

VI. Zusammenfassung

Unter standardisierten Bedingungen sollte geprüft werden, ob die Erholung des Energiestoffwechsels nach Belastung kurzfristig durch Gabe von Wasser oder glukose- bzw. elektrolythaltiger Tranken forciert werden kann.

Insgesamt 5 Pferde (4 Wallache und 1 Stute, Alter 2-4 Jahre) absolvierten jeweils einmal wöchentlich in willkürlicher Reihenfolge einen Versuchsdurchgang, der aus folgenden Abschnitten bestand

1. Stufentest (S1 - S6) Jedes Pferd hatte jeden Versuchstag einen Stufentest zu absolvieren

Der Stufentest bestand aus 6 Stufen à 5 min bei einer Steigung des Laufbandes von 17%.

1 Stufe bei einer zu laufenden Geschwindigkeit von 2,78 m/sec. Es erfolgte eine Geschwindigkeitssteigerung von Stufe zu Stufe um 0,28 m/sec bis maximal in der 6. Stufe eine Geschwindigkeit von 4,18 m/sec erreicht wurde. Zwischen den aufeinanderfolgenden Stufen erfolgte jeweils eine Unterbrechung von 2 Minuten zur Blutprobenentnahme zur Ermittlung der Ausgangsparameter des Energiestoffwechsels sowie der Bestimmung der $v_{2,5}$ d.h. der Geschwindigkeit, die mathematisch eine Konzentration von 2,5 mmol/l Laktat im Blut während des Stufentests hervorruft.

2. Dauerbelastung (DB0 - DB30): In der Dauerbelastung wurde die Geschwindigkeit entsprechend der während des Stufentests ermittelten $v_{2,5}$ konstant eingestellt.

3. Behandlungs- und Erholungsphase (B30 - B120): Dauer 120 Minuten, Kontrolle. Keine weiteren Maßnahmen. Behandlungen: jeweils eine der folgenden Lösungen wurde per Nasenschlundsonde in der 17. Minute dieser Phase verabreicht.

Wasser

Hypotone Glukoselösung: 25 g Glukose/l Wasser

Isotone Glukoselösung: 50 g Glukose/l Wasser

Hypotone Elektrolytlösung: 4,5 g NaCl/l Wasser

Isotone Elektrolytlösung: 9,0 g NaCl/l Wasser

Die Volumendosierung entsprach dem Körpergewichtsverlust während Stufentest und Dauerbelastung

4. Retest (R1 - R6): Der abschließende Retest erfolgte nach der selben Testvorschrift wie der oben beschriebene Stufentest und diente der Ermittlung der Parameter des Energiestoffwechsels nach Behandlung

Stufentest, Dauerbelastung und Retest wurden unter standardisierten Bedingungen auf einem Laufband durchgeführt

Neben der Ermittlung von **Herz- und Atemfrequenz** sowie **Körperinnentemperatur** wurden zu definierten Zeitpunkten Blut- und Muskelproben entnommen, die Parameter waren **Insulin, Glukagon, Glukose, Laktat, freie Fettsäuren, Alanin und Glykogen**. Die Bestimmung von Insulin und Glukagon im Plasma erfolgte mit einem Radioimmunassay, Glukose, Alanin und Laktat im Plasma bzw. Vollblut sowie Glykogen in der Muskulatur wurden enzymatisch und die freien Fettsäuren im Plasma colorimetrisch analysiert

Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

- 1 Der mittlere **Körpergewichtsverlust** nach Stufentest und Dauerbelastung betrug zwischen 3,2 - 3,7% des Ruhengewichts
- 2 Der Anstieg der **Herzfrequenz** (Schläge/min) war bei allen Behandlungen, aber unabhängig von der Art der Behandlung, im Retest tendenziell niedriger als im Stufentest (nicht signifikant), bei der Kontrolle bestand dieser Unterschied zwischen Retest und Stufentest nicht
- 3 Nur bei dem Kontrolldurchgang konnte im Retest ein signifikanter Anstieg der **Plasmaglukosekonzentration** von $4,4 \pm 0,8$ auf $5,5 \pm 0,5$ mmol/l beobachtet werden ($p < 0,05$), jedoch lagen diese nach dem Retest (R6) mit Werten von $5,5 \pm 0,5$ mmol/l noch deutlich unter dem Niveau des Stufentests bei S6 mit $7,3 \pm 0,8$ mmol/l.
- 4 Keine statistisch gesicherten Effekte der Behandlungen konnte auf die **Alaninkonzentration** im Plasma ermittelt werden, der Stufentest führte zu einem hochsignifikanten Anstieg von

- rund 180 auf maximal 380 $\mu\text{mol/l}$, im Retest erfolgte eine Erhöhung von rund 240 auf maximal 380 $\mu\text{mol/l}$
5. Im Stufentest kam es zu einem hochsignifikanten Anstieg der freien Fettsäuren von rund 100 auf maximal 500 $\mu\text{mol/l}$ und in der anschließenden Dauerbelastung erfolgte ein weiterer Anstieg auf maximal 1100 $\mu\text{mol/l}$ ($p < 0,01$). Unabhängig von den Behandlungen fiel die Konzentration der freien Fettsäuren während der Behandlungs- und Erholungsphase deutlich ab ($p < 0,01$), jedoch wurden im Verlauf des Retests behandlungsbedingte Effekte beobachtet. Der höchste Anstieg der freien Fettsäuren konnte am Ende des Retests mit $857 \pm 221 \mu\text{mol/l}$ bei dem Kontrolldurchgang und bei der Behandlung mit hypo Elektrolytlösung mit $871 \pm 388 \mu\text{mol/l}$ ermittelt werden ($p < 0,01$). Nach Glukosegabe wurde ein deutlich niedrigeres Niveau der freien Fettsäuren im Plasma im Verlauf des Retests ($R2 - R5$ $p < 0,01$) festgestellt. Zum Meßzeitpunkt $R6$ ergab sich ein solcher Behandlungsunterschied aber nicht mehr.
 6. Das wichtigste Ergebnis bei der Laktatkonzentration war die unterschiedliche Entwicklung während Stufentest und Retest. Mit Ausnahme der Behandlung mit iso Glukoselösung wurden im Vergleich zum Stufentest ($S6$) nach dem Retest ($R6$) niedrigere Laktatkonzentrationen im Vollblut ermittelt ($R6$ vs. $S6$ Laktatkonzentration; Kontrolle mit $3,1 \pm 0,9$ vs $4,8 \pm 1,3$ mmol/l ; Wasserbehandlung mit $3,1 \pm 0,2$ vs $5,1 \pm 2,6$ mmol/l , hypo Glukoselösung mit $3,1 \pm 1,0$ vs $4,8 \pm 2,3$ mmol/l , hypo Elektrolytlösung mit $3,5 \pm 1,3$ vs $5,0 \pm 3,3$ mmol/l und iso Elektrolytlösung mit $3,7 \pm 1,9$ vs $4,7 \pm 0,5$ mmol/l , $p < 0,01$), bei der Behandlung mit iso Glukoselösung konnte kein Unterschied im Anstieg der Laktatkonzentration im Vollblut zwischen Stufentest und Retest ($4,6 \pm 1,9$ vs $4,7 \pm 1,7$ mmol/l) beobachtet werden.
 7. Zu Beginn des Stufentest lagen die Plasmaglukosekonzentrationen bei rund 4,8 mmol/l , im Verlauf des Stufentests erfolgte ein hochsignifikanter Anstieg auf 8 - 10 mmol/l , am Ende der Dauerbelastung variierten die Glukosewerte zwischen 9,3 und 9,6 mmol/l . Die anschließende Behandlung mit Glukoselösungen zeichnete sich während der Behandlungs- und Erholungsphase durch hochsignifikante Anstiege in der Plasmaglukosekonzentration aus (hypo Glukoselösung: $9,4 \pm 2,7$ auf $10,9 \pm 2,5$ mmol/l , iso Glukoselösung $9,1 \pm 2,4$ auf $10,9 \pm 1,9$ mmol/l). Parallel dazu erfolgte ein Insulinanstieg von $8,8 \pm 5,4$ auf $63,7 \pm 31,5 \mu\text{U/ml}$ bei der Behandlung mit hypo Glukoselösung ($p < 0,01$) und von $5,0 \pm 2,6$ auf

46,2 ± 13,6 µU/ml bei der Behandlung mit iso Glukoselösung (p < 0,01). Im anschließenden Retest wurde bei den Glukosebehandlungen ein deutlicher Abfall der Plasmaglukosekonzentration auf 3,6 ± 0,4 bzw 4,0 ± 0,5 mmol/l (p < 0,01) beobachtet. Folgende Ausgangswerte der Insulinkonzentration vor Beginn des Stufentests wurden ermittelt: hypo Glukoselösung 7,1 ± 3,5 µU/ml und iso Glukoselösung 4,5 ± 0,4 µU/ml und nach dem Ende der Dauerbelastung: hypo Glukoselösung mit 8,8 ± 5,4 µU/ml und iso Glukoselösung mit 5,0 ± 2,6 µU/ml. Vor Beginn des Retests waren die Insulinkonzentrationen (bei den Glukosebehandlungen mit 25,8 ± 9,6 bzw 26,4 ± 7,8 µU/ml noch deutlich erhöht (p < 0,01), im Verlauf des Retests fiel die Insulinkonzentration jedoch wieder prägnant ab (hypo Glukoselösung 6,9 ± 1,9 µU/ml und iso Glukoselösung 8,1 ± 2,9 µU/ml). Ein deutlicher Anstieg der Insulinkonzentration im Plasma konnte auch in den ersten 60 Minuten der Behandlungs- und Erholungsphase bei der Gabe von Elektrolytlösungen beobachtet werden (hypo Elektrolytlösung von 5,5 ± 3,2 auf 26,7 ± 11,4 µU/ml, iso Elektrolytlösung von 5,0 ± 1,2 auf 24,4 ± 6,5 µU/ml) bei gleichzeitig abfallenden Plasmaglukosekonzentrationen von 9,6 ± 2,2 auf 5,7 ± 1,5 mmol/l bzw von 8,8 ± 3,0 auf 5,9 ± 1,7 mmol/l. Die Plasmaglukosekonzentration blieb bei den Elektrolytbehandlungen im anschließenden Retest konstant, jedoch wurden im Vergleich zum Stufentest (S6) hochsignifikant niedrigere Plasmaglukosekonzentrationen mit 4,6 ± 0,7 vs 7,8 ± 1,6 mmol/l (hypo Elektrolytlösung) und 4,8 ± 0,3 vs 7,7 ± 0,7 mmol/l (iso Elektrolytlösung) ermittelt. Die Insulinwerte fielen im Verlauf des Retests hochsignifikant von 11,7 ± 8,1 bzw 11,9 ± 12,3 µU/ml zu Beginn des Retests (R) auf 4,1 ± 0,2 bzw 4,6 ± 1,3 µU/ml am Ende des Retests (R6) ab.

- 8 Bei der Applikation von Glukose wurde in der 60. Minute der Behandlungs- und Erholungsphase ein signifikanter Anstieg der **Glukagon**konzentration (hypo Glukoselösung von 91,0 ± 31,4 auf 118,7 ± 47,0 pmol/l, iso Glukoselösung von 66,9 ± 11,8 auf 99,1 ± 29,1 pmol/l) im Plasma ermittelt (wahrscheinlich Enteroglukagon), aufgrund der großen individuellen Variation war jedoch nur die Behandlung mit iso Glukoselösung signifikant von der Wasserbehandlung verschieden (p < 0,05)
- 9 Die Behandlungen hatten keinen signifikanten Effekt auf die **Glykogen**repletion während der zweistündigen Behandlungs- und Erholungsphase, es deutete sich jedoch bei der

Elektrolytbehandlung eine tendenzielle Wiederauffüllung des Muskelglykogens an ($p < 0,137$).

10. Ein Pferd zeigte deutliche Abweichungen in den Parametern Insulin, Glukagon und freie Fettsäuren im Vergleich zu den anderen vier Pferden. Bei der Glukosebehandlung stiegen beispielsweise die Insulinkonzentrationen bei diesem Pferd auf maximal $358 \mu\text{U/ml}$ an, bei den anderen vier Pferden wurde zum selben Meßzeitpunkt ein maximaler Konzentrationsanstieg von $63,7 \mu\text{U/ml}$ ermittelt. Ein um mehr als 84 pmol/l höheres Konzentrationsniveau wurde im Vergleich zu den anderen Pferden bei der Glukagonkonzentration über den gesamten Versuchsablauf gemessen und der Anstieg der freien Fettsäuren war bei allen Versuchsdurchgängen nach der Belastung um mehr als $0,5 \text{ mmol/l}$ erhöht

Die Verabreichung von glukosehaltigen Lösungen nach einer standardisierten Belastung führt zwar während der Behandlungs- und Erholungsphase zu deutlich höheren Glukose- und Insulinkonzentrationen im Plasma, die Glykogenrepletion konnte jedoch während dieser zweistündigen Regenerationsphase, im Unterschied zum Menschen, nicht forciert werden. Als kritisch zu beurteilen ist bei der Glukosebehandlung der prägnante Abfall der Plasmaglukosekonzentration sowie ein deutlich höherer Laktatanstieg im Blut im anschließenden Retest.

Die Behandlung mit Elektrolyten erweist sich als deutlich vorteilhaft, da während der zweistündigen Behandlungs- und Erholungsphase neben einer Wiederauffüllung des Plasmavolumens über das Ausgangsniveau hinaus (SCHNERMANN, Dissertation in Vorbereitung), auch tendenziell eine Repletion der Glykogenspeicher zu beobachten ist.

Der Anstieg der Laktatkonzentration war mit Ausnahme bei der Behandlung mit isotoner Glukoselösung bei allen Versuchsdurchgängen im Retest deutlich niedriger als im Stufentest.

Ingrid Vervuert. Effects of oral glucose or electrolyte supplementation after standardised exercise on energy metabolism in horses

VII. Summary

The goal of this study was to investigate whether oral water, glucose or electrolyte supplementation after standardised exercise improves within 2 hours the recovery of the energy metabolism in horses. In an arbitrary order five Standardbred horses (four geldings and one mare, age 2-4 years) were once a week (experimental day) assigned to six treatment groups. An experimental day consists of the following phases:

- 1. Standardised exercise test (SET; S1-S6)** The SET consisted of six steps (S1-S6) of five minutes' duration each. The velocity in the first step was 2.78 m/s, each consecutive step was increased by 0.28 m/s and between two consecutive steps was a stop of 120 s for blood sampling. During this test parameters of the energy metabolism were measured and horses' individual $v_{2.5}$ was determined (velocity at which mathematically a lactate concentration of 2.5 mmol/l blood is determined when run under the defined conditions).
- 2. Continuous exercise (DB0-DB30)** 30 minutes of exercise constantly at $v_{2.5}$, previously determined in the SET.
- 3. Treatment and recovery period (B30-B120)** Duration 120 minutes. In minute 17 of this phase - in contrast to control without any treatment during recovery- one of the following solutions was given via nasogastric tube:

water

hypotonic glucose solution: 25g glucose/l water

isotonic glucose solution: 50g glucose/l water

hypotonic electrolyte solution: 4.5g NaCl/l water

isotonic electrolyte solution: 9.0g NaCl/l water

The volume of fluid administered was equivalent to body weight reduction during the SET and continuous exercise.

4. **Retest (R1-R6):** Parameter of energy metabolism were measured after the different treatments. Horses performed this second SET with identical specification as the initial SET at the beginning of the experimental day.

All SETs and continuous exercise took place on a treadmill at a 17% slope

At defined times **heart rate, respiratory frequency and rectal body temperature** were measured and blood samples for determination of **insulin, glucagon, glucose, lactate, free fatty acids and alanine** were collected and muscle samples were taken for **glycogen** determination.

Plasma insulin and -glucagon were analysed using a radio immunoassay procedure, plasma glucose and -alanine concentrations, blood lactate concentration and muscle glycogen content were measured enzymatically; plasma free fatty acids were determined colorimetrically

The following results were obtained

- 1 The mean **body weight** reduction during the first SET and continuous exercise averaged 3.2 - 3.7 %. The average running speed (v_{25}) during continuous exercise was 3.57 ± 0.3 m/s
2. After all treatments the increase in **heart rate** (beats per minute) tended to be less in comparison to SET (but not significant) during Retest than during the first SET. There were no differences related to treatments. But in the control increase in heart rate was nearly the same between the two tests.
- 3 Initial plasma glucose was about 4.9 mmol/l and rose up to 10.0 mmol/l at the end of continuous exercise prior treatments. During the Retest a significant increase in **plasma glucose** concentration was only observed in the control group (from 4.4 ± 0.8 to 5.5 ± 0.5 mmol/l, $p < 0.05$). But, at the last step of the Retest (R6) plasma glucose concentration was lower than after the last step of the first SET (S6) (R6: 5.5 ± 0.5 vs. S6: 7.6 ± 0.8 mmol/l)
4. **Plasma alanine** concentration increased during both standardised exercise tests and reached maximal concentrations of 380 μ mol/l representing an increase by approximately 160 μ mol/l during the first standardised exercise test and an increase from about 240 to 380

- $\mu\text{mol/l}$ during Retest. No treatment had a statistically significant effect on plasma alanine concentration
- 5 Plasma free fatty acids'** concentration increased during the first SET from about 100 $\mu\text{mol/l}$ pre-exercise to 500 $\mu\text{mol/l}$ after SET and continued to rise during the following continuous exercise up to 1100 $\mu\text{mol/l}$ ($p < 0.01$). During the treatment and recovery phase free fatty acids' concentration declined ($p < 0.01$) independent of the type of treatment. The type of treatment influenced the increase during the following Retest. At the end of the Retest the highest plasma free acids' concentration were observed in the control group ($857 \pm 221 \mu\text{mol/l}$, $p < 0.01$) and in the horses treated with hypotonic electrolyte solution ($871 \pm 388 \mu\text{mol/l}$, $p < 0.01$). By the administration of glucose plasma free fatty acids' concentration was lower at R2-R5 ($p < 0.01$) compared to the other treatments but reached the same level at R6
 - 6 The main result for blood lactate** was the difference in lactate increase during SET and Retest. Except for the group treated with isotonic glucose solution blood lactate concentration was always lower after the end of the Retest (R6) than after the end of the first SET (S6). The following blood lactate concentrations were measured in the treatment groups (R6 vs S6): control 3.1 ± 0.9 vs. 4.8 ± 1.3 mmol/l, water: 3.1 ± 0.2 vs. 5.1 ± 2.6 mmol/l, hypotonic glucose solution: 3.1 ± 1.0 vs. 4.8 ± 2.3 mmol/l, hypotonic electrolytes solution: 3.5 ± 1.3 vs. 5.0 ± 3.3 mmol/l, isotonic electrolyte solution: 3.7 ± 1.9 vs. 4.7 ± 0.5 mmol/l, $p < 0.01$ for all. After the application of isotonic glucose solution blood lactate concentration increased at the same level than at S6 (S6: 4.6 ± 1.9 vs. R6: 4.7 ± 1.7 mmol/l)
 - 7 Before starting the first SET plasma glucose** concentration was 4.9 mmol/l, it increased to 8-10 mmol/l at the end of the exercise test and reached values of 9.3 to 9.6 mmol/l after the continuous exercise. The administration of glucose solutions induced a significant increase in plasma glucose concentration during treatment and recovery phase (hypotonic glucose solution 9.4 ± 2.7 to 10.9 ± 2.5 mmol/l, isotonic glucose solution 9.1 ± 2.4 to 10.9 ± 1.9 mmol/l). At the same time an increase in insulin concentration from 8.8 ± 5.4 to $63.7 \pm 31.5 \mu\text{U/ml}$ ($p < 0.01$) was observed in the hypotonic and from 5.0 ± 2.6 to $46.2 \pm 13.6 \mu\text{U/ml}$ ($p < 0.01$) in the isotonic glucose solution group. During the Retest plasma glucose concentration dropped in the glucose solution groups to 3.6 ± 0.4 and 4.0 ± 0.5 mmol/l

VII. Summary

- respectively ($p < 0.01$). Before the start of the first SET plasma insulin concentrations were $7.1 \pm 3.5 \mu\text{U/ml}$ in the hypotonic and $4.5 \pm 0.4 \mu\text{U/ml}$ in the isotonic glucose solution group. After the end of the continuous exercise 8.8 ± 5.4 and $5.0 \pm 2.6 \mu\text{U/ml}$ was measured, respectively. Prior to the Retest insulin concentrations were still markedly elevated (25.8 ± 9.6 and $26.4 \pm 7.8 \mu\text{U/ml}$, respectively; $p < 0.01$), but dropped significantly during the Retest (6.9 ± 1.9 and $8.1 \pm 2.9 \mu\text{U/ml}$, respectively). During the first 60 minutes of the treatment and recovery phase the administration of electrolyte solutions elicited a pronounced increase in plasma insulin concentration (hypotonic electrolyte solution from 5.5 ± 3.2 to $26.7 \pm 11.4 \mu\text{U/ml}$, isotonic electrolyte solution from 5.0 ± 1.2 to $24.4 \pm 6.5 \mu\text{U/ml}$) and a fall in plasma glucose concentrations from 9.6 ± 2.2 to 5.7 ± 1.5 and 8.8 ± 3.0 to $5.9 \pm 1.7 \text{ mmol/l}$, respectively. In the electrolyte solution groups plasma glucose concentrations remained constant during Retest. But, in comparison to the first SET (S6) plasma glucose concentrations were significantly lower at R6 (R6 vs. S6, hypotonic electrolyte solution 4.6 ± 0.7 vs. $7.8 \pm 1.6 \text{ mmol/l}$, isotonic electrolyte solution 4.8 ± 0.3 vs. $7.7 \pm 0.7 \text{ mmol/l}$). Insulin concentration in plasma dropped in these groups during the Retest from 11.7 ± 8.1 and $11.9 \pm 12.3 \mu\text{U/ml}$ respectively at the beginning (R) to 4.1 ± 0.2 and $4.6 \pm 1.3 \mu\text{U/ml}$ respectively at the end (R6).
8. After the administration of hypo- and isotonic glucose solutions an increase in **plasma glucagon** concentration was measured in the 60th minute of the treatment and recovery phase from 91.0 ± 31.4 to $118.7 \pm 47.0 \text{ pmol/l}$ and from 66.9 ± 11.8 to $99.1 \pm 29.1 \text{ pmol/l}$ respectively. The glucagon measured was probably enteroglucagon. Due to the high individual variations a significant difference between treatment groups was found between water and isotonic glucose solution treatment only ($p < 0.05$).
 9. Treatment had no significant effect on **muscle glycogen** repletion during the treatment and recovery phase. But, horses that were given electrolyte solutions showed a tendency to replete muscle glycogen in the same period of time ($p < 0.137$).
 10. Compared to the other horses one horse showed a higher concentrations in the plasma parameters insulin, glucagon and free fatty acids. For example, after administration of glucose solutions plasma insulin concentrations increased to a maximum of $358 \mu\text{U/ml}$, in the other horses a maximum of $63.7 \mu\text{U/ml}$ was observed at the same time. During the whole study glucagon concentrations was more than 84 pmol/l higher than in the other

VII. Summary

horses. Additionally the exercise induced increase in plasma free fatty acids was more than 0.5 mmol/l higher during all treatment periods.

The administration of glucose solutions after standardised exercise resulted in markedly elevated plasma glucose and insulin concentrations during the treatment and recovery phase but could not increase glycogen repletion during this phase, which stands in contrast to results obtained with human athletes.

The pronounced decrease in plasma glucose concentration and the higher blood lactate concentration seen during the following Retest in the group given the glucose solutions may be considered critically.

The electrolyte solution treatment seems to be most beneficial because during the 2 hour lasting treatment and recovery phase the repletion of plasma volume exceeded pre-exercise values (SCHNERMANN, thesis in preparation) and muscle glycogen showed a tendency to replete, too.