

### Teoretický základ

Teplotová frekvence (dále TF) není stálá a více či méně periodicky kolísá, zejména v klidu. Toto kolísání je vyvoláno interakcí minimálně 3 hlavních faktorů:

- integrovaného centrálního nervového systému
- periferního reflexně inhibičního (tlumícího) mechanismu (tzv. negativní feedback)
- periferního reflexně excitačního (povzbuzujícího) mechanismu (tzv. pozitivní feedback)

Variabilní fenomén, jako je TF, může být popisován nejen jako časová funkce (v tzv. časových dominantách), ale i jako suma elementárních oscilačních komponent, definovaných svou frekvencí a amplitudou (frekvenční spektrální analýza). Variabilita srdečního rytmu (dále TFV) je vysvětlována jako projev kolísání aktivity obou složek vegetativního nervstva (sympatiku a parasympatiku), které mají negativní a pozitivní chronotropní vliv (zrychlení nebo zpomalení TF).

Na TFV se podílí vedle respirační periodicity i komplexní nízkofrekvenční periodicitu se složkami s periodou desítek sekund až minut, které lze identifikovat právě metodami frekvenční analýzy.

Protože TFV je ovlivněna zejména tenzí parasympatiku, bývá interpretována jako selektivní index srdeční a parasympatikotonie. Postavení (nebo posazení, tzv. posturální manévry) je u zdravého člověka spojeno s poklesem celkové TFV. Je to způsobeno deaktivací aferentních (dostředivých) nervových impulsů ze sinoaortálních baroreceptorů (tlakových receptorů na začátku aorty). Tento podnět v důsledku dynamického negativního zpětnovazebního působení zvýší oscilační aktivitu míšních kardiálních center a tím i sympatikotonii v periferních cévách a sníží parasympatikotonickou stimulaci v srdci.

Se zvyšující se TF se TFV snižuje. Rovněž frekvence dýchání přímo ovlivňuje velikost respirační sinusové arytmie (tedy i TFV, která je při vyšší dýchací frekvenci snižena). Podobně mentální koncentrace významně snižuje TFV i v podmínkách, kdy respirační parametry jsou konstantní. I mentální stres zvyšuje sympatikotonii, což se projeví v redukci TFV. Tyto skutečnosti by měly být zohledněny při sledování TFV, např. při posuzování prognózy pacientů se zdravotními riziky (viz dále).

TFV se mění i během dne, vykazuje tzv. cirkadiánní rytmus: nejvyšších hodnot dosahuje u zdravého člověka v pozdních nočních hodinách, naopak nejmenší TFV zjišťujeme odpoledne.

TFV je jakýmsi ukazatelem biologického věku: S přibývajícím věkem totiž TFV klesá (i když se rovnováha mezi sympatikem a parasympatikem příliš nemění), a to jak v klidu vleže, tak i při posturálních manévrech.

### Využití TFV při pohybové aktivitě a při sportu

Zrychlení TF a pokles TFV při cvičení jsou důsledkem bifázické odpovědi, způsobené prudkým poklesem parasympatikotonie a opožděným vzestupem sympatikotonie. Tato redukce TFV se zvyšuje exponenciálně jako funkce intenzity zatížení. Cvičení tak vykazuje signifikantní redukci indexu tonu vagu, doprovázenou signifikantním vzestupem TF. Prostá časová analýza TFV, která zůstává redukována během celé doby zátěže a ještě po různou dobu během zotavení, tak poskytuje dynamický neinvazivní index vagotonie.

Rychlost návratu TFV během zotavení na úroveň před zatížením umožňuje nejen kvantifikovat rychlost regeneračních pochodů, ale může i pomoci optimalizovat trénink: nalezení optimální úrovně TFV umožní dávkování optimálních tréninkových fází. Nedostatečná regenerace, projevující se nižší úrovní TFV, svědčí o přetrvávání aktivace sympatiku, a měla by vést k prodloužení regenerační fáze, ev. vynechání jedné či několika tréninkových fází. Naopak rychlý návrat TFV na optimální úroveň umožní plasticky zvyšovat intenzitu tréninku, aniž by došlo k přetrénování nebo k jiné mu zdravotnímu poškození organismu. Za standardních okolností (dostatečná regenerace po předchozím zatížení, poloha v leže) jsou mezi sportovci a nespportujícími rozdíly v TFV, která bývá u sportovců významně větší. Tato skutečnost ukazuje na převahu parasympatiku u sportovců (projeví se i relativní bradykardií). Trénování sportovci mají i komplexnější nervovou interakci, která moduluje TF: sympatická srdeční excitace, přetrvávající intenzivní dynamický trénink, může u vysoce aerobně trénovaných vytrvalců vysvětlit koexistenci tréninkové bradykardie se známkami zvýšené aktivity sympatiku. Ovšem přetrénování se u těchto osob projeví poklesem TFV, který je důsledkem dalšího neadekvátního zvýšení sympatikotonie bez vyrovnávací reakce parasympatiku.

Na základě teoretických i praktických poznatků lze konstatovat, že TFV je jakýsi neinvazivní ukazatel parasymptické aktivity, který se snižuje s věkem a zvyšuje na základě pravidelného optimálního tréninku. Pravidelný trénink u starších osob vede k menšímu poklesu TFV (jejich TFV odpovídá TFV výrazně mladších netrénovaných osob), což je jasný důkaz pozitivního vlivu cvičení na zdraví stárnoucího člověka. Rovněž byl sledován vliv aklimatizace na pobyt ve vysokohorském prostředí na autonomní regulaci TF. Výsledky posturálních vyšetření prokázaly změnu strategie regulace TF po vysokohorské aklimatizaci (redukce senzitivity srdce na adrenergní podněty u chronické hypoxie může částečně vysvětlovat pokles maximální TF u osob, které jsou aklimatizovány na vysokohorské prostředí).

Ve zvýšené TF během časně fáze aklimatizace na vysokou nadmořskou výšku se zrcadlí jak zvýšená tenze sympatiku, tak i snížená tenze parasympatiku. Adaptace kardiovaskulárního systému na vysokohorské prostředí se zdá být realizována hlavně vzestupem parasymptické nervové aktivity: původně snížená TFV se v průběhu úspěšné aklimatizace zvyšuje.

## **Využití TFV v lékařské praxi**

### 3.1 Diabetes mellitus

Již velmi dlouhou dobu je známo, že pacienti s cukrovkou mají redukovanou TFV. Diabetici mají vysoký výskyt poruch vegetativního systému (progresivní destrukce parasympatiku s následnou poruchou sympatické regulace), které korelují s tzv. periferní autonomní neuropatií (komplikace dlouhotrvající cukrovky). Pro diabetiky v určité fázi onemocnění je rovněž typické snížení cirkadiálního rytmu (TF, krevní tlak), které je spojeno s porpocionální dominancí sympatiku v noci, což může reprezentovat rizikový faktor kardiovaskulární příhody.

### 3.2. Metabolický kardiovaskulární syndrom

U osob s různě rozvinutým metabolickým kardiovaskulárním syndromem nacházíme často více či méně zřetelnou redukci TFV (relativně zvýšená sympatikotonie v důsledku redukované parasympatikotonie). Tento nálezn je spojován s inzulínovou resistencí, hyperinzulinémií, mírným vzestupem krevního tlaku, dyslipoproteinémií a nadváhou (nebo obezitou) s centrální distribucí tuku.

### 3.3. Onemocnění srdce a cév

U pacientů s ischemickou chorobou srdeční (dále ICBS) je v důsledku zeslabené vagové kontroly (dominance sympatiku) snížená TFV. Ze světového písemnictví poslední doby dokonce plyne, že závažnost (nebo velikost) postižení koronárních artérií u pacientů se stabilní anginou pectoris je v relaci s redukcí TFV. Proto nepřekvapuje, že prostou analýzou TFV lze zjistit, že redukováná standardní odchylka rozdílů po sobě jdoucích srdečních stahů, připisovaná snížené parasympatikotonii, má prognostický význam jako nezávislý prediktor mortality na ICBS.

Během akutní i zotavovací fáze infarktu myokardu (dále IM) bývají přítomné známky poruchy vegetativního systému, jejichž velikost i dynamika koincidují s výskytem život ohrožujících arytmií ižké aktivity parasympatiku, a právě tento nálezn je spojován se zvýšeným rizikem kardiální mortality. V průběhu úspěšné rekonvalescence klesá progresivně převaha sympatiku a zvyšuje se celková TFV; to ukazuje na úpravu a normalizaci vegetativní interakce a na dobrou prognózu onemocnění (obnovený průtok artérií, jejichž obliterace vedla k IM, zvyšuje TFV a může vysvětlit redukci mortality). Z uvedeného plyne, že sledování vegetativních funkcí je nezbytnou součástí hodnocení rizika arytmií po IM. Současná snaha o racionální terapii spočívá mimo jiné i v posunutí vegetativní rovnováhy směrem k parasympatiku (zvýšení TFV).se vedle vzestupu TFV snižuje i incidence ventrikulární fibrilace během akutní ischemie myokardu. Nejpravděpodobnější mechanismus, vysvětlující striktní změnu rizikového statutu u cvičících jedinců, je posun v autonomní rovnováze, charakterizovaný zvýšenou vagovou aktivitou srdce (a tím i TFV), která má antifibrilační účinek. Z těchto výsledků plyne, že pravidelný trénink může snížit pravděpodobnost vzniku letální arytmií během akutní ischemie myokardu.

Rovněž městnavá choroba srdeční je spojena se zvýšením sympatikotonie a s celkovou redukcí TFV, která je interpretována jako pokles parasympatikotonie. Tento pokles TFV je důležitý i pro predikci vysoké mortality u pacientů s těžkou městnavou chorobou srdeční. Ukázalo se, že čím vyšší bylo stadium nemoci (klasifikováno pomocí stupnice NYHA), tím menší byla TFV. Vyhodnocení parametrů TFV může predikovat i arytmogenní komplikace a náhlé srdeční úmrtí.

Po centrální mozkové příhodě (dále CMP) byla zjištěná totální redukce TFV. Sledování TFV tak může detekovat autonomní důsledky CMP: vzhledem ke stupni srdeční arytmie, produkované zvýšenou tenzí sympatiku, predikuje závažnost onemocnění (zejména při pravostranné lézi). Těžké mozkové poškození vyvolává alteraci kardiovaskulárních funkcí, neboť TF vyžaduje integritu autonomního a centrálního nervového systému. Sledováním TFV lze rozlišit osoby s odumřením mozkových funkcí a osoby s normální funkcí vegetativního systému. U tepenné hypertenze je zvýšená sympatikotonie obvykle spojována s podněty v centrálním nervovém systému (emoce, stres) nebo se sníženou účinností zpětné regulace (zvýšení baroreceptorových reflexů). U hypertoniků nacházíme často sníženou TFV a posturální manévr způsobuje menší pokles TFV než u normotoniků. Rovněž se popisuje snížení, či dokonce ztráta cirkadiální rytmicity TFV.

#### 3.4. Nezralost plodu

Detekce EKG plodu z abdominálního uterinního signálu umožňuje časovou i spektrální analýzu TFV a tím i hodnocení stability a zralosti aktivity autonomního nervového systému nebo dokonce např. i neinvazivní zjišťování fetální anémie. U fétů s intrauterinní retardací vývoje klesá TFV a v retrospektivní studii bylo prokázáno, že sledování TFV u předčasně narozených novorozenců ukázalo rozdíly mezi nezralými a zralými novorozenci, týkající se TFV, které jsou v relaci ke změnám vegetativní rovnováhy ve smyslu snížení parasympatikotonie. Jako zajímavou informaci je možno uvést, že děti, které podlehly náhlému smrtícímu dětskému syndromu měly vedle vyšší TF za všech situací i redukovanou TFV.

#### 3.5. Ostatní

3.5.1. Za zajímavé je možno považovat skutečnost, že během anestézie pomocí různých farmak (např. izofluranu, thiopentalu, etomidatu nebo propofolu) dochází k různým změnám TFV v důsledku změny aktivity autonomního nervového systému. Tyto diference mohou být vysvětleny jejich specifickým vlivem na kardiovaskulární systém. Tak např. bylo prokázáno, že anestézie pomocí fentanylu, diazepamu a pancuronium snižuje celkovou aktivitu autonomního nervového systému a mění rovnováhu mezi oběma složkami vegetativního nervstva.

3.5.2. U alkoholiků a osob s chronickou alkoholickou hepatopatií dochází k redukované TFV, která přetrvávala po různé dlouhou dobu i po třicetidenní abstinenci v závislosti na přítomnosti Wernicke-Korsakoffova syndromu, na parestéziích dolních končetin, hypertenzi a na diabetes mellitus.

3.5.3. Rovněž u pacientů s Parkinsonovou nemocí byly zjištěny signifikantní změny v TFV, které korelovaly s trváním a závažností extrapyramidální symptomatologie.

3.5.4. Je zajímavé, že i během septického syndromu bývá celková TFV signifikantně nižší než během následné ozdravovací fáze. Tato redukce je inverzně proporcionální k závažnosti zdravotního stavu.

3.5.5. Kokain, který je silným sympatikomimetikem, může provokovat letální srdeční příhodu. Na TFV se tato skutečnost projeví výrazným poklesem, což svědčí o tom, že kokain nejen provokuje vzestup adrenergní aktivity, ale také redukuje vagotonii. Výsledná vegetativní dysbalance by mohla zvýšit sklon k maligním arytmiím.

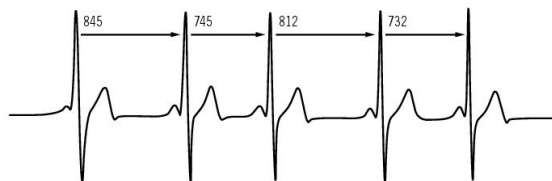
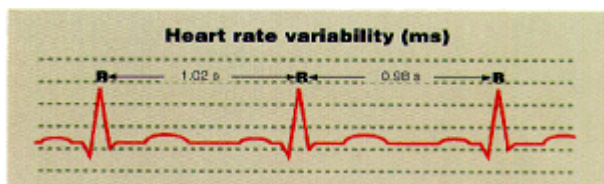
3.5.6. U Chagasovy nemoci nacházíme jak redukovanou parasympatikotonii, tak zvýšenou sympatikotonii. Avšak u pacientů s pozitivním sérologickým nálezem, ale bez onemocnění srdce, se TFV v klidu neliší od normálního nálezu. Jestliže však použijeme posturální manévr, k obvyklé změně (k poklesu) TFV. Tyto výsledky podporují názor, že u Chagasovy nemoci dochází ke změně vegetativní kontroly i bez onemocnění srdce.

***3.5.7. V podmínkách transplantovaného srdce, které reprezentuje klinický model denervovaného orgánu, TFV zjištěná byla. Vzhledem k tomu, že tato TFV reaguje na manévr hlubokého dýchání, zatímco na farmakologickou blokádu parasympatiku atropinem nereaguje, je možno soudit na přítomnost intrakardiálního mechanismu modulace TF. Pozitivní dynamika TFV během rekonvalescence po transplantaci srdce naznačila, že sledování tohoto ukazatele (zejména metodikou spektrální analýzy TFV) by mohlo nabídnout unikátní metodu pro zjišťování postupu reinervace transplantovaného srdce.***

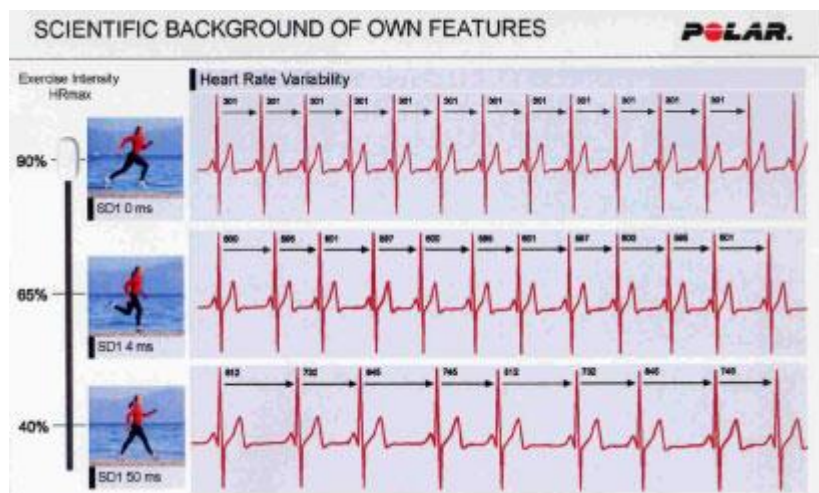
## Stručná interpretace teoretického základu - praktické využití variability ve sporttesterech Polar

Vedle hodnot SF také rytmicita srdečních impulsů informuje o aktuálním stavu našeho organismu. Tato rytmicita se odborně nazývá Variabilita srdeční frekvence (VSF) a její hodnoty se udávají v milisekundách (ms). Variabilita SF je typickou vlastností zdravého srdce a její hodnoty jsou vysoce individuální. Znamená to, že je vhodné porovnávat především hodnoty pouze téhož jedince. VSF vyjadřuje rovnováhu autonomního nervového systému, neboli poměr sympatiku a parasympatiku, jinými slovy celkové uvolnění organismu, úroveň relaxace nervového i podpůrného (zejména svalového) systému.

Úroveň relaxace je nejlépe měřitelná v klidu, kdy dosahuje nejvyšších hodnot nebo při běžných denních činnostech a lehkém cvičení. Když je klidová SF 60 tepů/min, neznamená to, že srdce tepe v pravidelných vteřinových intervalech. Rozdíly mezi jednotlivými srdečními ozvami mohou být od 0,5 – 2 vteřiny.

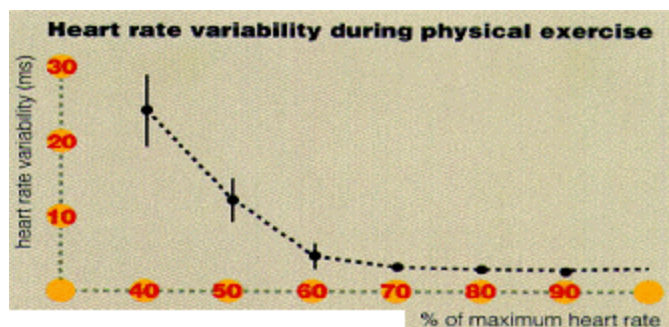


Pro snazší pochopení problematiky změn hodnot variability SF v průběhu zvyšujícího se zatížení nám poslouží následující ilustrační obrázek, z něhož je patrné, že se zvyšujícím se zatížením VSF klesá kolem 65%  $SF_{max}$  až k minimálním hodnotám – srdce bije v podstatě pravidelně.



Obr. 7. Hodnoty VSF při 40, 65, 90%  $SF_{max}$  (www.polar.fi, 2006)

Při tělesné aktivitě intenzity 60 – 65%  $SF_{max}$  je VSF téměř nulová, v klidu jsou její hodnoty nejvyšší. Grafické znázornění ukazuje jak nejvyšší hodnotu VSF, což znamená největší tělesné a duševní uvolnění, tak hodnotu nejnižší, která vyjadřuje malou variabilitu, což svědčí o vyšší úrovni fyzického resp. psychického stresu.



Obr. 8. Změny VSF v průběhu zvyšování zatížení (www.Polar.fi, 2006)

Zdůrazněme, že variabilita SF klesá s věkem. Uvědomělým nácvikem relaxace, např. při dechových cvičeních, meditaci apod. lze dosáhnout snížení SF a zvýšení její variability. Zatímco údaje týkající se SF informují velmi podrobně o reakci organismu na probíhající zatížení, parametry variability SF mají významnou výpovědní hodnotu v průběhu uklidnění (ve fázi odpočinku) a informují o aktuálním zotavení. Veškeré testy, které jsou obsaženy v „F“ modelech firmy Polar, ať už jsou to testy pracující s klidovou SF (Test Kondice, Test Vlastní Relaxace) nebo se stupňovanou intenzitou pohybu (Test Stanovení Vlastní Zóny) akceptují a ve výsledku zohledňují nejen proměnlivost hodnot SF, ale zejména také variabilitu SF! Při testu kondice (Fitness test) sporttester čeká na 256 srdečních úderů – pak vyhodí výsledek testu kondice (tedy čím nižší je klidová TF, tím delší dobu test trvá – člověk s horší kondicí tedy udělá test rychleji)

- Vyšší kondice jedince = delší interval mezi tepy
- Vyšší intenzita zatížení = zkracuje se interval mezi tepy

## **RLX, Úroveň relaxace**

Sporttester umožňuje měřit stav uvolnění na základě variability TF, která vyjadřuje rovnováhu autonomního nervového systému neboli poměr sympatiku a parasympatiku. Tato úroveň relaxace je znázorněna graficky vůči individuálně nastavené Základní úrovni. Nejvyšší grafické znázornění představuje nejvyšší variabilitu TF, což znamená největší tělesné a duševní uvolnění. Nejnižší hodnota grafu vyjadřuje malou variabilitu, což svědčí o vysoké úrovni fyzického resp. psychického stresu. Variabilita tepové frekvence je typickou vlastností zdravého srdce a její hodnoty jsou vysoce individuální. Znamená to, že je vhodné porovnávat především hodnoty pouze téhož jedince. Úroveň relaxace je nejlépe měřitelná v klidu, při běžných denních činnostech a lehkém cvičení. Při tělesné aktivitě náročnější intenzity, kdy dosahuje TF vyšší úrovně, je variabilita TF je tak malá, že z displeje zcela zmizí. Po tréninku či např. následující ráno je možné na základě hodnot TF a její variability stanovit stupeň fyzického zotavení. Vyšší klidová TF a nižší variabilita než je běžné mohou být signálem přetrvávající únavy organismu, nastupujícího onemocnění apod. Z těchto důvodů je vhodné zařadit mírnější pohybové zatížení než původně plánované. Psychické příznaky jako strach, nepřiměřené napětí, nervozita, zlost, poráženecká nálada, apod. způsobují zvýšení TF a snížení variability. Stejný efekt přináší také zvýšená koncentrace na řešení určitého problému. Základní úroveň variability TF zjistíte způsobem popsáním v příslušné kapitole. Tyto výchozí údaje porovnejte s hodnotami, které naměříte např. v případě značné únavy, při nachlazení či po nedostatečném spánku. Je nutno také připomenout, že variabilita TF klesá také s věkem. Uvědomělým nácvikem relaxace, např. při dechových cvičeních, meditaci apod. lze dosáhnout snížení TF a zvýšení její variability. Tuto skutečnost si můžete např. ověřit následujícím způsobem: Posad'te se v klidném prostředí, zavřete oči, na všechno zapomeňte a zcela se uvolněte. Dýchejte zhluboka volně přibližně 6x za minutu. Po chvíli se pohledem na displej přístroje přesvědčte o účincích této činnosti na hodnoty TF a její variabilitu. MZTF může prostřednictvím této funkce pomoci při odhalení stresové situace a umožní snadnější vypořádání s příznaky tohoto stavu. Tím přispívá ke zvýšení odolnosti vůči vlivu stresových situací, což napomůže snížení jejich nepříznivého působení prohloubením schopností uvolnění formou "autorelaxace". Zatímco údaje týkající se tepové frekvence informují velice podrobně o reakci organismu na probíhající zatížení, mají parametry variability TF významnou výpovědní hodnotu v průběhu uklidnění, resp. ve fázi odpočinku a informují o aktuálním stavu zotavení.

## **RR - interval**

Režim záznamu tep po tepu, kdy je doba mezi dvěma po sobě následujícími údery srdce znázorněna v milisekundách. Tato informace se také zobrazuje jako okamžitá TF v počtu tepů za minutu v dílčích zaznamenaných hodnotách. Přesné ukládání každého intervalu mezi jednotlivými tepy je mnohem obtížnější než údaje získané průměrováním, neboť režim RR záznam není chráněn před rušením v průběhu měření. V případě potřeby je proto doporučeno používat gel pod snímací elektrody obdobně jako při měření EKG, aby byl zajištěn dostatečný kontakt mezi pokožkou a vysílačem. Dále je vhodné vyloučit používání funkce přepínání pomocí signálu TF přiblížením přijímače k vysílači a osvětlení displeje, neboť při této příležitosti nemůže přijímač zjistit další nové intervaly mezi tepy. Stejně tak může občas působit rušivě v případě, je-li zapnut, zvukový signál při stisknutí tlačítek, který eliminuje zaznamenání jednoho RR intervalu. Získané hodnoty jsou pak interpretovány jako nepřesné údaje TF, které lze opravit v rámci SW Polar Přesné Posuzování Výkonnosti / ProTrainer5.

## Anglické vysvětlivky interpretace variability v SW Polar

### General Information

|               |      |  |
|---------------|------|--|
| Duration      | sec. | Duration for the entire measuring              |
| Sampling Rate | -    | Sampling rate in the measuring (R-R intervals) |

### Measures of Heart Rate or Heart Beat Intervals

|                       |       |   |
|-----------------------|-------|---|
| Number of Heart Beats | beats | How many heart beats there are in the selected period |
| Minimum R-R Interval  | ms    | Shortest heart beat interval in the selected period   |
| Average R-R Interval  | ms    | Average heart beat interval in the selected period    |
| Maximum R-R Interval  | ms    | Longest heart beat interval in the selected period    |

### Measures of Heart Rate Variability / Time Domain

|                      |    |   |
|----------------------|----|---|
| RLX baseline         | ms | RLX value determined from the selected area as defined in the manual of S810. If the area selected is representative to you and you would like to compare your future values with this data, you can update this value to your S810.            |
| Standard Deviation   | ms | Standard Deviation of all R-R intervals in the selected area  |
| Max/min ratio        | -  | Relation of minimum and maximum heart beat intervals  |
| Weighted R-R average | -  | In the calculation of weighted R-R average, every heart beat interval is weighted according to it's length. Weighted average of [500, 750, 1000] is 806, whereas average is 750   |
| SD1                  | ms | Deviation of the scatterogram plot in the "short" direction   |
| SD2                  | ms | Deviation of the scatterogram plot in the "long" direction  |
| RMSSD                | ms | Root Mean Square Successive Differences: the square root of the mean of the sum of the squares of differences between adjacent normal R-R intervals over the selected area. This parameter measures the beat-to-beat variability of heart rate. |
| pNN50                | %  | Percent of heart beats where difference between new R-R interval and previous RR interval is greater than 50 ms, calculated over the selected area. You can also adjust the millisecond limit between 10 and 100.                               |

### Measures of Heart Rate Variability / Frequency Domain

**Power Spectral Density is calculated using autoregressive modelling, and the spectral power in the selected area is calculated over various frequency bands.**

|             |                 |  |
|-------------|-----------------|--|
| Total Power | ms <sup>2</sup> | Total Spectral Power over frequencies between DC and 0.40 Hz.  |
| VLF         | ms <sup>2</sup> | Spectral power of the R-R intervals in the selected area in the Very Low-Frequency range between DC and 0.04 Hz.                     |
| LF          | ms <sup>2</sup> | Spectral power in the Low-Frequency range between 0.04 and 0.15 Hz.  |
| HF          | ms <sup>2</sup> | Spectral power in the High-Frequency range between 0.15 and 0.40 Hz. This frequency band usually includes the respiratory frequency. |
| LF/HF       | %               | Relation of low-frequency power to high-frequency power.   |