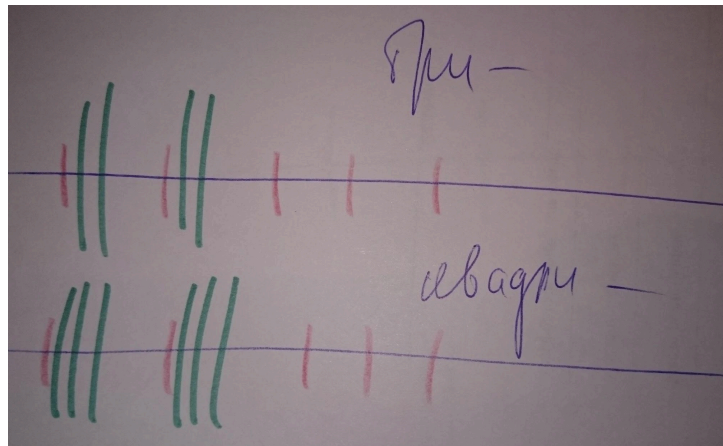
Пример правильного определения

Запись номер 223

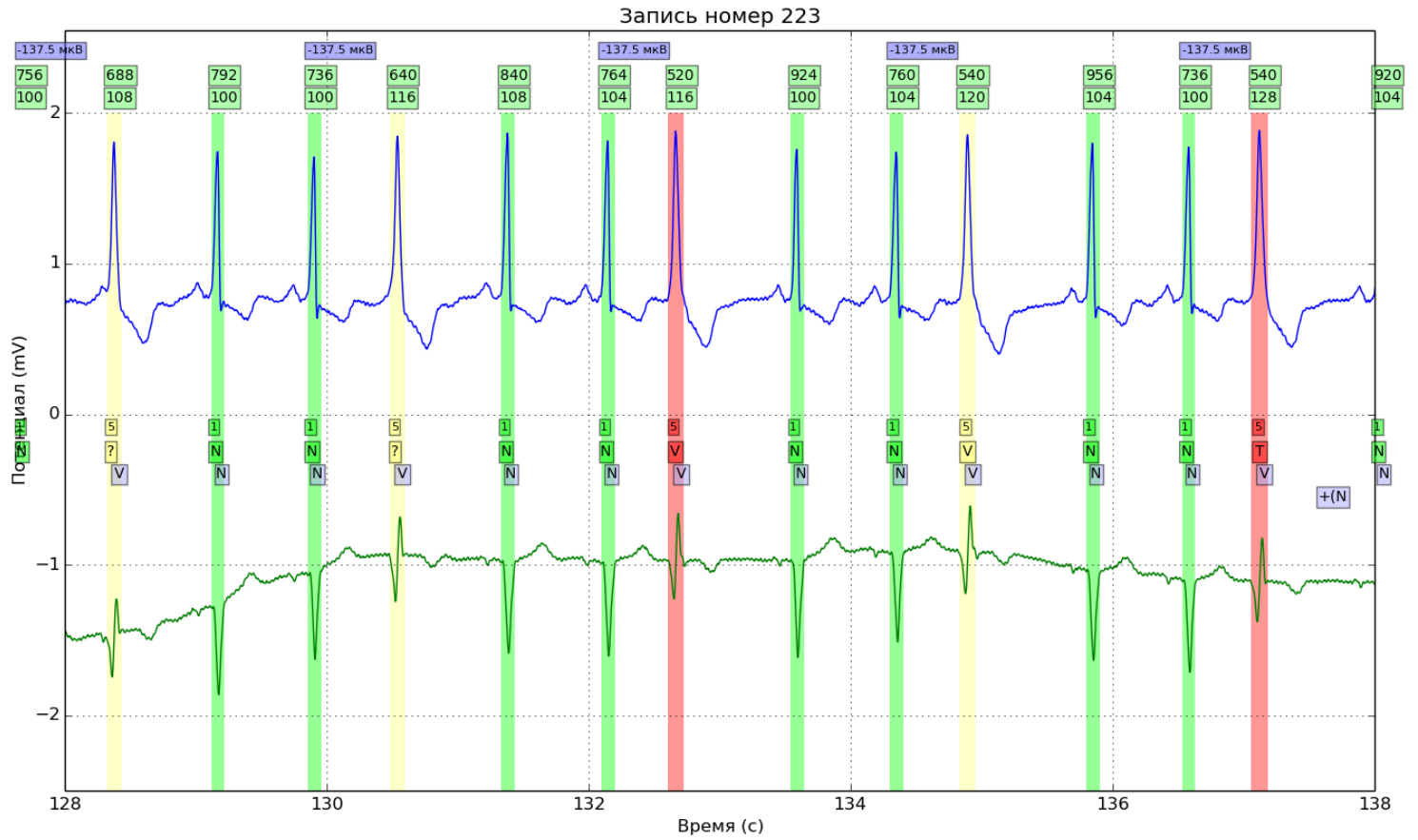


Тригеминия (Т) +

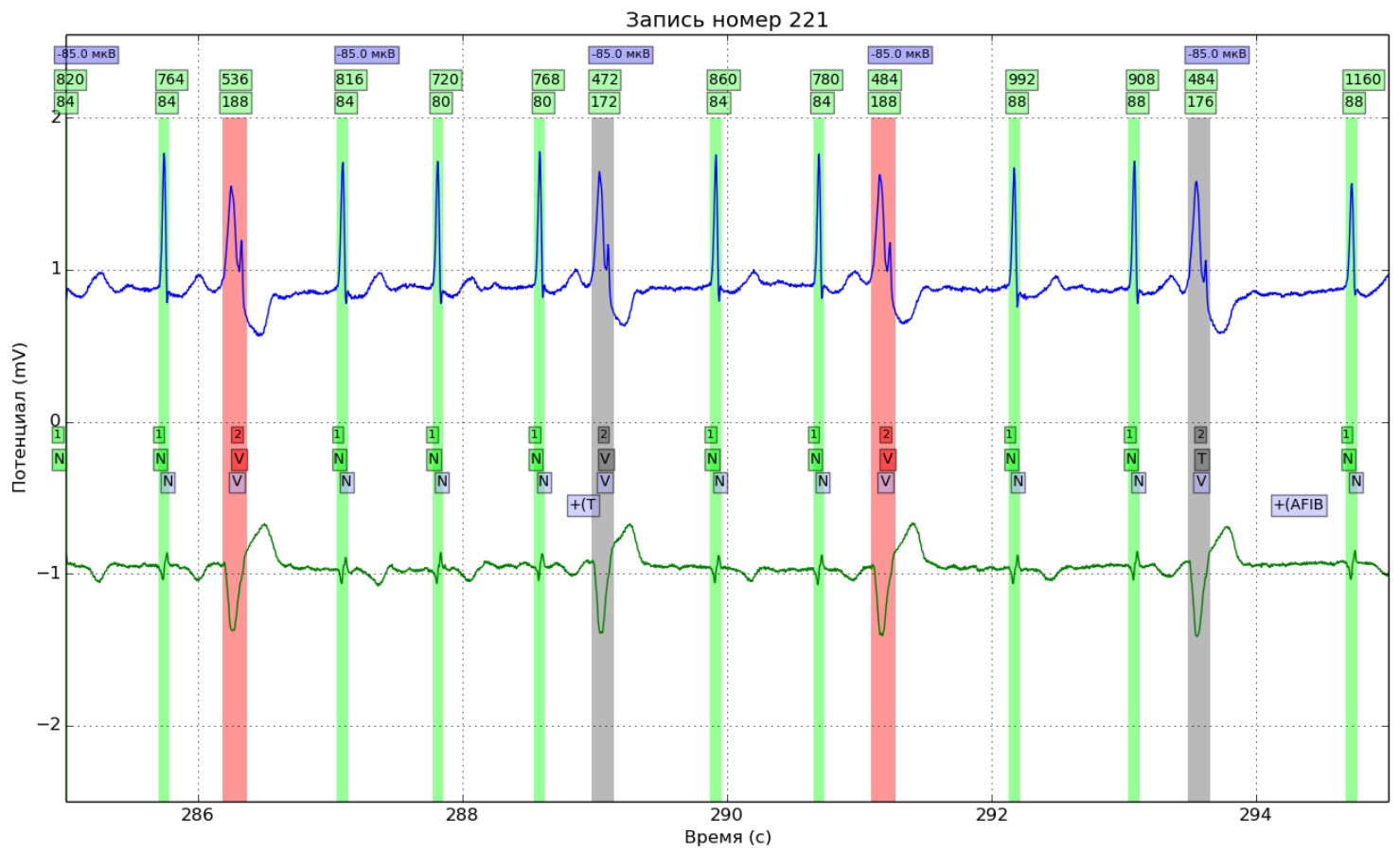
Ventricular trigeminy



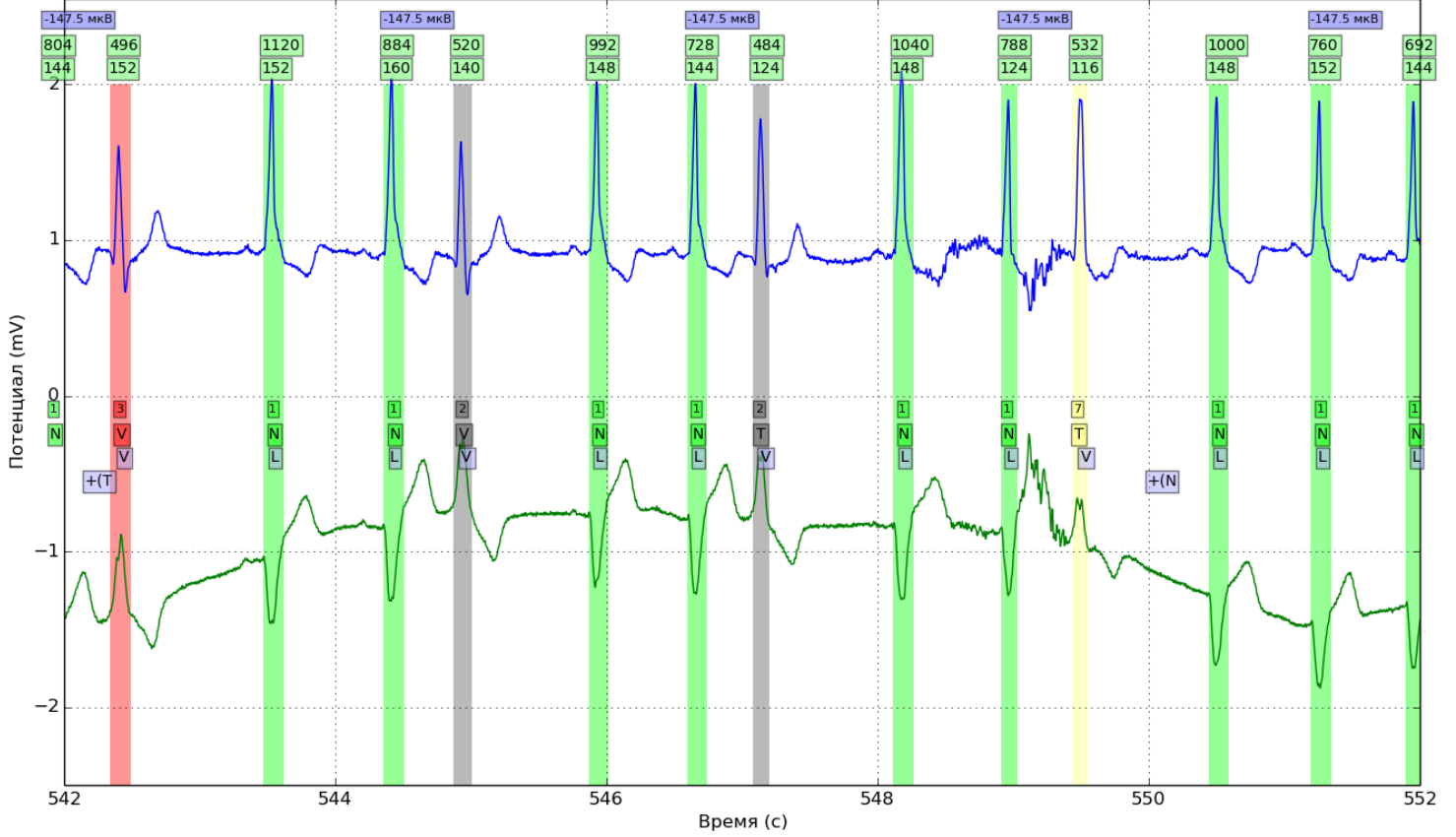
Иногда определяются не сразу



Примеры нормального определения:



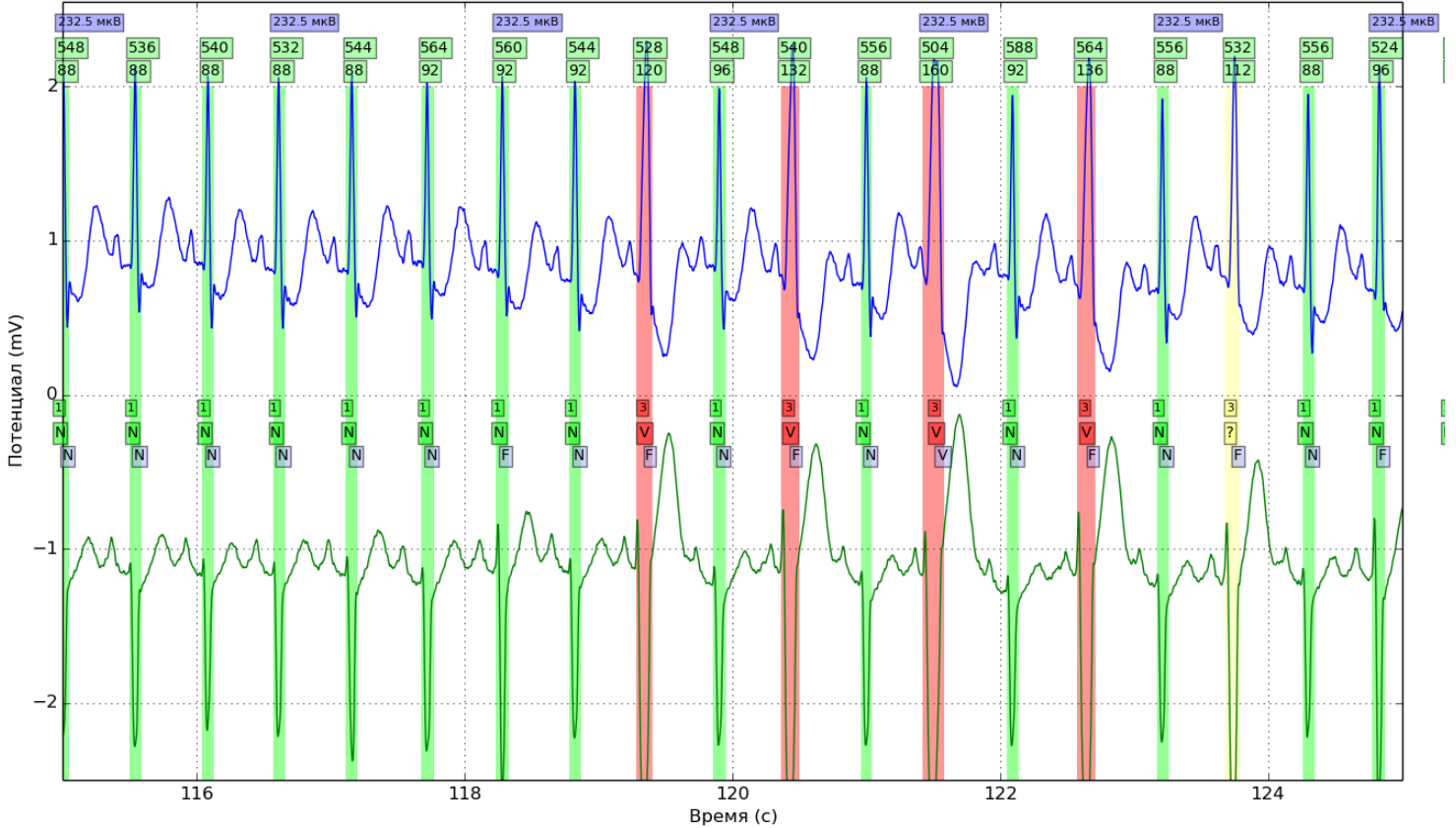
Запись номер 214



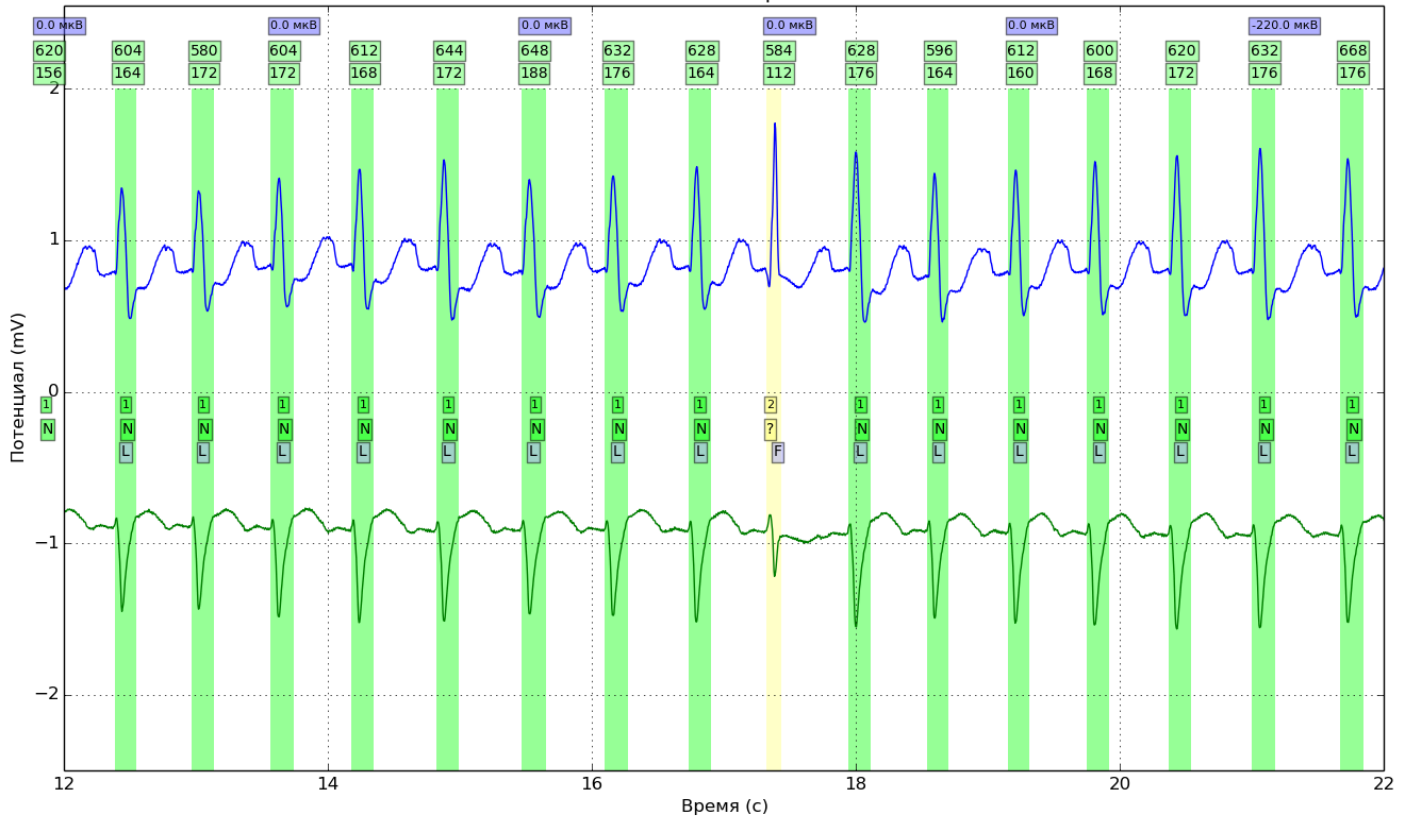
Fusion of ventricular and normal beat +

На 213—1:58 распознаны частично как ЖЭ, частично как нормальные

Запись номер 213



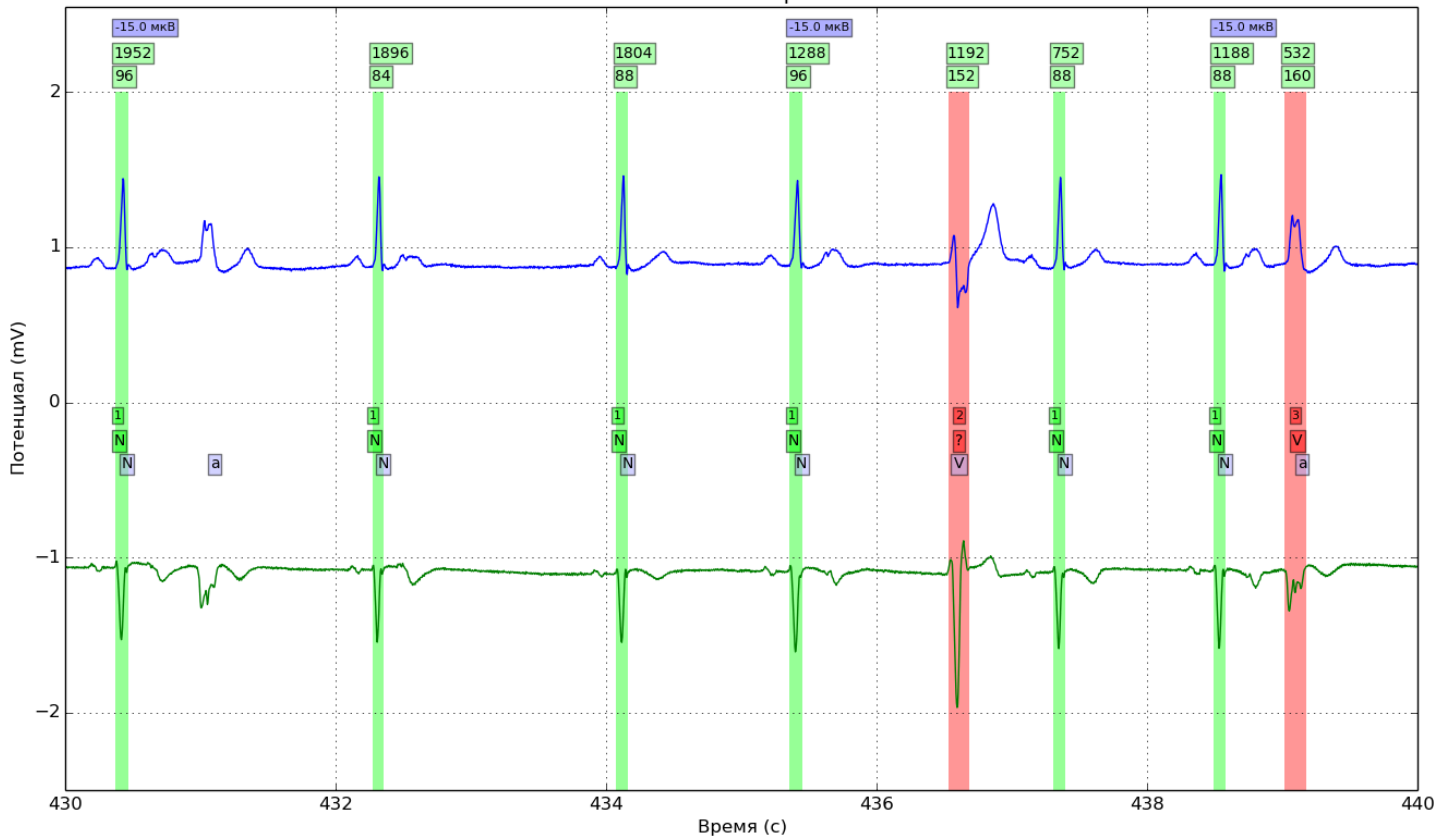
Запись номер 109



Aberrated atrial premature beat, R-on-T premature ventricular contraction +

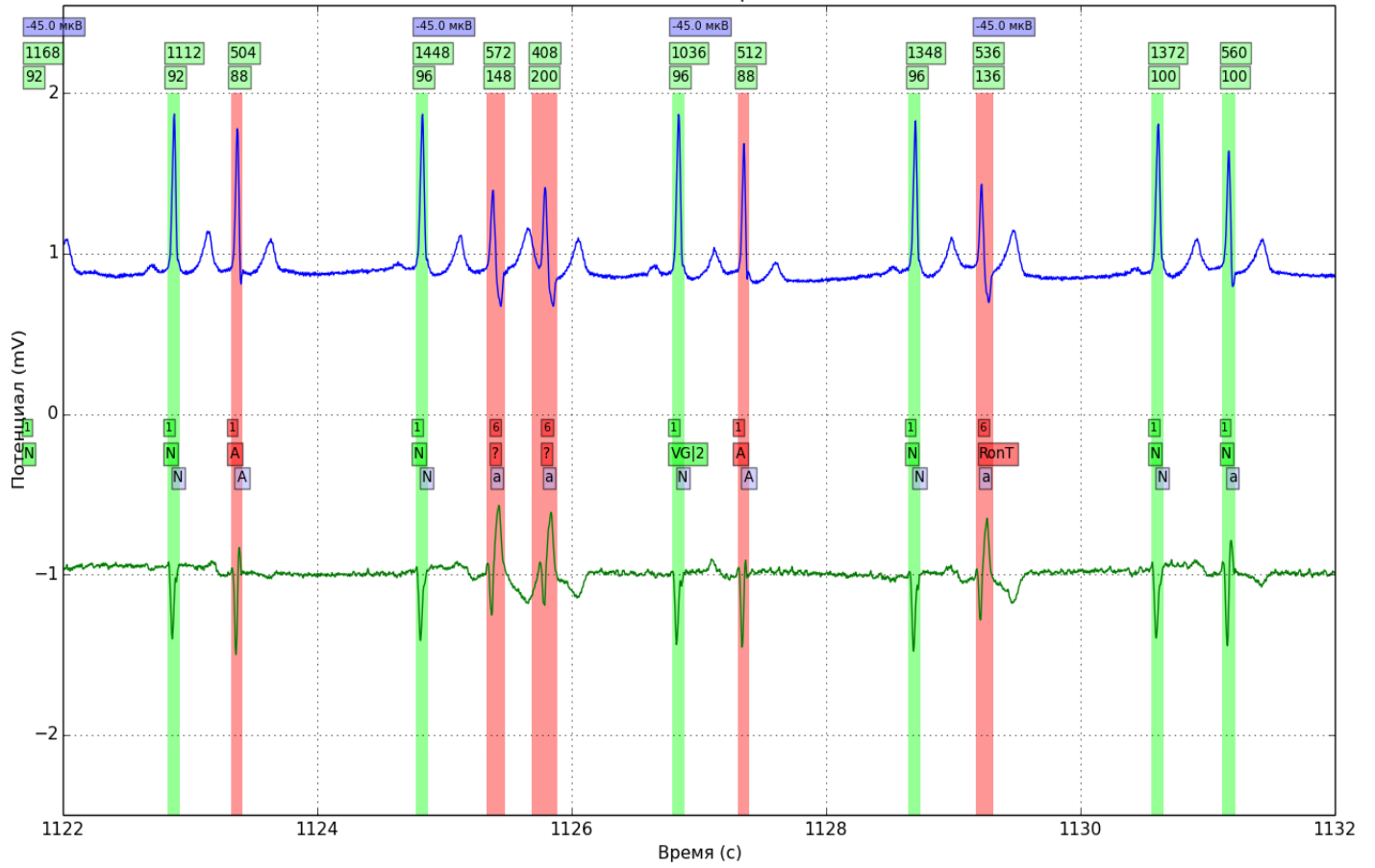
На 201—7:08 детектируется как пропуск удара и как неизвестный удар

Запись номер 201



на 202—18:40 распознаны ЖЭ и R-на-T

Запись номер 202

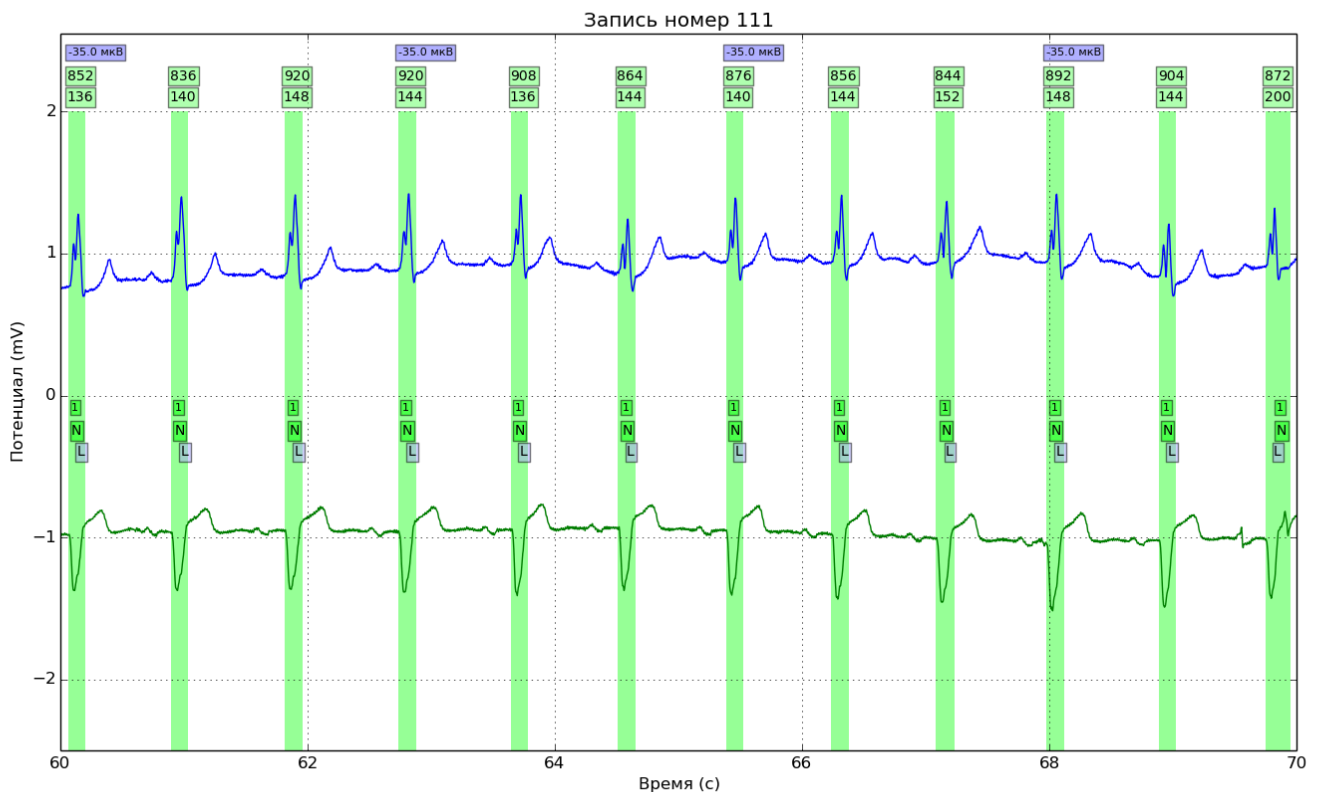
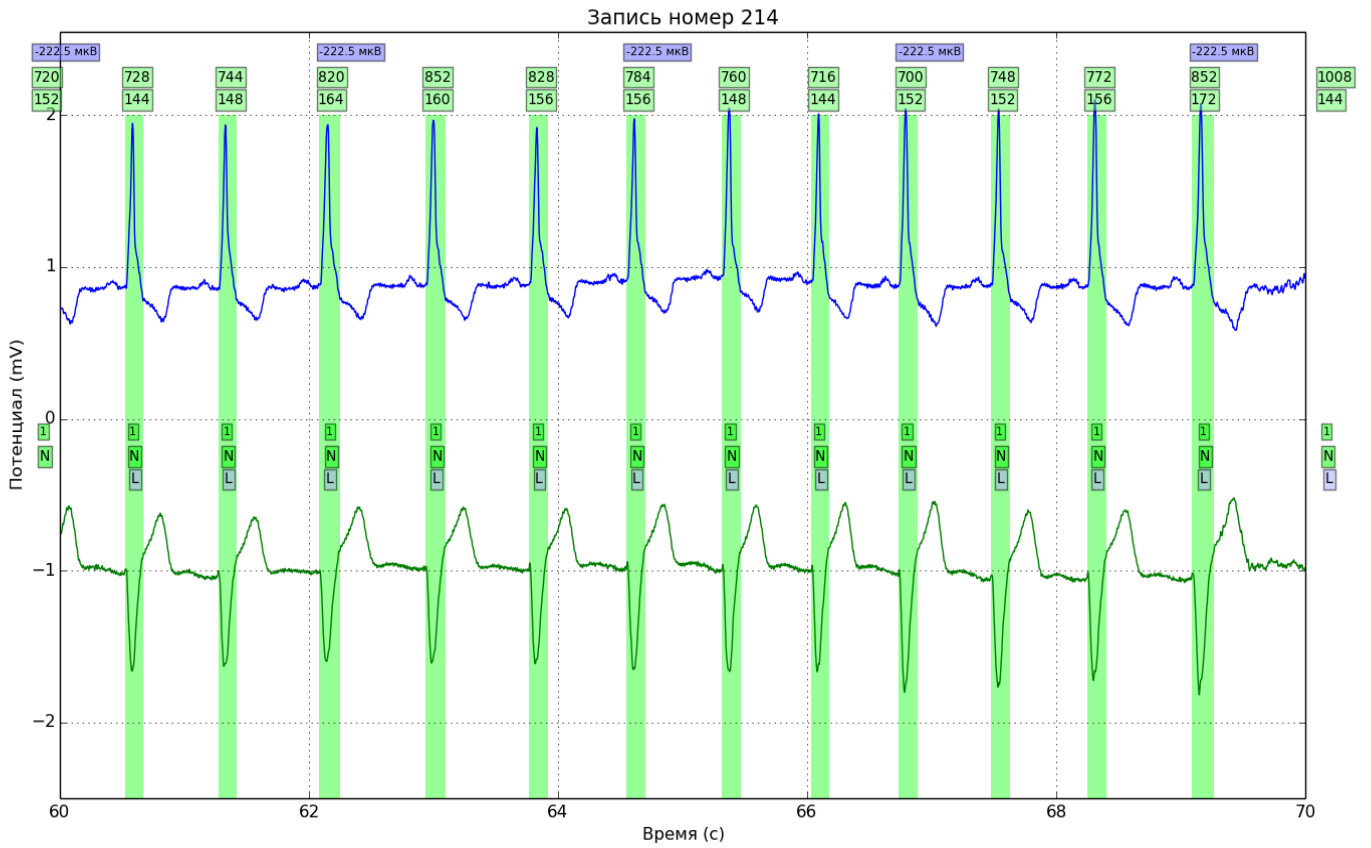


Перечень неритмических нарушений, изменяющих морфологию QRS-комплекса

Удары при блокаде левой ножки Гиса (LBB) +

Left bundle branch block beat

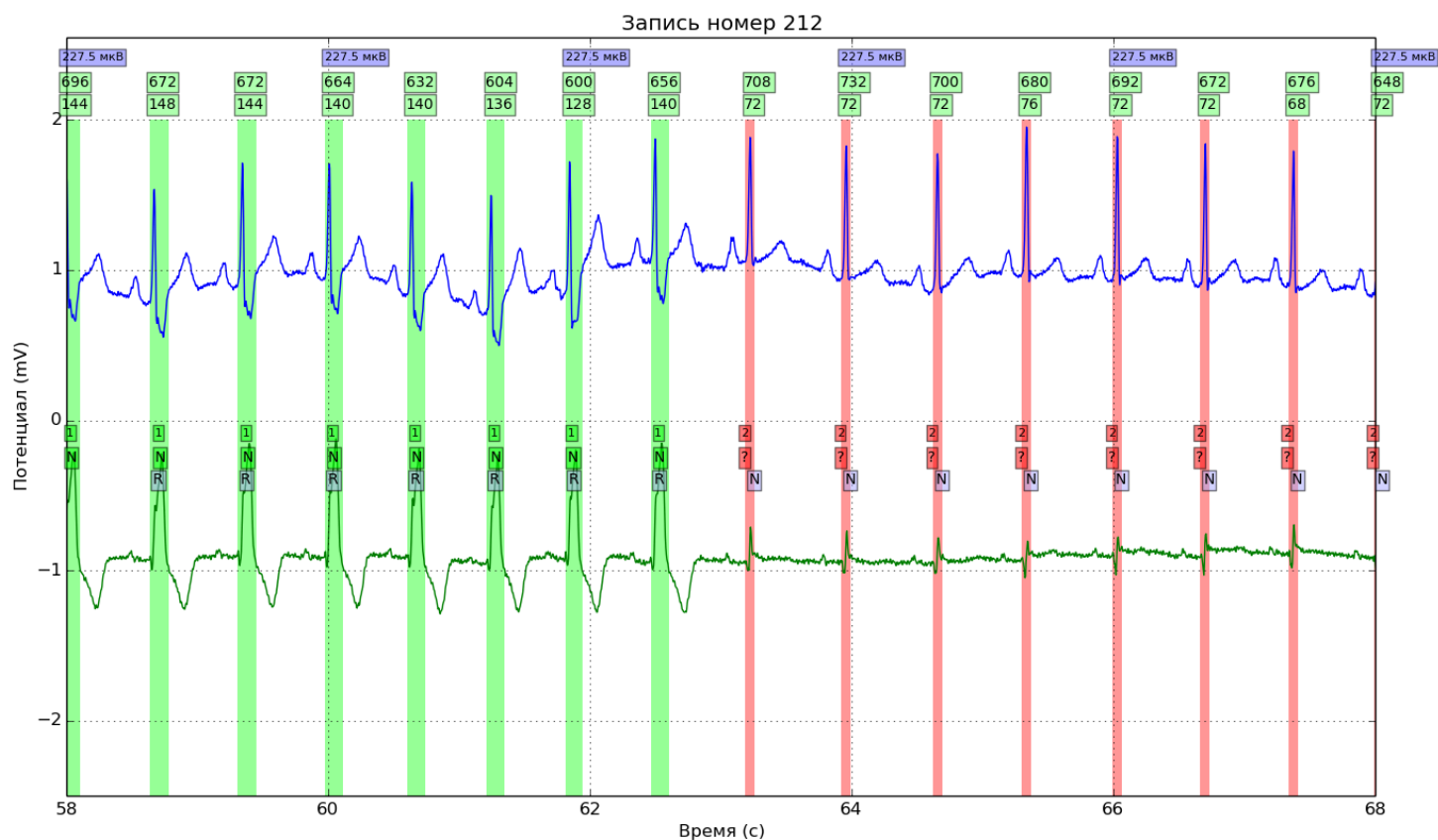
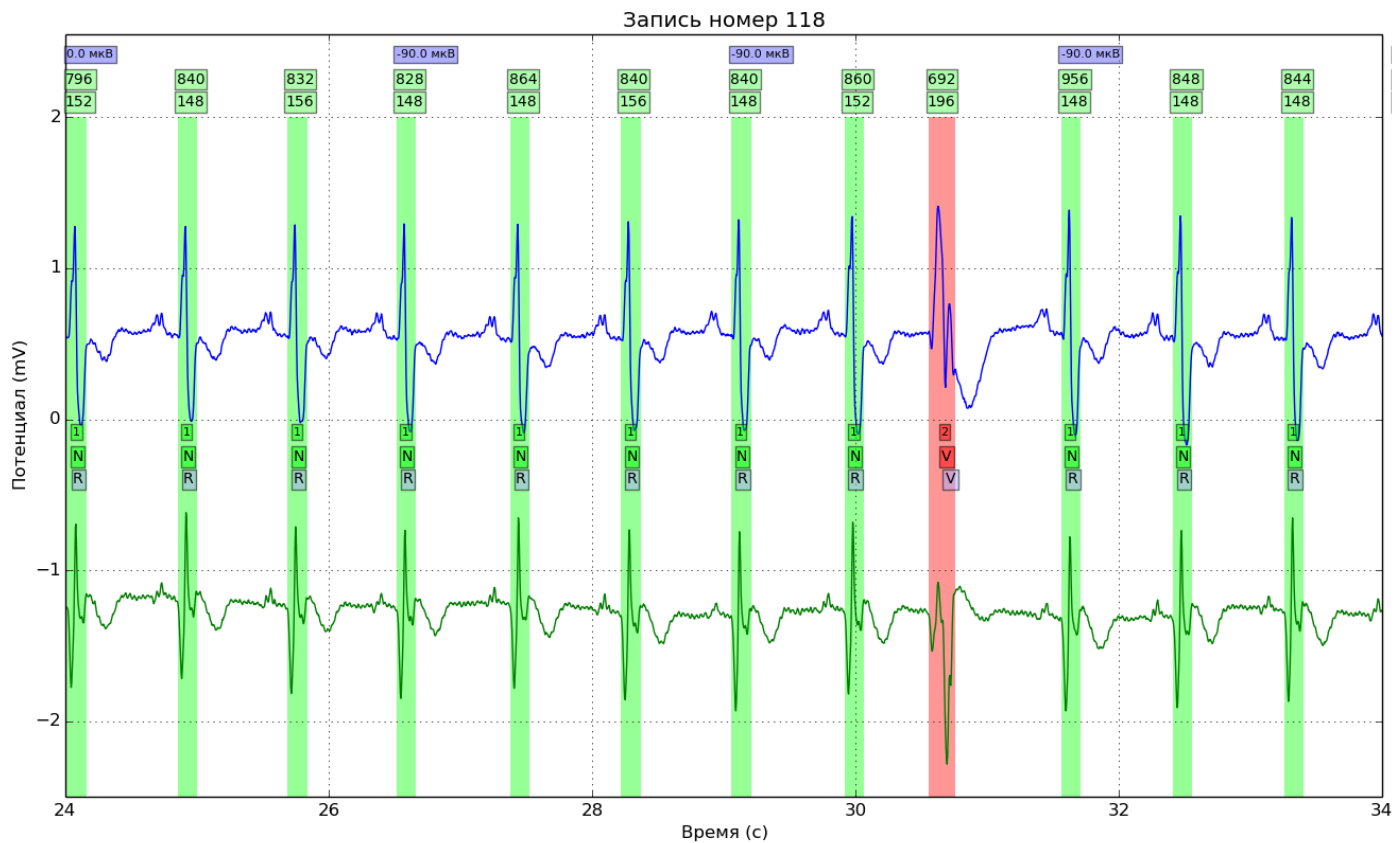
Определяются как норма. Ширина детектируется до 0.15 — 0.2



Удары при блокаде правой ножки Гиса (RBB) +

Right bundle branch block beat.

Определяются как норма. Ширина детектируется до 0.15. Наблюдается временное детектирование нарушений при смене ритма.



При возврате к норме также отмечаются неизвестные комплексы

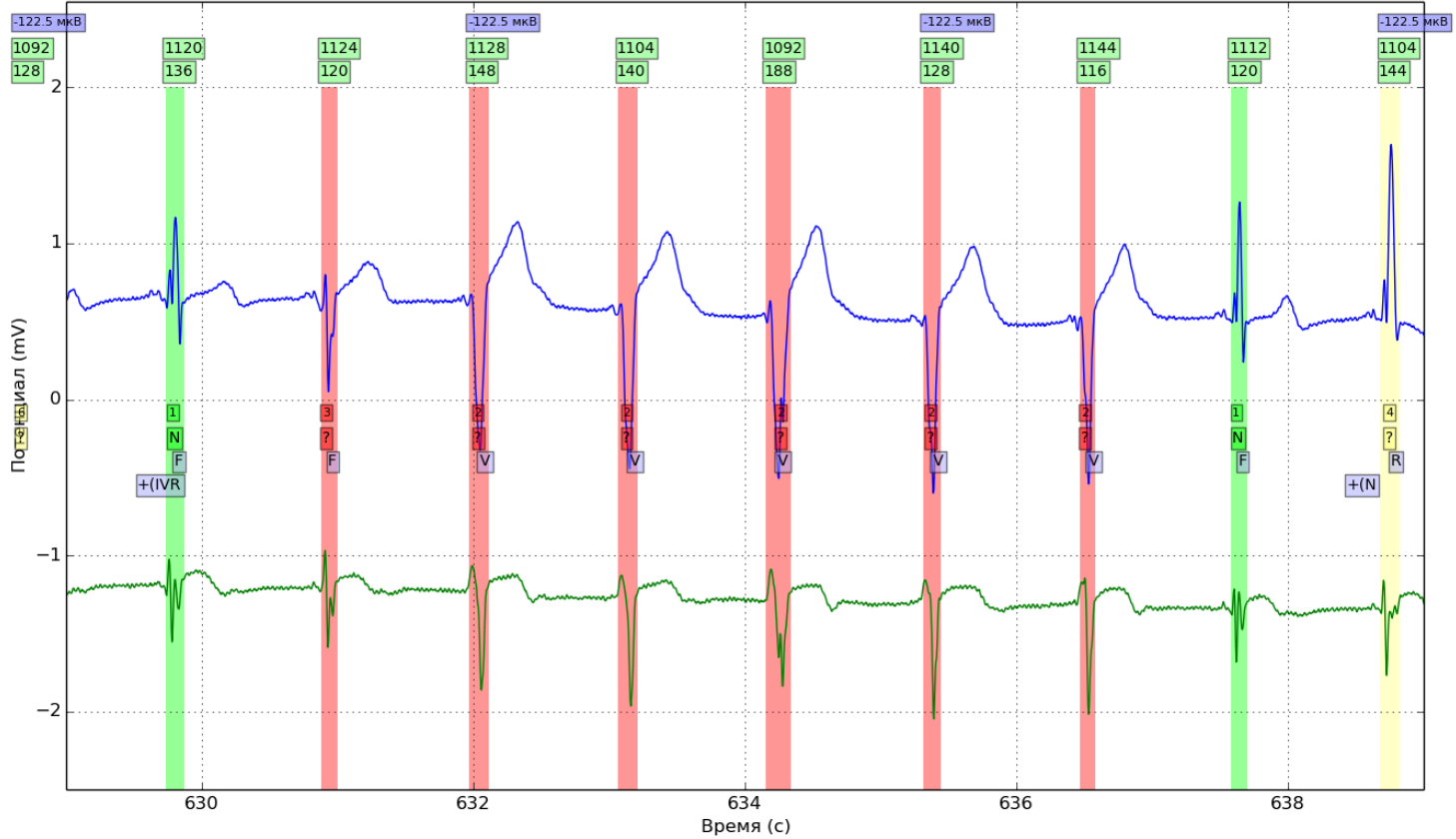
Запись номер 230



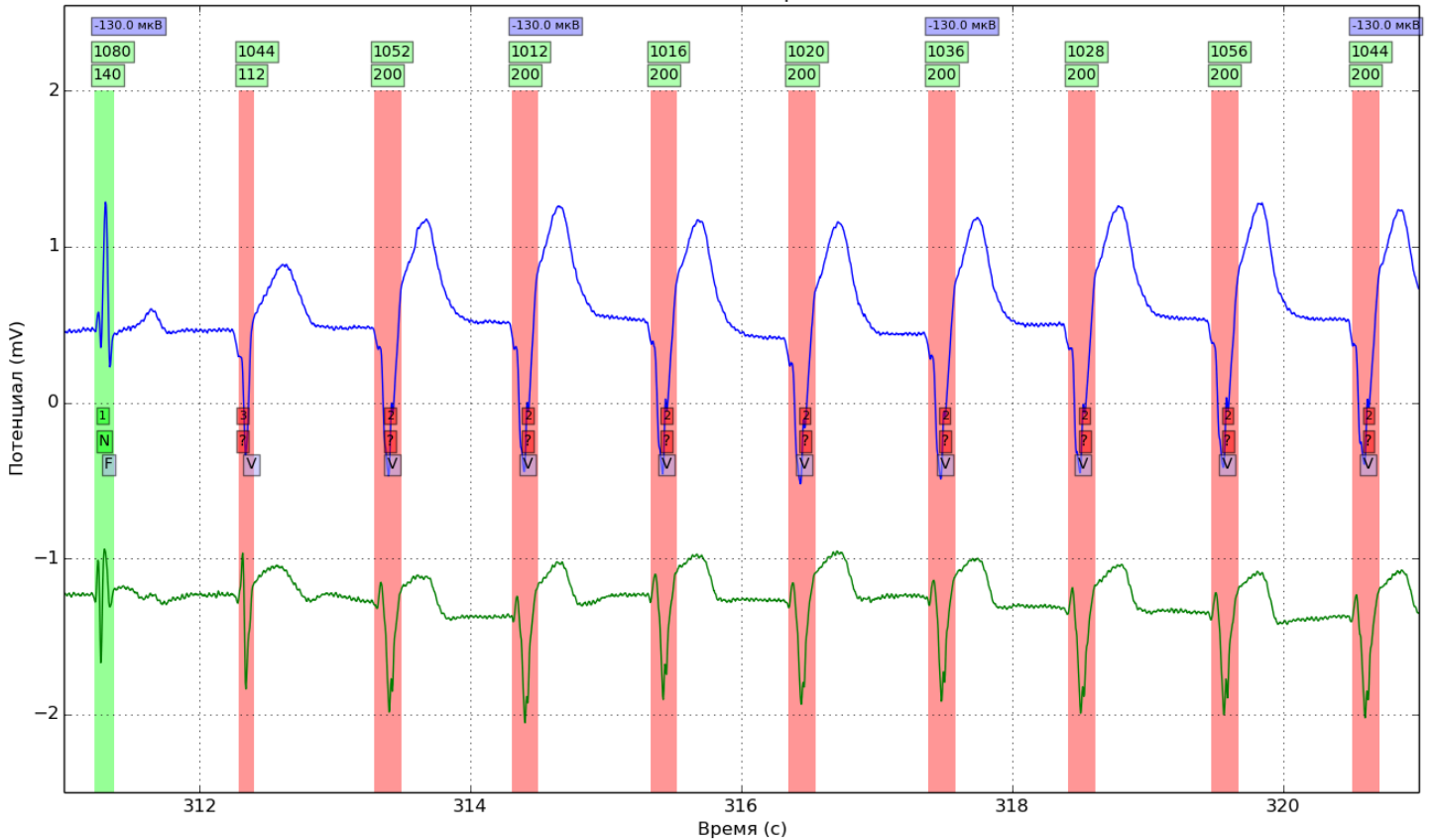
Идиовентрикулярный ритм

Idioventricular rhythm. В 207 записи ИВР распознан как ПЖТ. В 124 записи распознается как неклассифицируемые комплексы с нарушениями

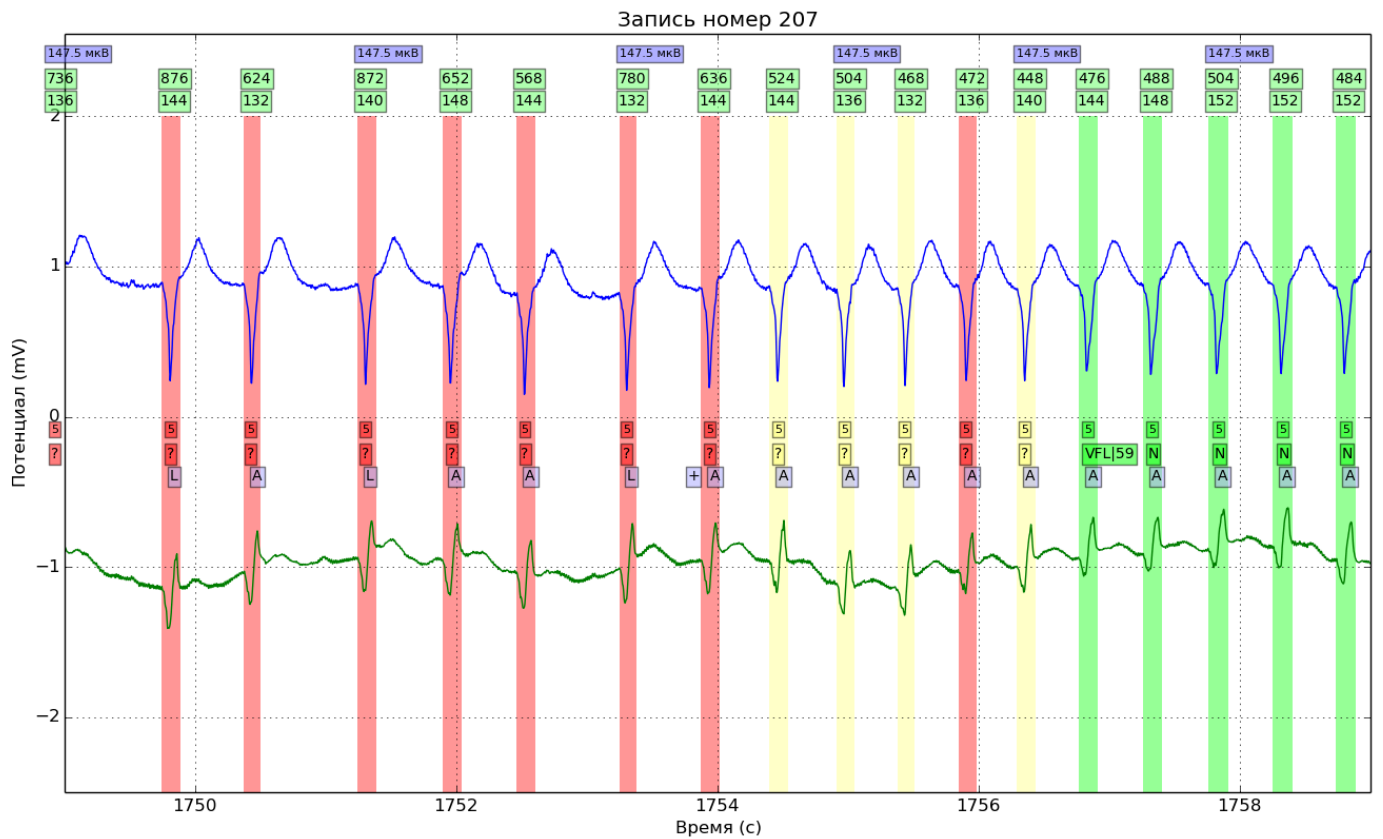
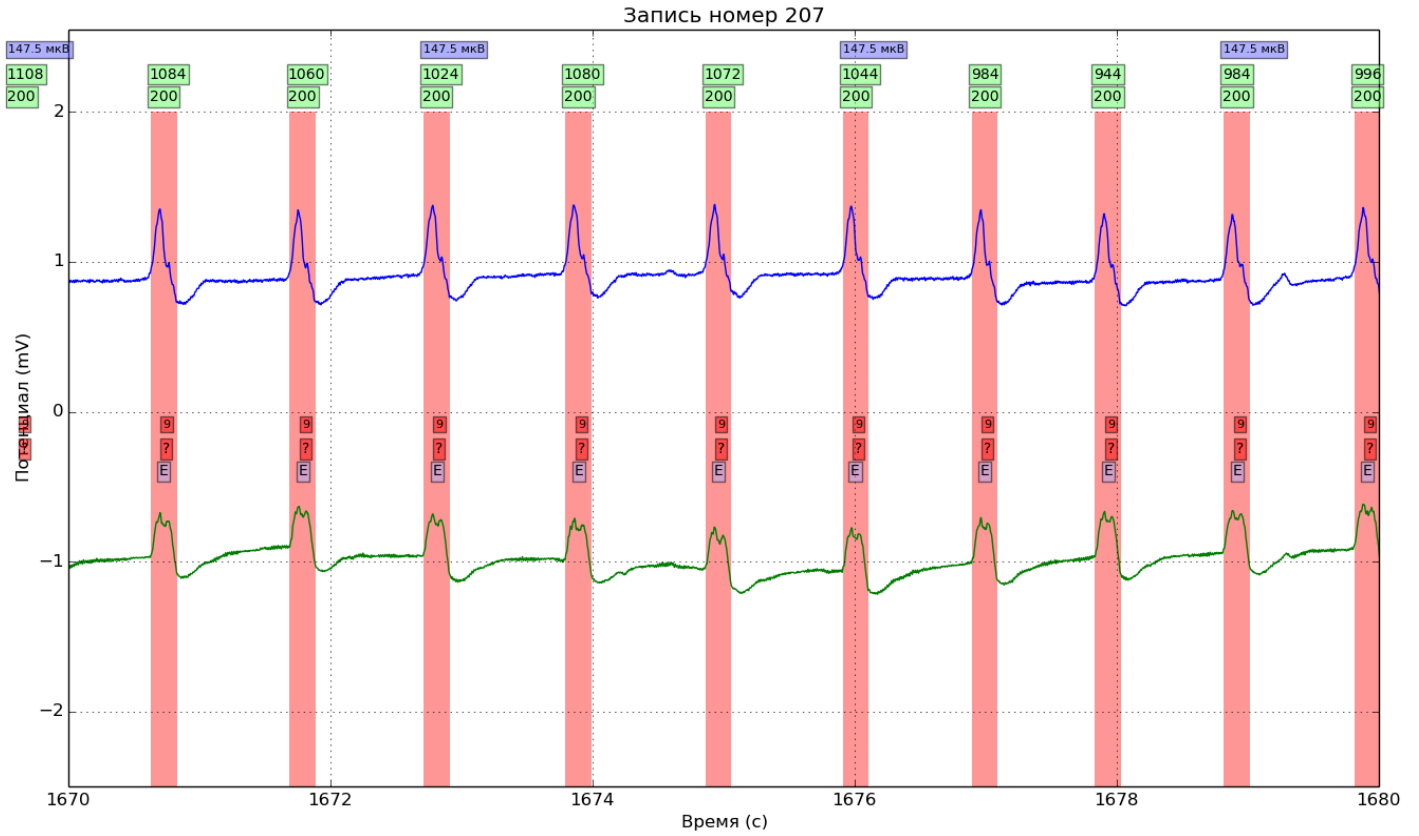
Запись номер 124



Запись номер 124



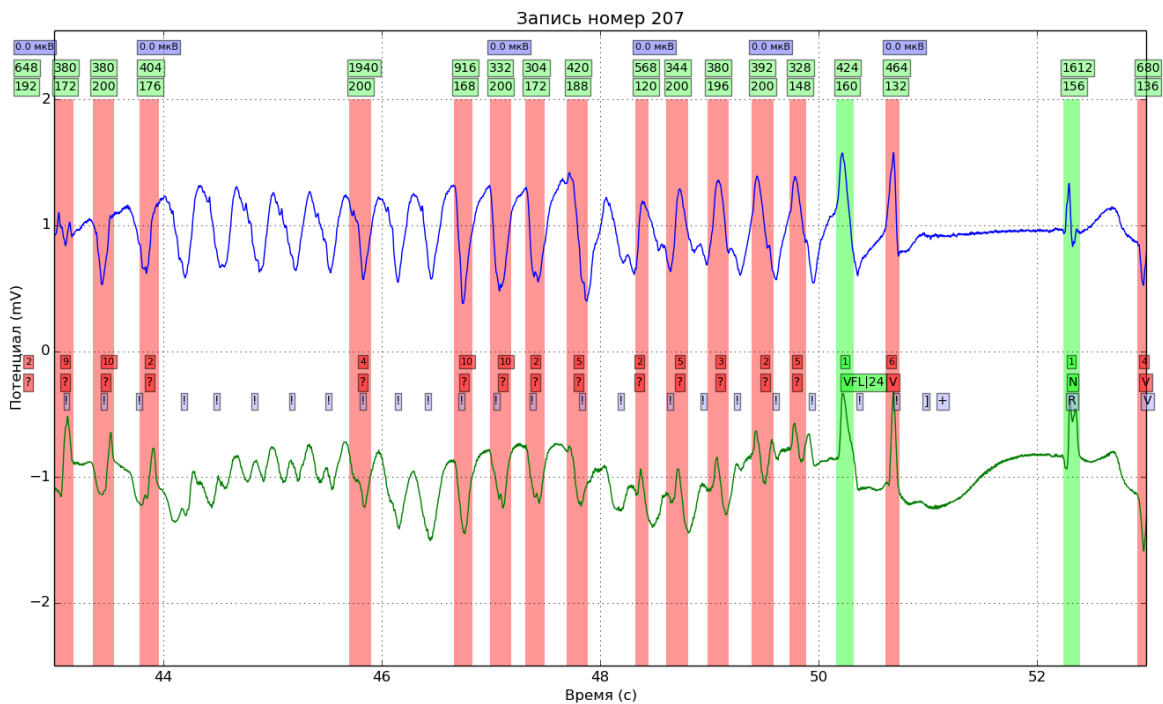
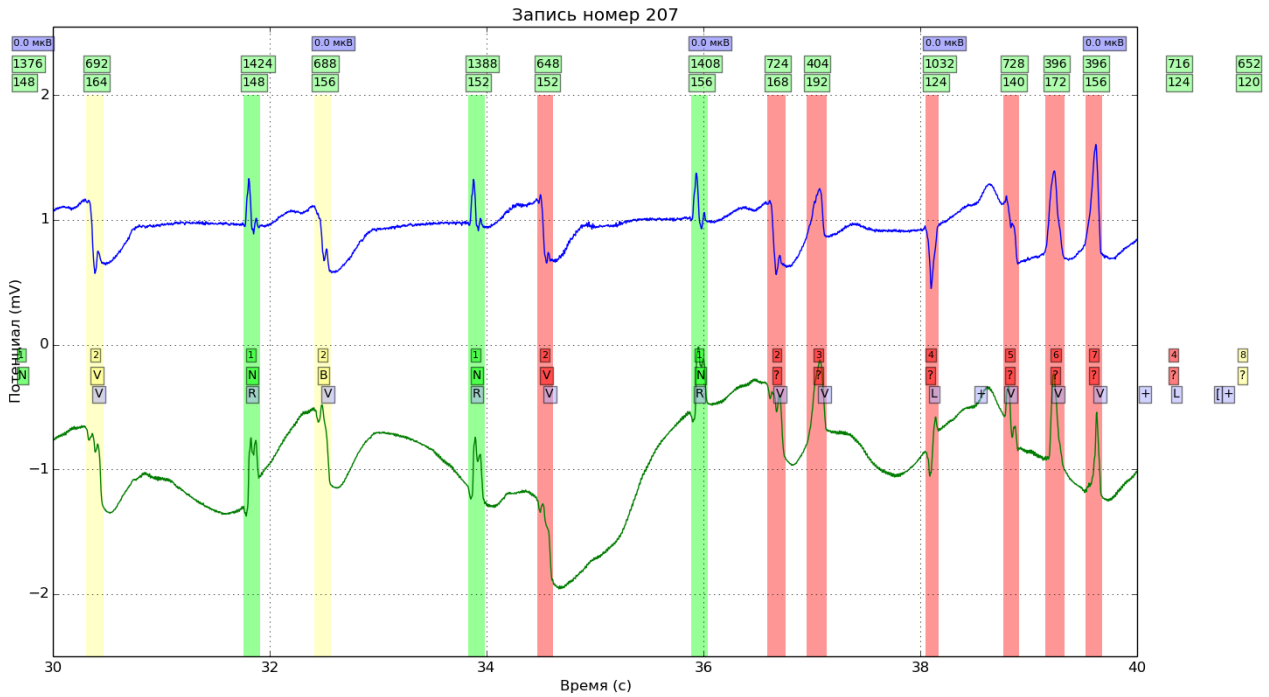
При ИВР возникают удары типа **ventricular escape beat (E)**. Присутствуют на 207 записи. Был распознан как 59 ударов ПЖТ



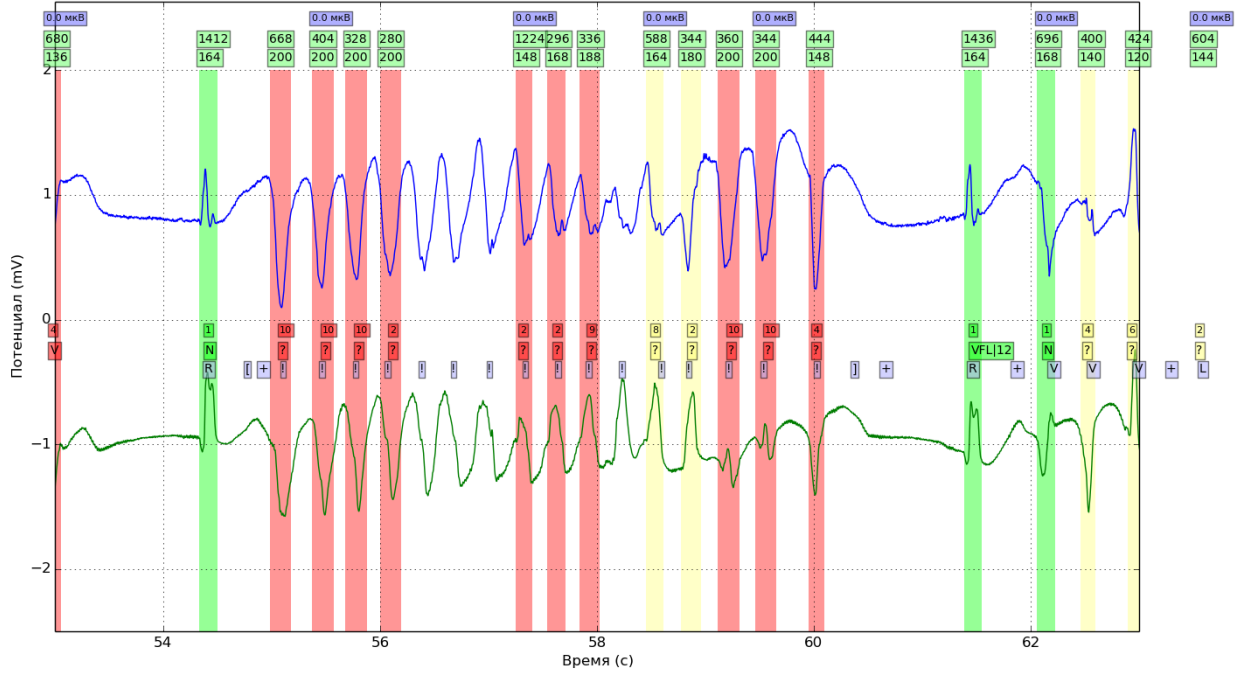
Мерцание/трепетание желудочков +

Ventricular flutter wave.

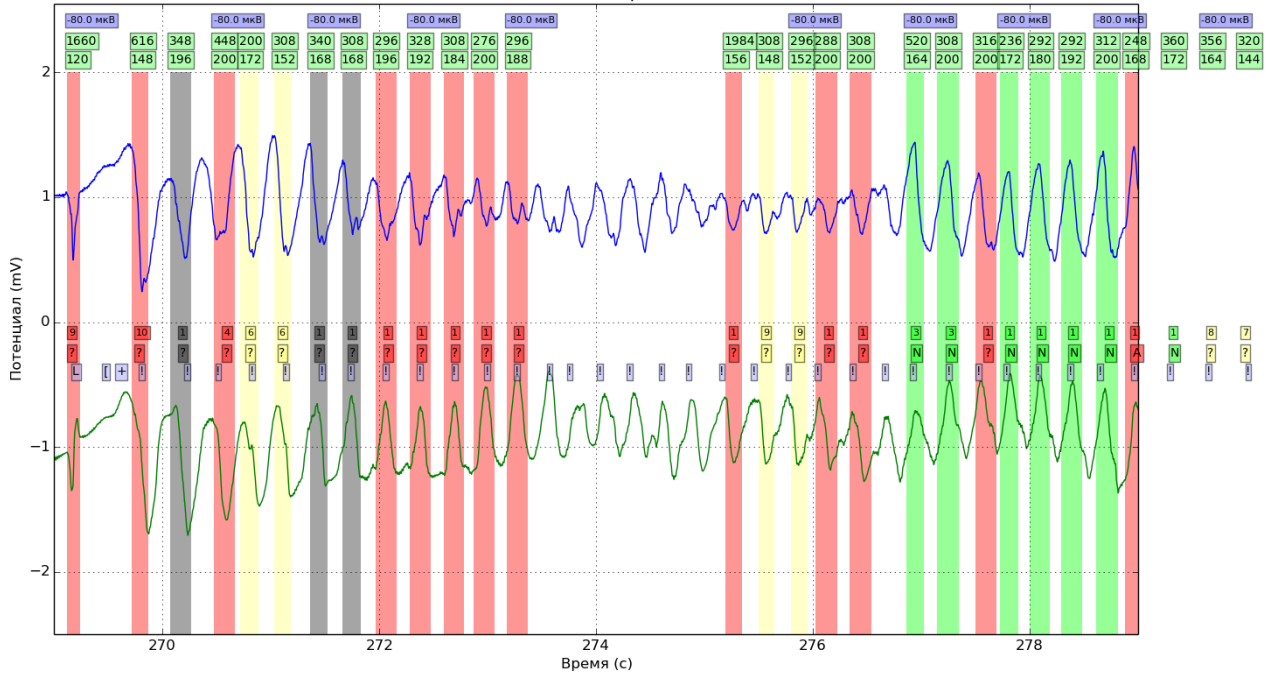
Устойчиво распознается как пароксизмальная тахикардия. Детектируется в конце приступа. Во время приступа не все комплексы детектируются, R-R интервалы увеличенные, до 3 с.

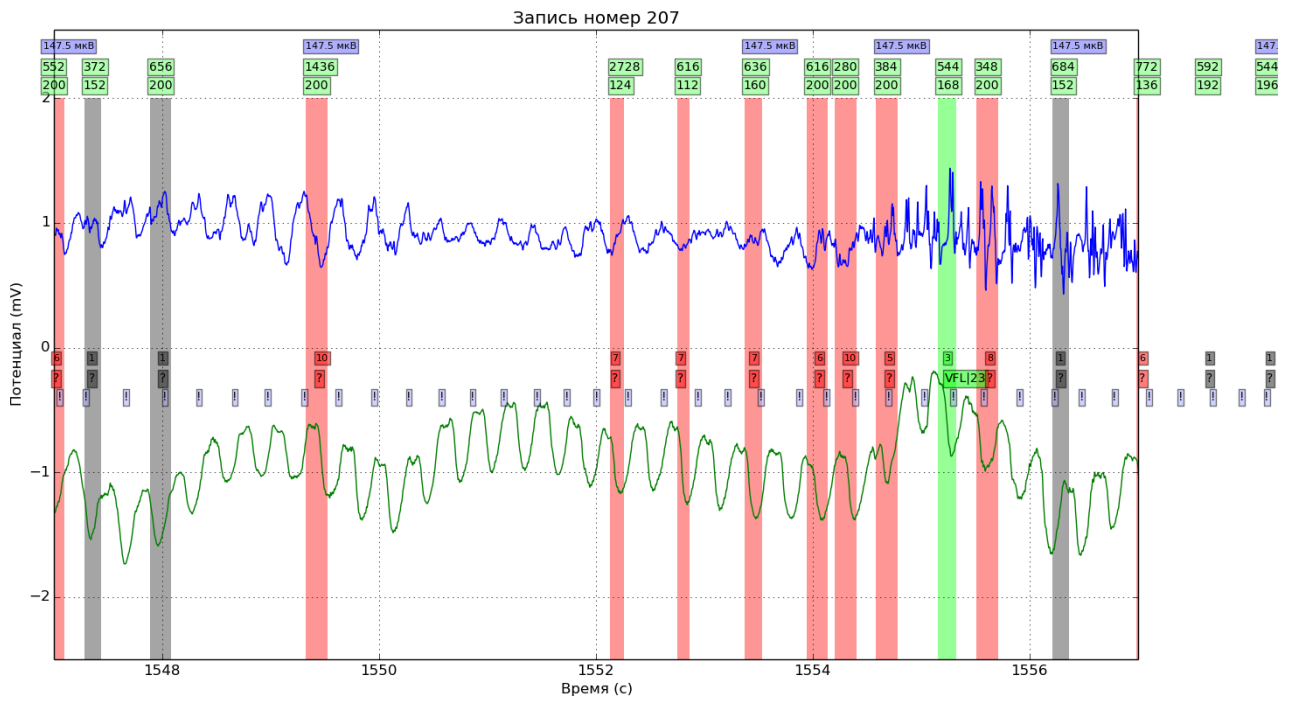


Запись номер 207

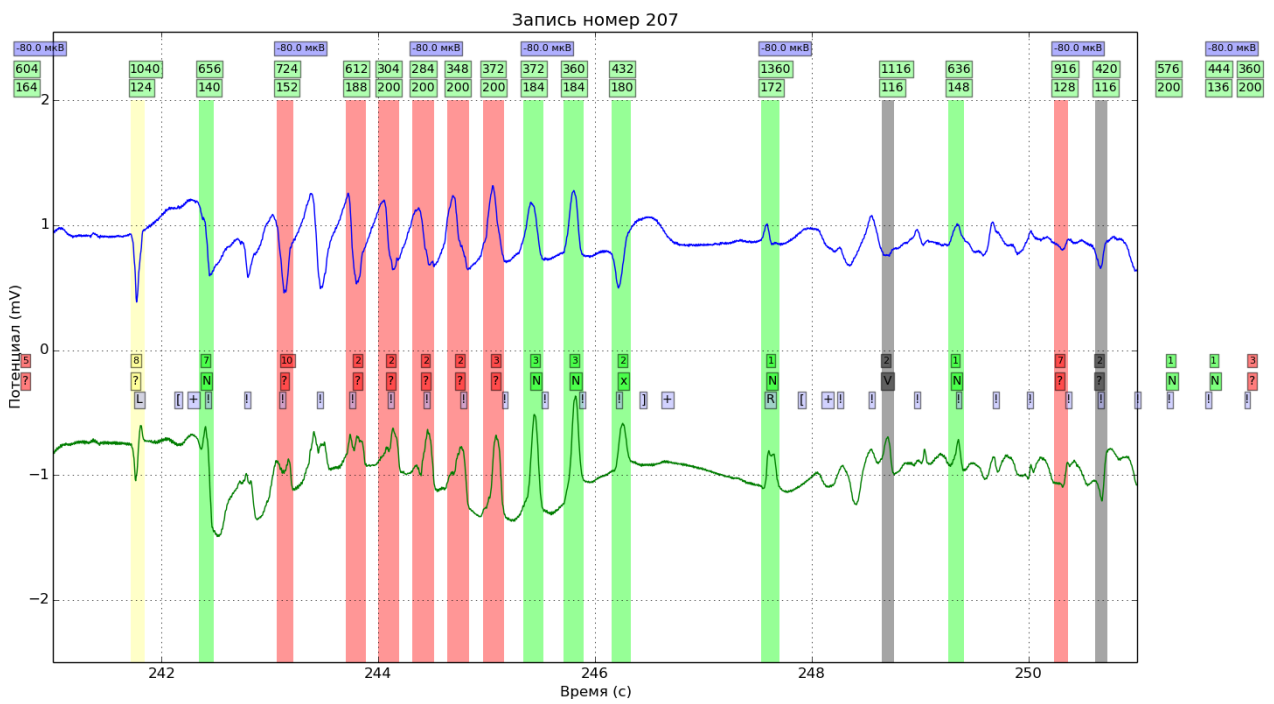


Запись номер 207





На 2:01 не распознана



Общий алгоритм анализа

1. После выполнения вызова метода результаты передаются в алгоритм поиска диагностически значимых событий.
2. При каждом запуске алгоритма результаты через интерфейс первичного анализа (raw observer interface, ROI) передаются в подписчики интерфейса.
3. Интерфейс ROI используется:
 - a. анализатором пауз и асистолии.
 - b. анализатором смещения ST-сегмента.
4. Для комплексов подсчитывается средний R-R интервал и отклонение от среднего.
 - a. Величина среднего R-R интервала используется для пороговых величин ЧСС (тахикардия (VT), брадикардия (SBR)).
5. При каждом запуске алгоритма результаты через интерфейс анализа последовательностей (sequence observer interface, SOI) передаются в подписчики интерфейса.
 - a. Комплексы задерживаются на N штук для однозначного определения групповой ЖЭ.
 - b. Средний интервал вместе с отклонением задерживаются на M комплексов для компенсации задержки фильтра относительно задержки комплексов.
 - c. Все комплексы разделяются на норму, ЖЭ и нарушение.
 - Норма: $type = 1 \parallel width < 140$
 - Нарушение: $(type \neq 1 \ \&\& \ width > 140) \ \&\& \ ar \neq \{V, B, T, RonT\}$
 - ЖЭ: $(type \neq 1 \ \&\& \ width > 140) \ \&\& \ ar == \{V, B, T, RonT\}$
 - d. При этом выделяется уровень достоверности анализа.
6. Подписчиками SOI являются:
 - a. Анализатор предсердных экстрасистол (СВЭ, А) — по критерию отклонения R-R интервала от среднего, и последовательностей: групповых СВЭ (AG), предсердной бигимении (AB).
 - b. Анализатор мерцательной аритмии (мерцания и трепетания предсердий, AFIB)
 - c. Анализатор Идиовентрикулярного ритма (IVR) и трепетания/мерцания желудочков (VFL).
 - d. Анализатор желудочковых экстрасистол и последовательностей: ЖЭ (V), бигимения (B), тригимения (T), групповая ЖЭ (VG).
 - e. ЖЭ, морфология которых отличается от морфологии предыдущего эпизода, относят к классу полиморфных ЖЭ: полиморфная ЖЭ (VP), групповая полиморфная ЖЭ (VPG)
7. Оконные счетчики появления вышеуказанных событий используются для анализа пороговых величин соответствующих нарушений.
8. Пороговые значения для наблюдаемых величин хранятся в JSON-формате в таблице ДЗС.
9. При превышении порога формируется диагностически значимое событие и запускается рефрактерный счетчик на заданный в таблице период. Данный счетчик необходим для блокировки часто возникающих и исчезающих событий и замены их на одно длительное событие.
10. При возникновении события вызывается функция обратного вызова (callback), которая может выполнять сохранение события с последующей передачей на сервер, светодиодную и звуковую индикацию.
- 11.

Список замечаний:

1. Событие зелёного уровня при смене морфологии нормальных комплексов
2. Событие на полиморфную ЖЭ отдельное + отдельно на групповую полиморфную