

**Schrittmachertherapie**

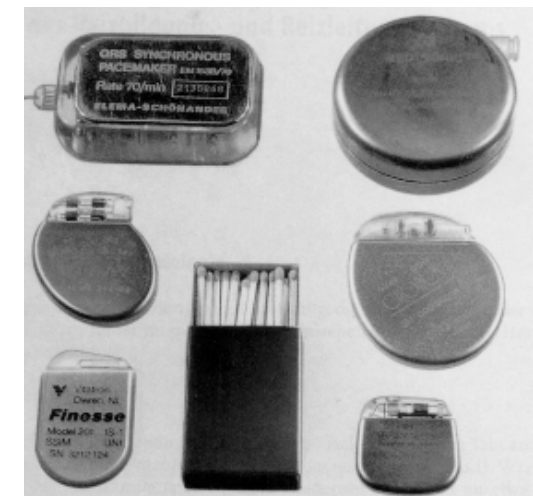
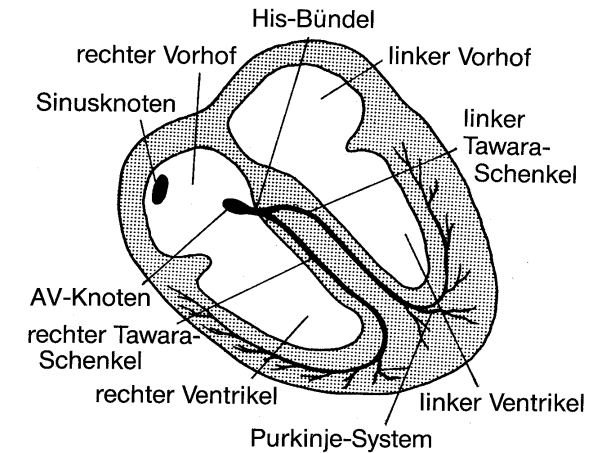
**1 Grundlagen der Schrittmachertherapie**

**1.1 Geschichte der kardialen elektrischen Stimulation**

Die Geschichte der elektrischen kardialen Stimulation geht in ihren frühesten Wurzeln bis bis auf die vorchristliche Zeit zurück:

ca. 400 v. Chr.	Plato überliefert erstmals die Erkenntnis, dass Gewebe in der Lage ist, eine elektrische Energie zu erzeugen: Er beschreibt die Wirkung des Zitterrochen (kann elektrische Schläge erzeugen)
ca. 1800	im Zuge der französischen Revolution und der damit reichlich anfallenden Enthaupteten unternimmt Bichat erstmals elektrische Experimente am Herzen frisch Enthaupteter und kann die elektrische Stimulierbarkeit des Herzens nachweisen.
1952	Elektrische Stimulation des Herzens von außen durch Plattenelektroden
1956	Erster externer Schrittmacher
1960	Erster implantierbarer Schrittmacher, damals noch Zink-Quecksilber-Batterien mit einer Laufzeit von 2 Jahren.
1964	Erster Bedarfsschrittmacher (VVI-Modus)
1969	Erster Zweikammerschrittmacher
1975	Mit einer Lithiumionenbatterie werden Laufzeiten von 5-15 Jahren erreicht.
1980	Erster automatischer Defibrillator
1983	Erster frequenzadaptierter Schrittmacher

Erregungsleitungssystem des Herzens



*H. Sullivan*

### 1.1 Wozu braucht man einen Schrittmacher?

Schrittmacher sind Geräte, die in der Lage sind, Herzmuskelzellen auf elektrischem Wege zu stimulieren. Dies geschieht in einem Spannungsbereich von wenigen tausendstel Volt über eine Zeitdauer von wenigen Millisekunden.

Die applizierte Energie hebt das Ruhepotential der Herzmuskelzellen und löst somit ein Aktionspotential aus, das aufgrund der Leitungseigenschaften der Herzmuskelzellen weitergeleitet wird.

Die primäre Aufgabe der Schrittmacher ist daher der **Schutz vor bradykarden Herzrhythmusstörungen** unterschiedlichster Art. Hierzu zählen u.a. folgende Erkrankungen:

- Bradykardes Vorhofflimmern
- SA-Block II. und III. Grades
- AV-Block II. und III. Grades
- Sinusbradykardie und Sinusarrest
- Bedrohung durch eine möglicherweise bevorstehende o.g. Rhythmusstörung.

Erst in den letzten Jahren kommen auch Entwicklungen zu Tage, bei denen der Schrittmacher zusätzlich Aufgaben zur Unterbrechung tachykarder Herzrhythmusstörungen übernimmt (AICD, antitachykarde Schrittmacher).

#### 1.1 Wie sieht ein Schrittmacher aus?

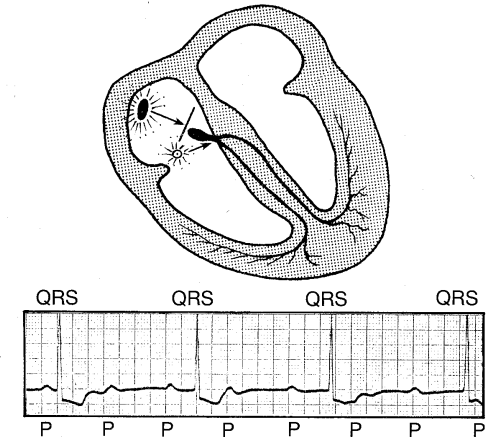
Ein Schrittmacher ist inzwischen ein etwa Uhrgehäuse-großes Instrument mit einer oder zwei angeschlossenen Elektroden.

##### 1.1.1 Das Schrittmachergehäuse...

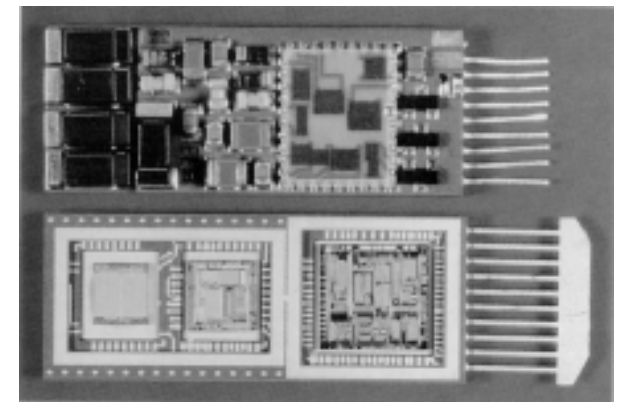
• ... wird in seiner Grösse ganz wesentlich von der Grösse der Batterie bestimmt. Die früheren Quecksilber-Zink-Batterien hatten eine Laufzeit von etwa 4 Jahren. Die heutigen **Lithium-Ionen-Batterien** dagegen haben eine wesentlich verbesserte Kapazität, sodass trotz geringem Umfangs eine Laufzeit von etwa 10 Jahren erzielt wird. Über die Einflussfaktoren auf die Laufzeit später noch mehr.

• Zweite, wesentlich kleinere Komponente stellt der **Schaltkreis** mit Speicher dar. In ihm sind einem **ROM** (Read-only-Memory)-Speicher die Programme abgelegt, die für die intelligente Funktion des Schrittmachers sorgen. In den **RAM-Speicher** (Random-Access-Memory) dagegen können Daten von aussen neu eingelesen werden. Dies geschieht mit Hilfe eines Schrittmacherprogrammiergerätes, dass über eine magnetische Koppelung von aussen mit dem Schrittmacher Kontakt aufnehmen kann (Telemetrie).

AV-Block III. Grades  
(kompletter AV-Block)



Vorhoffrequenz (Sinusknoten) = 75/min  
 Ventrikelfrequenz (junktionaler Ersatzrhythmus) = 33/min



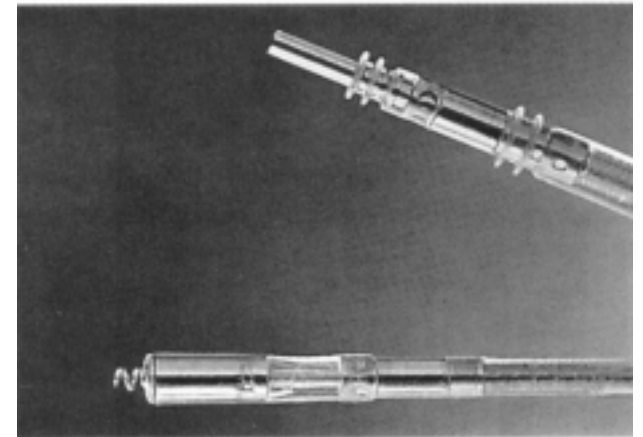
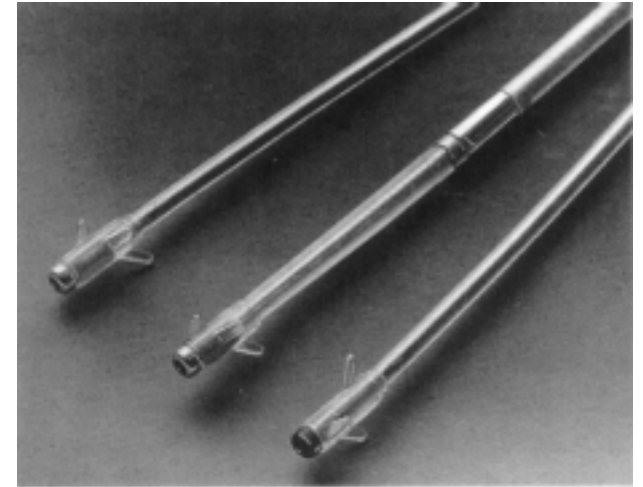
Handgezeichnete Notizen unter dem Bild des Schrittmachergehäuses.

- Bei speziellen Schrittmachern, die ihre eingestellte Frequenz den körperlichen Belastungen des Trägers anpassen können (frequenzadaptierte Schrittmacher) kommt noch ein **Messfühler** hinzu, der je nach Bauart auf unterschiedliche Weise die körperliche Aktivität messen kann: Bewegungsmelder, Messung der Muskelaktivität des Rumpfes, Messung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes des Blutes u.v.m.
- Das **Gehäuse** an sich besteht aus elektrisch leitfähigem Metall, da es bei bestimmten Einstellungen (bei Benutzung unipolarer Elektroden, siehe später) die **Rolle als Pluspol** bei Stromabgabe übernimmt.

### 1.1.1 Die Elektroden ...

Sie leiten die elektrische Energie vom Schrittmacher zum Herzen (Stimulation) bzw. vom Herzen zum Schrittmacher (Sensing).

- Der **Konnektor** ist der Anschluss der Elektroden an den Schrittmacher. Er muss absolut passgenau und dicht mit dem Schrittmachergehäuse abschliessen, damit es nicht zu einem elektrischen Kurzschluss mit dem das Gehäuse umgebenden Gewebe kommt. Bei Wechsel des Gehäuses (Aggregatwechsel) ist daher vorher abzuklären, dass Kabel und Gehäuse zueinander passen.
- Das **Kabel** muss einerseits hochflexibel sein, damit es zu keinem Kabelbruch kommt. Andererseits muss das Kabel möglichst steif gemacht werden können, wenn man es korrekt plazieren können will. Bewährt hat sich daher eine im Kunststoffmantel eingehüllte Metallspirale, durch die bei der Plazierung zur Versteifung ein Führungsdraht eingeführt werden kann.
- Der **Elektrodenkopf** hat zwei wesentliche Aufgaben zu erfüllen: Einerseits eine gute mechanische Verankerung der Elektrode im Endokard mit Schutz gegen Dislokation; andererseits die möglichst optimale Aufnahme bzw. Weitergabe der elektrischen Energie aus bzw. in das Myokard.
- Die **mechanische Verankerung** wird durch Anbringen sog. Anker- oder Schraubelektroden erreicht, die sich regelrecht im Trabekelwerk des rechten Ventrikels verhaken. Schwieriger dagegen ist immer die Verankerung in der lateralen Wand des rechten Vorhofs. Schraubelektroden bieten den Vorteil des besseren Haltes, haben aber den Nachteil, dass sie bei der Plazierung leichter das Myokard perforieren können.
- Die **Impulsübertragung (Pacing)** ist die zweite wichtige Aufgabe des Elektrodenkopfes. Die Grösse und Form des Elektrodenkopfes ist u.a. entscheidend für die Energieübertragung. Heutzutage werden in der Regel Köpfe mit einer hochleitfähigen mikroporösen Oberfläche bevorzugt.
- Die **Energie des Impulses** hängt von zwei Faktoren ab: 1. Die Spannung, die an der Elektrode anliegt (im mV-Bereich) und 2. die Dauer des Impulses. Will man die Impulsenergie eines Schrittmachers erhöhen, kann man also entweder die Spannung erhöhen, oder die Impulsdauer (Millisekundenbereich) oder natürlich auch beides.



*H. Sullivan*

- Die sog. **Reizschwelle** des Myokards, also die Energie, die benötigt wird, einen Impuls an das Myokard weiterzuleiten, ist jedoch nicht nur von der Elektrode abhängig, sondern auch von der Reaktion des Endokards auf die Sondenimplantation: bildet sich um den Kontaktort der Sonde zum Endokard zu viel Bindegewebe (das keine elektrische Energie übertragen kann), so steigt die Reizschwelle des Myokards. Stress, Fieber, bestimmte Medikamente dagegen können die Reizschwelle kurzfristig verändern. Allgemein wird beobachtet, dass etwa 10 Tage nach der SM-Implantation die Reizschwelle am höchsten liegt und im Verlauf von etwa 3 Monaten durch Bindegewebsbildung immer noch etwas höher als zur Implantationszeit liegt. Daher wird eine erste SM-Kontrolle auch bereits nach 3 Monaten fällig. Die Bestimmung der Reizschwelle intraoperativ ist besonders wichtig, damit die Energieabgabe des Schrittmachers deutlich über der Reizschwelle liegt (100% Zugabe).

- Die Wahrnehmung elektrischer kardialer Signale (**Sensing**) wird ebenfalls über die implantierten Elektroden durchgeführt. Das Sensing gehört zu jedem modernen Schrittmacher inzwischen obligat dazu, selbst für passagere Schrittmacher, wie sie auf einer Intensivstation genutzt werden. Um ein sauberes Sensing durchführen zu können, bedarf es zweier Grundbedingungen:

- Die Energie, die an der Elektrode ankommt, muss ausreichend sein, um wahrgenommen werden zu können. Ist der Schrittmacher zu unempfindlich eingestellt, kann er auf kardiale Eigenaktionen nicht reagieren (**Undersensing**).

Vorsicht: Eingestellt wird am Schrittmacher die Mindestenergie, die erforderlich ist, um den Schrittmacher ‚zu wecken‘. Das bedeutet: Je höher die Zahl am Sensingknopf des Schrittmachers, desto *unempfindlicher* der Schrittmacher.

- Die Signale, die am Schrittmacher ankommen, müssen von den elektrischen Signalen getrennt werden, die aus anderen elektrisch aktiven Organen kommen, z.B. die umgebende Brustmuskulatur. Auch elektrische Impulse einer evtl. implantierten 2. Sonde dürfen nicht fälschlicherweise als kardiale Signale interpretiert werden. Ein komplexes Filtersystem und konfigurierbare Programmparameter sollen dieses sog. **Oversensing** verhindern.

### 1.1.1 Bipolar oder Unipolar?

Um eine Spannung anlegen zu können, benötigt man immer zwei Pole (+/-). Der Minuspol liegt hierbei immer dem Myokard an. Der Pluspol dagegen kann entweder ebenfalls auf dem Elektrodenkabel liegen (bipolare Elektrode) oder aber vom Schrittmachergehäuse gestellt werden (unipolare Elektrode).

	Unipolare Elektrode	Bipolare Elektrode
<b>Sensing</b>	Durch die relativ weite Entfernung der beiden Pole kann es leichter zum Oversensing kommen.	Das Sensing ist meist nicht durch Fremdsignale gestört.

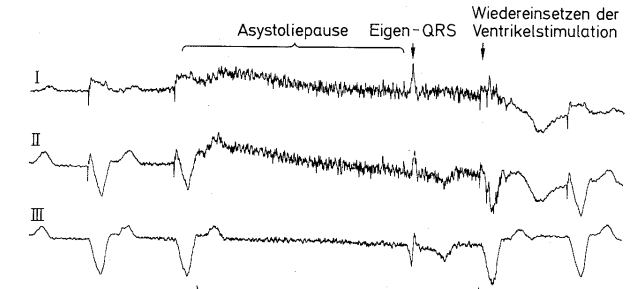
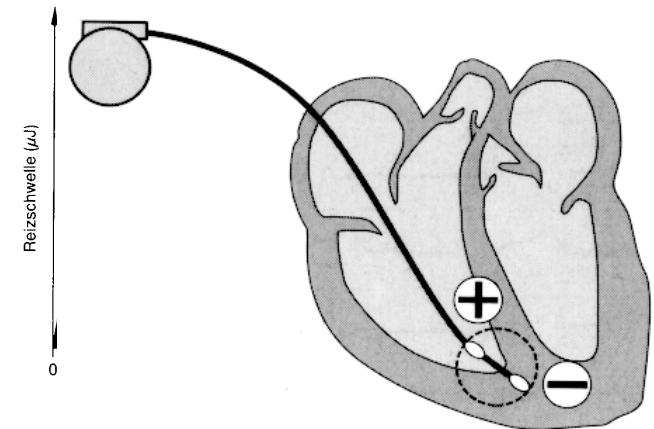


Abb. 24. Die Reizschwelle erhält man, indem man die angelegte Spannung progressiv verringert, bis der Impuls nicht mehr effektiv ist. In diesem Beispiel wird die Spannung amplitude im Ventrikel dieses Zweikammerschrittmachers bei jedem Zyklus um 0,25 V – ausgehend von 4,75 V – verringert, mit Hilfe eines sogenannten automatischen Reizschwellentests. Der 14. Impuls ist noch effektiv, der 15. jedoch nicht mehr. Die Reizschwelle liegt also bei 1,5 V

*Kf. [Handwritten signature]*

	Unipolare Elektrode	Bipolare Elektrode
<b>Pacing</b>	Es werden weniger Energien als bei der bipolaren Elektrode gebraucht. Das SM-Signal ist im Oberflächen-EKG gut zu sehen.	Das SM-Signal ist im Oberflächen-EKG kaum zu sehen, da die Pole so nahe zusammen liegen. Die Energieabgabe ist höher als bei der unipolaren Elektrode.
<b>Kabeldicke</b>	Die unipolare Elektrode ist dünner und flexibler. Sie neigt nicht so leicht zum Kabelbruch und ist bei der Implantation leichter führbar.	Die bipolare Elektrode ist dicker, brüchiger und schwerer einführbar. Bei einem Defekt eines Poles kann die Elektrode durch Umprogrammierung auf unipolar evtl. noch benutzt werden.

## 1 Stimulationsmodi und ihre Programmparameter

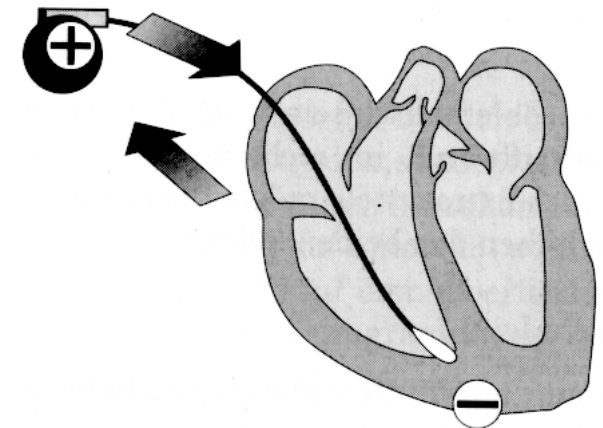
Nochmals eine Erinnerung an die Indikation für einen Schrittmachers. Der SM soll

- **bradykarde Herzrhythmusstörungen behandeln.** Unter einer Bradykardie kann dabei heutzutage bei der Güte der SM auch bereits eine scheinbar normale Frequenz von z.B. 70/min verstanden werden, wenn sie den Anforderungen an das aktuelle Herzzeitvolumen nicht entspricht. Beispiel: Fehlender Frequenzanstieg bei sportlicher Aktivität im Rahmen einer Sinusknotenerkrankung.
- Der SM soll dabei dem physiologischen Ablauf möglichst nahekommen. Besonders wichtig hierbei ist, dass unter physiologischen Bedingungen zunächst die Vorhöfe stimuliert werden (mit entsprechender optimaler diastolischer Füllung der Ventrikel), erst danach die Ventrikel. Diese **atrioventrikuläre Sequenzstimulation** sichert ein optimales Schlagvolumen und sollte daher auch vom Schrittmacher eingehalten werden. Wie wir noch sehen werden, gibt es von dieser Forderung nur eine **Ausnahme**, nämlich das **Vorhofflimmern**.

### 1.1 Internationale Schrittmacherkodierung

In nachstehender Tabelle finden sich die wichtigsten Schrittmachertypen, die eingesetzt werden. SSI ist hierbei nur ein Überbegriff für VVI oder AAI, d.h. der so bezeichnete SM kann sowohl im Atrium als auch im Ventrikel implantiert werden.

	1. Pacing	2. Sensing	3. Triggerung oder Inhibition
<b>SSI</b>	Atrium oder Ventrikel	Atrium oder Ventrikel	Inhibiert
<b>VVI</b>	Ventrikel	Ventrikel	Inhibiert



*H. Sullivan*

	1. Pacing	2. Sensing	3. Triggerung oder Inhibition
<b>AAI</b>	Atrium	Atrium	Inhibiert
<b>DDD</b>	Atrium + Ventrikel	Atrium + Ventrikel	Inhibiert + Getriggert
<b>VOO</b>	Ventrikel	Kein Sensing	Keine weitere Funktion
<b>DOO</b>	Atrium + Ventrikel	Kein Sensing	Keine weitere Funktion

### 1. und 2. Buchstabe: Topographische Angaben:

- A = Atrium, also rechter Vorhof  
 V = rechter Ventrikel  
 D = Dual, d.h. Vorhof und Ventrikel

### 3. Buchstabe: Kontrollfunktion

- I = Inhibiert: Der SM achtet auf Eigensignale des Herzens. Werden diese rechtzeitig wahrgenommen, wird der Impuls des SM unterdrückt.  
 T = Triggerung: Der SM achtet auf Eigensignale des Herzens oder der anderen Elektrode. Dieses Signal löst nach einem vorgegebenen Intervall eine weitere Aktion des SM aus.  
 D = Dual Mode: Beide obengenannten Funktionen werden gleichzeitig ausgeübt.

### 4. Buchstabe (optional): Frequenzadaptation

- R = Frequenzadaptation, d.h. der Schrittmacher passt seine Frequenz der körperlichen Aktivität an.

Noch nichts verstanden? Macht nichts, denn jetzt wird es an konkreten Beispielen erklärt!

*A. Sullivan*

### 1.1 Der Einkammerschrittmacher: SSI (AAI, VVI)

Der Einkammerschrittmacher besitzt nur eine Elektrode, die entweder im Ventrikel (VVI) oder im Vorhof (AAI) zu liegen kommt. Er kann damit

- In einer Kammer stimulieren,
- In einer Kammer überwachen (Sensing) und ggf.
- durch die elektrische Aktivität dieser Kammer inhibiert werden.

#### 1.1.1 Demandfunktion

Hierbei ist das Sensing natürlich die Voraussetzung für eine Inhibition. Ein inhibierbarer SM wird auch Demandschrittmacher genannt, da er nur stimuliert, wenn dies erforderlich scheint.

Demgegenüber spricht man von einem starrfrequenten bzw. ‚Asynchronen‘ SM, wenn dieser ‚ohne Rücksicht auf kardiale Ereignisse‘ stimuliert. Ein solcher starrfrequenter SM kommt nur in bestimmten Fällen zum Einsatz:

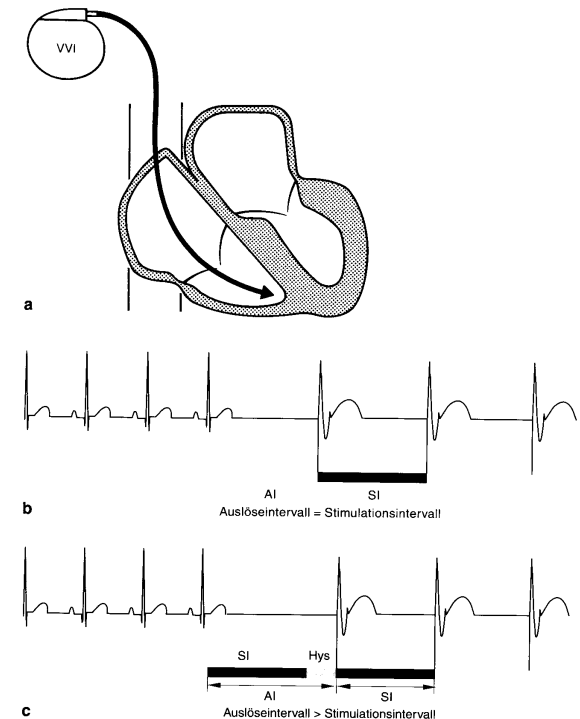
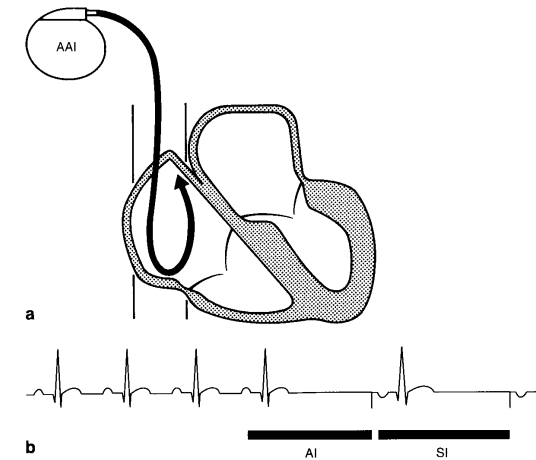
- zu diagnostischen Zwecken schaltet jeder SM bei Auflage eines Magneten in den SOO- (beim DDD-SM DOO-) Modus um, d.h. er zeigt eine starre Stimulation mit einer für solche Fälle vorgegebenen Frequenz, der ‚Magnetfrequenz‘, die in der Regel höher liegt, als die normale SM-Frequenz.
- Unterliegt der SM ungewollten magnetischen Einflüssen, schaltet er nicht ab, sondern springt auf die eingestellte asynchrone Magnetfrequenz um, wodurch der Pat. gegen Bradykardien geschützt wird.

Bei der Demandfunktion dagegen erkennt der SM die Eigenaktionen des Herzens. Schlägt das Herz mit einem Puls, der unter der voreingestellten Grenze liegt, so stimuliert der SM, bis das Herz wieder einen höheren Puls als programmiert abgibt.

Beispiel: Ein Patient mit einer Bradyarrhythmie bei Vorhofflimmern zeigt im LZ-EKG einen sehr variablen Puls, der aber nie unter die fast wie mit einem Strich gezogene Linie von 60/min fällt. Grund: Der Pat. besitzt einen VVI-SM mit einer Frequenz von 60/min und ohne Frequenzadaptation.

#### 1.1.1 Hysterese (Auslöseintervall)

Was aber, wenn ein Pat. mit einem SM mit einer Frequenz von 60/min ständig zwischen 58/min und 75/min Abs. Arrhythmie bei Vorhofflimmern hin und her wechselt? Dann würde der SM jedesmal, wenn die Frequenz auch nur knapp unter 60/min fällt, einspringen. Das aber kostet Strom! Daher wird dem SM beigebracht, sich etwas in Geduld zu üben und noch einen Moment zu warten, bis er auslöst: Erst bei Unterschreiten der Frequenz von 50/min springt er an, stimuliert dann aber mit seiner programmierten Frequenz von 60/min. Der Pat. kann den SM dann erneut nur inhibieren, wenn seine Eigenfrequenz 60/min übersteigt.



*ap; ...*

Sinn der Hysterese ist einzig allein Stromsparen.

### 1.1.1 Frequenzadaptation

Pat., die nicht in der Lage sind, ihren Puls dem aktuellen Herzminutenvolumenbedarf anzupassen, profitieren von einer Zusatzfunktion moderner Schrittmacher, die im Stande sind, körperliche Aktivität zu messen.

Dies geschieht heutzutage überwiegend durch Messung der Muskelpotentiale der Brustmuskulatur, die normalerweise bewusst gefiltert werden, um ein Oversensing zu verhindern (siehe vorausgegangene Ausführungen). Je ausgeprägter diese Signale, desto mehr körperliche Aktivität wird angenommen.

In diesem Fall bleibt der SM nicht bei seiner programmierten Grundfrequenz, sondern erhöht diese gemäß einer programmierten Einstellung bis auf eine maximale Frequenz, die ebenfalls programmiert werden kann. Diese sog. maximale Sensorfrequenz beträgt bei einer älteren Person vielleicht nur 100/min, bei anderen vielleicht 140 oder gar 160/min. Gleichzeitig wird programmiert, wie schnell sich der SM den Sensorsignalen anpassen soll (schneller/mittlerer/langsamer Frequenzanstieg, bzw. Frequenzabfall nach Belastung).

Ein solcher SM bekommt den Zusatzbuchstaben -R. Typisches Beispiel wäre ein VVI-R.

→ Zusammenfassend: Die Einkammerschrittmacher zeigen schon eine ganze Menge programmierbarer Parameter, obwohl sie gegenüber dem Zweikammerschrittmacher vergleichsweise einfach zu handhaben sind.

Programmierbarer Parameter	Funktion
<b>Modus</b>	SSI = Standardfunktion SOO = Asynchrone Strimulation durch Magnetauflage mit Magnetfrequenz oder aber durch Umprogrammierung in den SOO-Modus mit jeder programmierbaren Frequenz für diagnostische Zwecke oder bei SM-Defekt bis zum Austausch.
<b>Impulsamplitude</b>	Höhe der Spannung, die bei einem Impuls an die Elektrode angelegt wird. Die Spannbreite reicht von etwa 0,5 bis hin zu 7 V (bei passageren SM bis zu 20V)
<b>Impulsdauer</b>	Dauer des Impulses, die Dauer liegt im Bereich von 10 bis 50 ms.
<b>Elektrodenkonfiguration - Stimulation</b>	Bei einer bipolaren Elektrode kann hier zwischen unipolar und bipolar gewählt werden. Für die <i>Stimulation</i> hat die unipolare Konfiguration Vorteile.
<b>Elektrodenkonfiguration - Sensing</b>	Wiederum ist die Wahl der Konfiguration nur bei einer bipolaren Elektrode möglich. Für das <i>Sensing</i> hat sich die bipolare Konfiguration bewährt.



Programmierbarer Parameter	Funktion
<b>Sensitivität</b>	Spannung, die am Elektrodenkopf ankommen muss, damit diese erkannt wird. Je höher diese Spannung eingestellt ist, desto geringer die Sensitivität.
<b>Grundfrequenz</b>	Die Frequenz mit der ein SM unter Ruhebedingungen bzw. bei ausgeschalteter Frequenzadaptation stimuliert. Der Programmierung sind kaum Grenzen gesetzt: z.B. 40 bis zu 90/min.
<b>Hysterese</b>	Die Frequenz, die ein SM gerade noch zulässt, ohne zu stimulieren. Die Hysterese wird z.B. als Pulsdifferenz von der Grundfrequenz angegeben: Grundfrequenz 70/min, Hysterese 10/min → der SM setzt bei unter 60/min ein.
<b>Frequenzadaptation</b>	Ein/Aus
<b>Maximale Sensorfrequenz</b>	Maximale Grundfrequenz, die durch körperliche Aktivität am SM ausgelöst werden kann.
<b>Frequenzanstieg</b>	Beides wird nur qualitativ programmiert: ‚schnell, mittel, langsam‘ bestimmen, wie schnell der SM auf Veränderungen der körperlichen Aktivität reagiert.
<b>Frequenzabfall</b>	

### 1.1.1 Indikationen für einen SSI-Schrittmacher

Der SSI-SM kann entweder im Atrium oder im Ventrikel eingesetzt werden. Die Indikationen für die jeweilige Platzierung sind unterschiedlich:

- *AAI-SM*

Beim AAI-SM findet Sensing und Pacing ausschließlich auf Höhe der Vorhöfe statt. Indikation für seinen Einsatz ist also demnach eine Rhythmusstörung, die ausschließlich die Vorhöfe betrifft. Die AV-Überleitung sowie die ventrikuläre Erregungsausbreitung dürfen nicht und auch in absehbarer Zukunft nicht gestört sein.

## Indikationen zur Implantation eines AAI-Schrittmachers

**Sinusbradykardie**

**Sinusalblock**

**Sinuatritaler Block II. und III. Grades**



- *VVI-SM*

Beim VVI-SM findet Sensing und Pacing ausschließlich im Ventrikel statt, der Schrittmacher hat keinen Einfluss auf die Vorhoferregung, er gewährleistet keine AV-sequentielle Stimulation.

Bei Pat., deren AV-Leitung auch in Gegenrichtung funktioniert, kann es darüber hinaus auch zu einer retrograden Erregungsausbreitung aus dem Ventrikel in den Vorhof kommen, was Pat. mit einem Sinusrhythmus unangenehm spüren können.

Daher kommt der VVI-SM nur als optimales Instrument dann aus, wenn

- kein normaler Vorhofrhythmus besteht und damit bereits vor SM-Implantation keine AV-sequentielle Erregungsausbreitung mehr bestand und wenn
- durch einen SM eine normale Vorhofstimulation und Wiederherstellung einer AV-sequentiel- len Erregung nicht möglich ist.

Und da bleibt eigentlich nur eine einzige Indikation:

### Indikation zur Implantation eines VVI-Schrittmachers

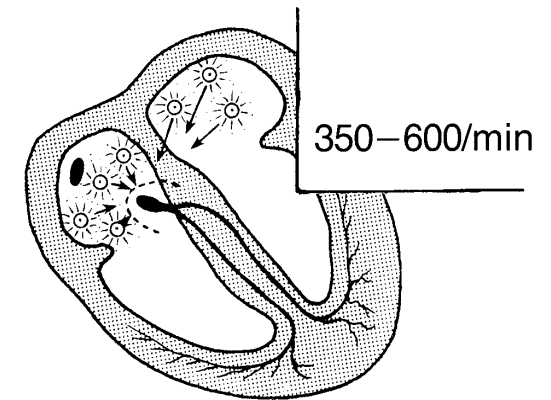
**NUR: Bradyarrhythmie bei Vorhofflimmern**

Natürlich kann es in individuellen Fällen dennoch erlaubt sein, einen VVI-SM auch bei anderen Indikationen einzusetzen, die grundsätzliche Indikation bezieht sich jedoch ausschließlich auf das Vorhofflimmern, eine andere Entscheidung bedarf einer Ausnahmebegründung.

- *Zusatz -R: Frequenzadaptation*

Ein frequenzadaptierter Schrittmacher wird dann eingesetzt, wenn der Pat. unter körperlichen Belastungsbedingungen einen ungenügenden Frequenzanstieg zeigt. Dies kann am Belastungs-EKG erprobt werden.

### Vorhofflimmern



*H. Sullivan*

### 1.1 Zweikammerschrittmacher: DDD-Modus

Der Zweikammerschrittmacher erfüllt die Erwartungen an einen optimalen möglichst nahe der Physiologie des Herzens gebauten av-sequentiellen Schrittmacher. Er besitzt zwei Elektroden für Atrium und Ventrikel. In beiden Kammern kann er sowohl Eigenaktionen des Herzens erkennen (Sensing) als auch Stimulieren (Pacing). Darüber hinaus aber können Erregungen des Vorhofes weitere Aktionen des Schrittmachers im Ventrikel auch auslösen. Das bedeutet: Der Schrittmacher wird nicht nur durch Eigenaktionen des Herzens inhibiert, wie es beim SSI-Modus der Fall war, sondern Eigenaktionen des Herzens (genauer: des Vorhofs) setzen auch Programmabläufe in Gang, triggern also den Schrittmacher. Daher die Bezeichnung: **DDD**

D: Stimulation in beiden Kammern

D: Sensing in beiden Kammern

D: Der SM wird teils inhibiert, teils getriggert

#### 1.1.1 Programmalgorithmus des DDD-SM

Nebenstehend ist der normale Programmablauf eines DDD-Schrittmachers graphisch dargestellt. Der SM wartet zunächst auf eine Vorhofaktion. Tritt diese nicht innerhalb der eingestellten Frequenz ein, setzt der SM selbst einen Stimulus, ansonsten wird die Vorhofsonde inhibiert.

Beides, die Eigenaktion des Vorhofes aber auch der Vorhofstimulus des SM triggert jetzt den weiteren Programmablauf: Zunächst wird die programmierte AV-Überleitungszeit (physiologisch: 0,12 bis 0,2 Sekunden, entsprechend der PQ-Zeit im EKG) abgewartet. Kommt es dann zur Ventrikelaktion, wird die Ventrikelsonde inhibiert. Kommt es nicht zur spontanen Ventrikelsonde, löst der SM einen Stimulus im Ventrikel aus. Mit der Ventrikel-erregung setzt dann eine Wartezeit ein, in der der SM funktionslos gestellt wird, die PVARP (Postventrikuläre atriale Refraktärzeit), bis das Programm von vorne beginnt.

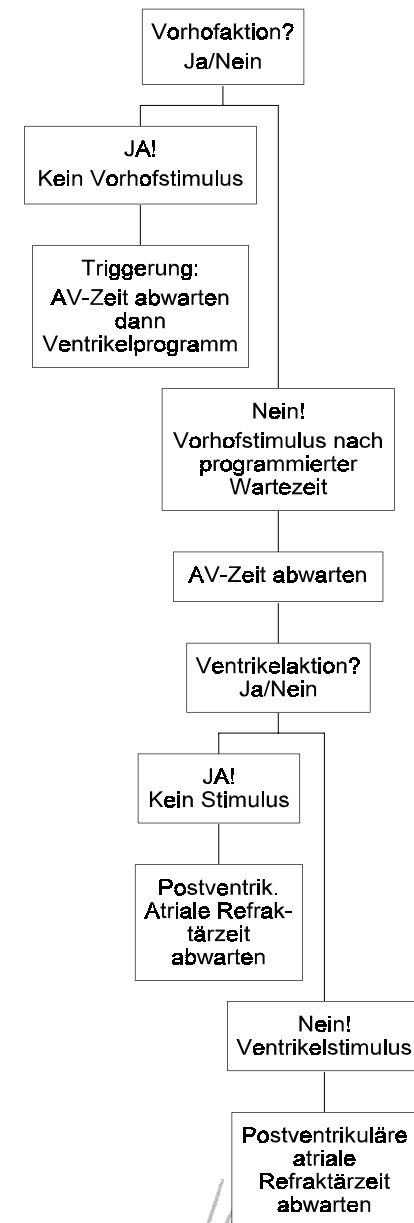
Es ist denke ich bereits jetzt erkennbar, dass die Programmierung eines DDD-SM deutlich komplexer als die eines Einkammerschrittmachers ist. Gehen wir die Einstellungen einzeln durch:

- **Impulsamplitude und Impulsdauer**

Beide Parameter kennen wir vom Einkammerschrittmacher. Die Impulsenergie muss hier jedoch für jede Elektrode einzeln programmiert werden. Die Impulsenergie für den Vorhof liegt meist ein gutes Stück niedriger als die des Ventrikels.

- **Sensitivität**

Siehe SSI-Schrittmacher!



*H. Jullman*

- **Elektrodenkonfiguration: Unipolar/Bipolar**

Auch diese Einstellung ist bereits bekannt, siehe oben. Auch hier erfolgt die Programmierung jeweils für Pacing und Sensing getrennt für Atrium und Ventrikel, also alleine bereits vier Programmierungsparameter.

- **Frequenz**

Natürlich muss auch für den DDD-SM eine Grundfrequenz eingestellt werden. Doch aufgepasst: Hier gilt die Grundfrequenz v.a. für die Vorhofelektrode, denn die Ventrikelektrode richtet sich zunächst danach, wann sie durch eine Vorhofaktion getriggert wird. Hat der Pat. einen SR von 120/min, dann wird auch die Ventrikelsonde 120 mal pro Minute getriggert. Die Grundfrequenz stellt hier also eine Art untere Schutzgrenze dar, die bei erhaltener Vorhoffunktion jedoch beliebig überschritten werden kann.

- **Frequenzadaptation**

Mit Hilfe der Frequenzadaptation kann, wie beim SSI-SM, die Grundfrequenz abhängig von körperlicher Aktivität angehoben werden. Diese Funktion ist daher für Pat. wichtig, die nicht mehr in der Lage sind, ihre Herzfrequenz an körperliche Belastungen anzupassen. Die programmierbaren Parameter unterscheiden sich nicht von denen des SSI-R-Schrittmachers.

- **AV-Zeitintervall**

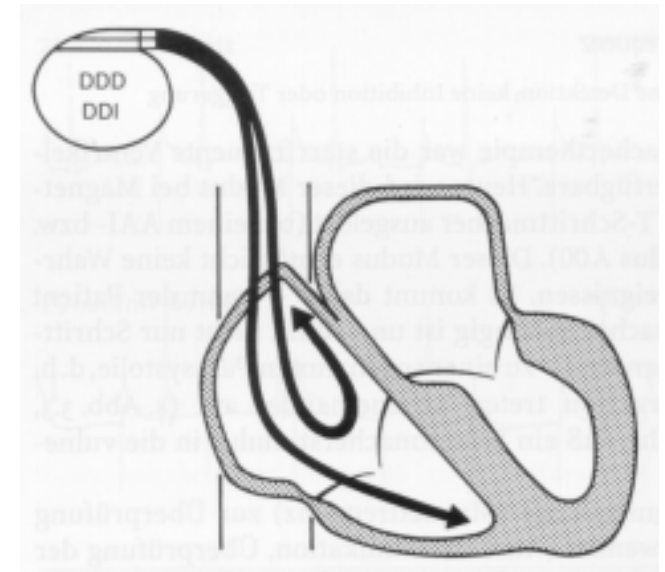
Das AV-Intervall simuliert die physiologische AV-Überleitung, die normalerweise 0,12 bis 0,2 Sekunden dauert. Das AV-Intervall wird nach einer Vorhofaktion aktiviert. In dieser Zeit wartet die Ventrikelektrode auf eine Eigenaktion des Ventrikels. Kommt diese nach Ablauf der AV-Zeit nicht im Ventrikel zustande, wird ein Ventrikelstimulus ausgelöst. Ein korrektes AV-Intervall ist einerseits für eine gute atrioventrikuläre Erregungssequenz mit guter diastolischer Ventrikelfüllung wichtig, andererseits könnte die AV-Überleitung des Ventrikels ja auch nur minimal bzw. nur zeitweise verlängert sein.

Daher ist es sinnvoll, dass der SM bei der AV-Zeit noch eine kurze ‚Geduldphase‘ draufschlägt, falls dann aber immer noch keine Erregung im Ventrikel ankommt, bei den folgenden Aktionen die korrekte AV-zeit einhält. Diese ‚Gedultszeit‘ haben wir schon beim SSI-SM kennengelernt, wir nannten sie Hysterese. In diesem Fall sprechen wir von **AV-Hysterese**.

Die individuell optimale AV-Hysterese kann auch von einem intelligenten SM-Programm selbst ermittelt werden, indem man die sog. **AV-Suchhysterese** einstellt.

Zu guter Letzt muss noch bedacht werden, dass die AV-Überleitung je nach Pulsfrequenz variiert. Je schneller der Herzrhythmus, desto schneller die atrioventrikuläre Überleitung. Ein moderner DDD-SM verfügt daher über eine **dynamische AV-Zeit**, die sich der jeweiligen Frequenz anpasst.

- **Ventrikuläre Blankingzeit** (Sicherheitsfenster)



*H. Sullivan*

Unter einer ventrikulären Blankingzeit versteht man ein Zeitintervall (programmierbar zwischen 12 und 75 ms), in der die Ventrikelsonde nach Vorhofstimulus abgeschaltet bleibt, damit die Ventrikelsonde Nachpotentiale des Vorhofimpulses nicht versehentlich für ein Ventrikelpotential hält (Oversensing; in diesem Fall spricht man auch von **Crosstalk** oder Übersprechen, weil es nicht um überlagernde Muskelpotentiale geht, sondern um Aktionen des SM selbst). Dieser Crosstalk kann dadurch verhindert werden, dass die Ventrikelsonde, während bereits die AV-Zeit läuft, kurzfristig abgeschaltet bleibt.

#### • **Sicherheitsfenster**

Ein weiteres Problem stellen evtl. früh einfallende Extrasystolen dar. Während der Blankingzeit werden sie von der Ventrikelektrode nicht wahrgenommen, Extrasystolen die nach der Blankingzeit aber vor Ablauf der normalen AV-Zeit auftreten, werden in einem sog. Sicherheitsfenster wahrgenommen. Innerhalb dieses Sicherheitsfensters gibt der SM einen ventrikulären **Sicherheitsimpuls** ab. Wozu? Der SM ist möglicherweise nicht in der Lage zu unterscheiden, ob die eintreffende Erregung von Extrastole kommt, oder aber durch Nachpotentiale aus dem Vorhof hervorgerufen wird. Gibt der SM innerhalb des Sicherheitsfensters einen Stimulus ab, dann

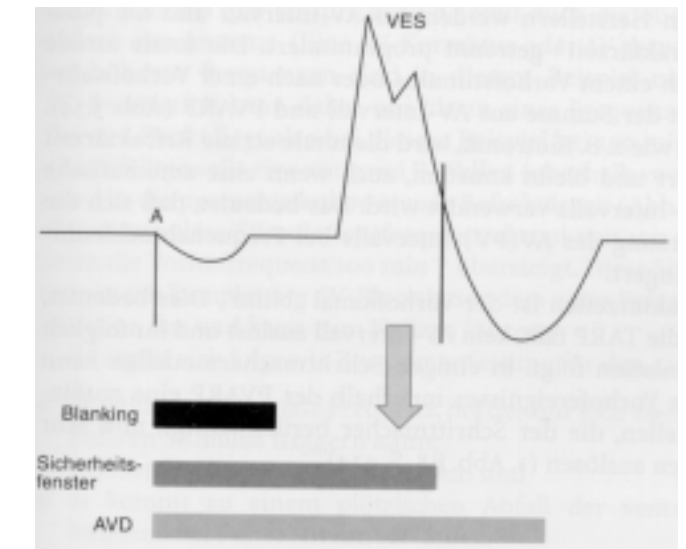
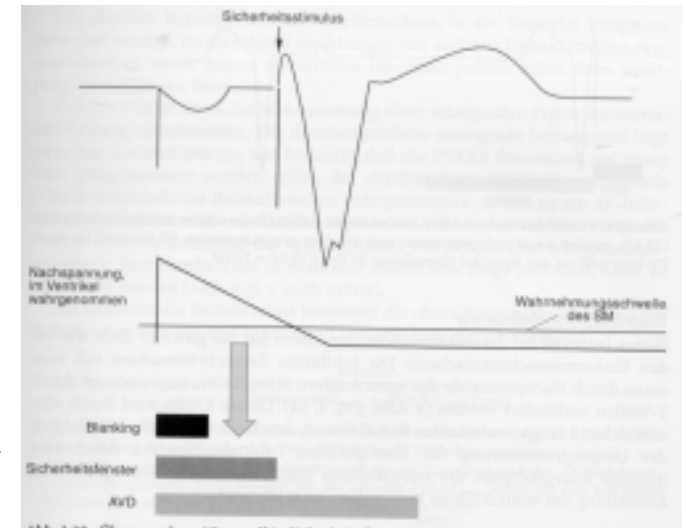
- wird **bei Crosstalk** (Wahrnehmung von Nachpotentialen des Vorhofes) auf jeden Fall eine, wenn auch vorzeitige ventrikuläre Aktion ausgelöst und der Pat. erleidet keine ventrikuläre Asystolie.
- handelte es sich aber um eine **Extrasystole**, dann fällt der SM-Spike gerade in die totale Refraktärzeit dieser Extrasystole und kann keinen ‚Schaden‘ anrichten (d.h. kein Kammerflimmern in der vulnerablen Phase der Erregungsrückbildung auslösen).

#### • **Postventrikuläre atriale Refraktärzeit und totale atriale Refraktärzeit**

Alle beim DDD bisher genannten Zeitintervalle begannen mit der Vorhofaktion bzw. mit dem Vorhofstimulus. Die jetzt zu besprechenden Größen dagegen nehmen mit dem ventrik. Stimulus bzw. der ventrikulären Aktion ihren Anfang.

Um einen Crosstalk von ventrikulär nach atrial zu verhindern, muss die Vorhofsonde nach erfolgreicher Arbeit für eine Zeit stillgelegt werden. Diese sog. **totale atriale Refraktärzeit** umschließt folgende Zeitabschnitte:

- **AV-Zeit** (inklusive ventrikuläre Blankingzeit und Sicherheitsfenster, die gemeinsam die Dauer der AV-Zeit ja nicht überschreiten können) und
- die **postventrikuläre atriale Refraktärzeit (PVARP)**. Die PVARP lässt sich programmieren. Sie soll dazu dienen, zu verhindern, dass Nachpotentiale des ventrikulären Stimulus fälschlicherweise für eine atriale Aktion gehalten werden (Crosstalk).



H. Sullivan

Was würde passieren, wenn es zu einem ventrikuloatrialen Crosstalk kommen würde? Dann würde der ventrikuläre Impuls im Vorhof wahrgenommen, die AV-Zeit und die ventrikuläre Sonde getriggert. Letztlich würde sich die ventrikuläre Sonde immer wieder selbst triggern. Die Erregung des Herzens würde somit kreisen, wobei ein Teil des Kreises der SM selbst darstellt, eine Art künstliche Reentrytachykardie, die man aber zur besseren Trennung von WPW und anderen Syndromen Endless-Loop-Tachykardie nennt (ELT).

Was würde passieren, wenn die totale atriale Refraktärzeit zu lange programmiert werden würde? Dann könnte ein rasch erneut einfallender Vorhofimpuls evtl. nicht erkannt werden. Je höher die totale atriale Refraktärzeit, desto niedriger die Vorhoffrequenz, die der DDD-SM gerade noch erkennen kann.

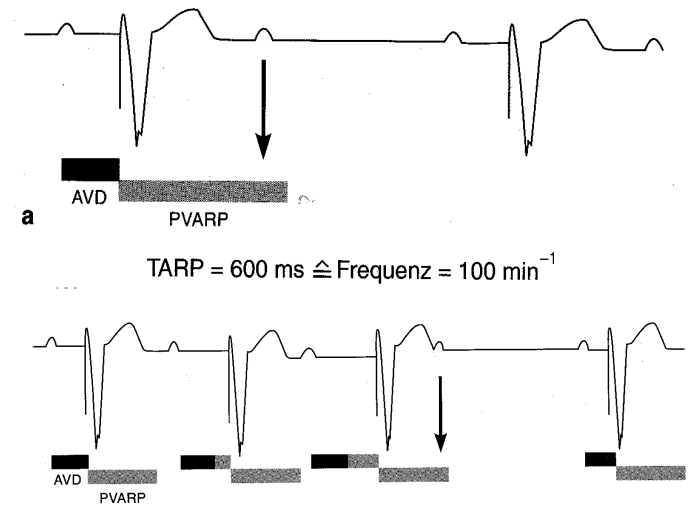
Beispiel: Die totale atriale Refraktärzeit liegt bei 0,6 Sek. (600ms), davon stellt die AV-Zeit 200 ms und die PVARP 400ms, dann kann nur alle 600 ms ein Vorhofimpuls erkannt werden. Eine Minute hat 60.000 ms, also kann der SM einem Puls von mehr als 100/min nicht mehr ganz folgen, sondern er erkennt nur noch jede zweite Vorhofaktion → Bei 110/min Sinusfrequenz stimuliert der DDD-SM nur noch mit 55/min im Ventrikel, ein abrupter Frequenzabfall mit erheblichen hämodynamischen Auswirkungen!

Die totale atriale Refraktärzeit bestimmt also den sog. 2:1-Punkt, ab dem ein Art 2:1 AV-Block auftritt mit abruptem Frequenzabfall. Je schneller ein DDD-SM also mitgehen muss, desto kürzer muss seine totale atriale Refraktärzeit liegen!

#### • Maximale ventrikuläre Synchronsequenz und Wenckebachverhalten

Die programmierbare maximale Frequenz des DDD-Schrittmachers sollte aus den eben genannten Gründen daher unter dem 2:1-Punkt bleiben, denn ein abrupter Pulsabfall auf die Hälfte bei körperlicher Belastung kann zu erheblichen Problemen führen. Sie wird meist zwischen 100 und 180/min programmiert und sollte einen ausreichenden Abstand zum berechneten 2:1-Punkt haben.

Was passiert, wenn die spontanen Vorhofaktionen die Maximale Synchronfrequenz übersteigen? Dann zeigt der DDD-SM ein Verhalten, das einem Wenckebach-AV-Block ähnelt: der Abstand zwischen P-Welle und ventrikulärem Spike verlängert sich, bis er einmal ausfällt und dann geht es von vorne los. Dieses Wenckebachverhalten ist erwünscht, denn die ventrikuläre Frequenz bleibt dabei einigermaßen stabil und es kommt nicht zu einem abrupten Pulsabfall.



A. Sullivan